

САЛИМОВ, И. ТҶЙЧИЕВ

# ХИМИЯВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССЛАРИ ВА АППАРАТЛАРИ

Ўзбекистон ССР олий ва махсус  
ўрта таълим министрлиги олий  
ўқув юртларининг «Химиявий  
технология» ихтисослиги бўйича  
таълим оладиган студентлари  
учун дарслик сифатида тавсия  
этан

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 1987

Рецензентлар: *техника фанлари доктори, проф. Н. Юсуфбеков,*  
*техника фанлари доктори А. Ортиқов*

Ушбу дарсликда химия ва озиқ-овқат саноатининг асосий процесслари ва аппаратлари билан танишилади. Китобда химиявий технология процессларининг назарий асослари, асосий аппаратларнинг тузилиши ва уларни ҳисоблаш усуллари баён этилган. Шу билан бирга, технологик процессларни замонавий усуллар билан тезлатиш ва оптимал бошқариш йўллари ҳам кўрсатилган.

Дарслик олий ўқув юртларининг «Химиявий технология» ихтисослиги бўйича таълим оладиган студентларига мўлжалланган бўлиб, ундан инженер-техник ходимлар ҳам фойдаланиши мумкин.

C26

**Салимов З., Тўйчиев И.**

Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. Олий ўқув юрт. «химиявий технология» ихтисосликлари бўйича таълим оладиган студ. учун дарслик. Т., Ўқитувчи, 1987.—408 б.

1. Автордош.

Салимов З., Тўйчиев И. Процессы и аппараты химической, технологии.

35.11 я73

## С Ў З Б О Ш И

Химия ва озиқ-овқат саноати учун малакали мутахассислар тайёрлашда химия технологиясининг процесслар ва аппаратлари фани алоҳида ўринда туради. Ушбу фанда технологик процессларнинг назарий ва амалий асослари, тегишли аппаратлар ва уларни ҳисоблаш усуллари ўрганилади. «Процесслар ва аппаратлар» фани студентларнинг инженерлик малакасини оширишда пойдевор бўлиб хизмат қилади.

Ушбу дарслик авторларнинг бир неча йиллик илмий-педагогик тажрибаси асосида ёзилган бўлиб, олий ўқув юртларининг химиявий технология факультети студентларига «Процесслар ва аппаратлар» фани бўйича асосий маълумот беради. Дарсликда химия технологиясининг асосий бўлимлари, яъни гидромеханика, иссиқлик ўтказиш ва моддалар алмашинуви процесслари баён этилган. Совет ва чет эл олимларининг «Процесслар ва аппаратлар» фанини ривожлантиришдаги хизматлари анча тўлиқ ёритиб берилган. Шу билан бирга, Ўзбекистон олимларининг муҳим ишлари ҳам кўрсатиб ўтилди. Китобдаги барча ҳисоблар Халқаро бирликлар системасида бажарилди.

Дарсликнинг кириш қисми ва 1, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14- бобларини З. Салимов, 2—4, 7, 9, 12, 15- бобларини эса И. Тўйчиев ёзган.

«Химия технологиясининг процесслари ва аппаратлари» дарслиги ўзбек тилида биринчи марта ёзилди. Шу сабабли авторлар ўзларининг танқидий фикр-мулоҳазаларини айтган ўртоқларга самимий миннатдорчилик билдирадилар. Бизнинг адрес: *Тошкент—129, Навоий кўчаси, 30. «Уқитувчи» нашриётининг умумтехника адабиёти редакцияси.*

## Қ И Р И Ш

КПСС XXVII съезди қарорларида малакали мутахассислар тайёрлаш ва улардан халқ хўжалигининг турли соҳаларида фойдаланиш тадбирлари белгиланган. Саноатда, қишлоқ хўжалиги ва бошқа соҳаларда ишлайдиган мутахассислар ўз фаолиятларида фан-техника ютуқлари билан етарли даражада қуролланган бўлишлари зарур.

Ҳозирги пайтда олий ўқув юртларида катта ўзгаришлар, яъни қайта қуриш бошланмоқда. Мамлакатимиздаги олий ва ўрта махсус таълимни қайта қуришнинг асосий мақсади мутахассислар тайёрлаш сифатини тубдан яхшилашдан иборатдир. Бу қайта қуришда жадаллаштиришнинг қуроли бўлиб, таълим, ишлаб чиқариш ва фаннинг узвий алоқаси хизмат қилади.

«СССРни иқтисодий ва социал ривожлантиришнинг 1986—1990 йилларга ҳамда 2000 йилгача бўлган даврга мўлжалланган Асосий йўналишлари»га асосан ўн иккинчи беш йилликнинг бош вазифаси — фан-техника тараққиётини жадаллаштириш, ишлаб чиқаришни техник жиҳатдан қайта қуроллантириш ва реконструкциялаш, барпо этилган ишлаб чиқариш потенциалидан интенсиф фойдаланиш, бошқариш системасини, хўжалик механизмини такомиллаштириш негизида экономикани ривожлантиришдан иборатдир.

Халқ хўжалигининг муҳим тармоқларидан ҳисобланган химия саноатида ўн иккинчи беш йилликда маҳсулот ишлаб чиқариш ҳажми 30—32% га оширилади. 1990 йилга бориб минерал ўғит ишлаб чиқариш 41—43 миллион тоннага, ўсимликларни ҳимоя қилувчи химиявий воситалар ишлаб чиқариш 440—480 минг тоннага, синтетик смола ва пластмасса ишлаб чиқариш 6,8—7,1 миллион тоннага, химиявий тола ва ип ишлаб чиқариш 1,85 миллион тоннага, синтетик каучук ишлаб чиқариш 2,7—2,9 миллион тоннага етказилади.

Шу жумладан Ўзбекистонда XII беш йиллик давомида саноат маҳсулотлари ишлаб чиқариш 24—27% га кўпайтирилади. 300 дан ортиқ йирик ишлаб чиқариш объекти ишга туширилади. Химия, электротехника, енгил саноат, приборсозлик, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлаш юқори суръатлар билан ривожлантирилади. Муҳим химиявий маҳсулот ҳисобланган суль-

фат кислота ишлаб чиқариш 34—36% кўпайтирилади. Ўсимликларни ҳимоя қилиш воситалари, пластмасса ва синтетик смолалар ишлаб чиқариш кенгайтирилади. Аммиак, суюлтирилган нитрат кислота, аммиак селитраси ишлаб чиқарадиган кўп тоннажли агрегатлардан фойдаланиш кенгайтирилади.

Юқорида айтиб ўтилган муҳим вазифаларни муваффақиятли ҳал этиш учун юқори малакали инженер кадрлар керак. Бундай кадрлар принципиал янги илмий ғоялар ва техникавий ечимларни яратиш қобилиятига эга бўлишлари зарур. Халқ хўжалигини фан-техника тараққиёти асосида жадаллаштириш — ҳозирги босқичда иқтисодий масаланинг муҳим вазифаси ҳисобланади. Бу улкан ишларни бажариш кадрларнинг малакасига боғлиқдир.

Химия ва озиқ-овқат саноати учун инженер кадрлар тайёрлашда химиявий технология процесслари ва аппаратлари предмети катта аҳамиятга эга. Бу фан студентларга ўз ихтисосликларини чуқур эгаллашга, уларнинг инженерлик билимларини мустаҳкамлашга, қандай қилиб ишлаб чиқариш интенсивлигини ошириш ва технологик аппаратлардан унумли фойдаланиш мумкинлигини ўргатади.

## 1-боб. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

### 1.1-§. Процесслар ва аппаратлар фанининг мазмуни

Химия саноати корхоналарида турли технологик процесслар амалга оширилади. Бу процесслар давомида хомашё ва материалларнинг ички структураси, таркиби, агрегат ҳолатлари ўзгаради. Химиявий технологик процесслар химиявий реакциялардан ташқари турли физик - химиявий процесслардан иборат. Бундай процессларга қуйидагилар киради: суюқлик ва қаттиқ материалларни узатиш, қаттиқ моддаларни майдалаш ва саралаш, газларни сиқиш ва узатиш, моддаларни иситиш ва совитиш, суюқликларни аралаштириш, ҳар хил жинсли аралашмаларни ажратиш, эритмаларни буғлатиш, ҳўл материалларни қуриштириш ва бошқалар. Демак, турли химиявий материал ва маҳсулотлар (кислоталар, ишқорлар, тузлар, минерал ўғитлар, лок- бўёқ, полимер у ма синтетик материаллар ва ҳоказо) ишлаб чиқариш технологияси умумий қонуниятлар билан ифодаланган бир типдаги физик ва физик- химиявий процесслардан иборат бўлади. Бу технологик процесслар турли ишлаб чиқаришларда ишлаш принциплари бир хил бўлган машина ва аппаратларда олиб борилади.

Химия технологиясининг турли тармоқлари учун умумий бўлган процесс ва аппаратлар *асосий процесслар ва аппаратлар* деб юритилади. Масалан, суюқлик аралашмаларини ажратишда кенг ишлатиладиган ҳайдаш процессини кўрамиз. Ҳайдаш процесси кислород ишлаб чиқаришда суюқ ҳавони ажратиш, нитрат кислота ишлаб чиқаришда сув ва азот кислотани ажратиш, синтетик каучук ишлаб чиқаришда мураккаб органик маҳсулотларни ажратиш ва бошқа бир қатор ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади.

Асосий аппаратлар қаторига, масалан, тарелкали ва насадкали колонналар киради. Бундай колонналар ёки аппаратлар ҳайдаш (суюқ аралашмаларни иссиқлик таъсирида ажратиш), абсорбциялаш (газ ва буғ аралашмаларидан бирор компонентни ютувчи суюқлик ёрдамида ажратиш), экстракциялаш (суюқ аралашмаларни эритувчи ёрдамида ажратиш) каби процессларни амалга оширишда ишлатилади.

Химия саноатининг кўпчилик тармоқларида ишлатиладиган насос ва компрессорлар, филътр ва центрифугалар, циклон ва скрубберлар, иссиқлик алмаштиргич ва қуруткичлар ҳам асосий аппаратлар жумласига киради.

«Процесс ва аппаратлар» курсида асосий процессларнинг назарияси, ушбу процесслар амалга ошириладиган машина ва аппаратларнинг тузилиш принциплари ва уларни ҳисоблаш методлари ўрганилади. Асосий процессларнинг қонуниятларини ўрганиш ва аппаратларни ҳисоблаш усулларини тузишда физика, химия, физик-химия, термодинамика, экономика каби фанларнинг фундаментал қонунлари асос қилиб олинади. «Процесс ва аппаратлар» курси химия саноатининг турли тармоқларида ишлатиладиган ва ташқи кўринишдан ҳар хил бўлган процесслар ва аппаратларнинг ўхшашликларини аниқлашга асосланади.

Замонавий катта масштабдаги ишлаб чиқариш процессларини лойиҳалашда ҳам «Процесс ва аппаратлар» фанининг аҳамияти катта. Ўзлаштириши керак бўлган процесс аввал лаборатория шароитида, кичик ўлчамдаги аппаратларда (моделларда) ўрганилади. Сўнгра олинган тадқиқот натижалари катта ўлчамдаги саноат аппаратларига кўчирилади. Шундай қилиб, кичик системаларда олинган натижалардан катта системаларда фойдаланиш қонуниятлари *моделлаштириш* деб юритилади. Моделлаштириш «Процесс ва аппаратлар» фанининг муҳим вазибаларидан бири ҳисобланади.

«Процесс ва аппаратлар» курси химия, озиқ-овқат, нефтни қайта ишлаш ва шу каби бир қатор саноат тармоқлари учун инженер-технолог кадрлар тайёрлашда катта аҳамиятга эга. Бу фан асосида тегишли процессларни ҳисоблаш ва анализ қилиш, уларнинг оптимал параметрларини топиш, керакли аппаратларни лойиҳалаш ва уларни ҳисоблаш мумкин. Ушбу курс машина ва аппаратларни рационал ишлатиш ҳақида маълумот беради ҳамда уларнинг қувватини ошириш усулларини ўргатади.

## 1.2-§. «Процесс ва аппаратлар» фанининг келиб чиқиши ва ривожланиши

«Процесслар ва аппаратлар» фанининг келиб чиқиши химия саноатининг ривожланиши билан боғлиқ. Химия саноати XVIII асрнинг охири ва XIX асрнинг бошларида пайдо бўла бошлади ва қисқа давр ичида ривожланган мамлакатларда халқ хўжалигининг муҳим тармоқларидан бирига айланди. Химия саноатининг ривожланиши билан ишлаб чиқариш процессларини умумлаштирувчи ва аппаратларнинг ҳисобини рационал ҳал қилувчи фанга эҳтиёж кучайди.

Россияда «Процесс ва аппаратлар» фани ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб проф. В. А. Денисов 1828 йилда илгари сурди. Кейинчалик Д. И. Менделеев химия технологияси асосий процессларининг классификациясини тузиб чиқди. XIX асрнинг 90-йиллари охирида проф. А. К. Крупский Петербург технология институтида янги ўқув предмети — «Асосий процесслар ва аппаратларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш» бўйича лекция ўқий бошлади. Бироз кейинроқ Москва олий техника ўқув юртлирида проф. И. А. Тишенко шу янги фан бўйича лекциялар ўқий бошлади. Шу сабабли А. К. Крупский ва И. А. Тишенко мамлакатимизда «Процесслар ва аппаратлар» фанининг асосчилари ҳисобланади.

1935 йили проф. А. Г. Касаткин томонидан «Химия технологиясининг асосий процесс ва аппаратлари» дарслиги чоп этилди. Бу китоб ушбу фаннинг ривожланишида катта аҳамиятга эга бўлди.

Сўнгги 50 — 60 йил мобайнида процесс ва аппаратлар фани узлуксиз ривожланиб келмоқда. Янги химия ишлаб чиқаришларини илмий асосда тузиб чиқишда, юқори унумли аппаратлар яратишда, технологик процессларни интенсивлашда ушбу фаннинг аҳамияти йилдан-йилга ортиб бормоқда.

Процесслар ва аппаратлар фанининг ривожланишида совет олимларидан А. Г. Касаткин, Н. М. Жаворонков, В. В. Кафаров, П. Г. Романков, А. Н. Плановский, В. Н. Стабников, Н. И. Гельперин ва бошқаларнинг ҳиссаси катта.

Ўзбекистон ССР да «Процесс ва аппаратлар» фанининг ривожланишида Абу Райҳон Бериуний номидаги Халқлар дўстлиги орденли Тошкент политехника институти қошидаги «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасининг ҳам ҳиссаси катта. Ушбу кафедрада химия ва озик-овқат саноати ишлаб чиқариш процессларини интенсивлаш бўйича кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари муваффақиятли олиб борилмоқда. Кафедра ходимлари томонидан пахта чигити ва уни қайта ишлаш натижасида ҳосил бўладиган материалларнинг гидромеханик, иссиқлик- физикавий ва диффузион хусусиятлари аниқланди, пахта чигити учун мавҳум қайнаш қатлами ва ўзгарувчан иссиқлик режимида ишлайдиган қуриткичлар таклиф этилди, ўсимлик ёғларини экстракциялашнинг механик (пульсацион ва вибрацион) тебранишлар ва ўзгарувчан электромагнит майдон ёрдамида интенсивлаш, чигитни пневматик йўл билан узатиш ва тозалаш усуллари ишлаб чиқилди. Илмий ишларнинг асосий натижалари республикамизнинг бир қатор корхоналарига тадбиқ қилинди.

### 1.3- §. Асосий процессларнинг турлари

Химия саноатида ўрганиладиган асосий процесслар 5 гурпуага бўлинади:

1. Гидромеханик процесслар.
2. Иссиқлик процесслари.
3. Моддалар алмашинуви процесслари.
4. Химиявий процесслар.
5. Механик процесслар.

1. Гидромеханик процессларда суюқлик ва газларнинг ҳаракати ўрганилади. Процесснинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан аниқланади. Суюқликларни бир жойдан иккинчи жойга узатиш, газларни сиқиш ва узатиш, турли жинсли газ ва суюқлик аралашмаларини ажратиш, суюқликларни аралаштириш гидромеханик процессларга киради.

2. Иссиқлик процесслари — температуралар фарқи мавжуд бўлганда бир (температураси юқори) жисмдан иккинчи (температураси паст) жисмга иссиқликнинг ўтишидир. Процесснинг тезлиги иссиқлик узатиш қонунлари билан ифодаланади. Бу гурпуага иситиш, совитиш, буғлатиш, конденсациялаш ва сунъий совуқ ҳосил қилиш

процесслари киради. Иссиқлик процессларининг тезлиги муҳитнинг гидродинамик ҳаракатига ҳам боғлиқ.

3. Моддалар алмашинуви процесслари — бир ёки бир неча компонентларнинг бир фазадан, фазаларни ажратувчи юза орқали, иккинчи фазага ўтишидир. Компонентлар бир фазадан иккинчи фазага молекуляр ва конвектив диффузиялар ёрдамида ўтади. Шу сабабли бу процесслар *диффузион процесслар* ҳам дейилади. Процессларнинг тезлиги фазаларнинг гидродинамик ҳаракатига боғлиқ бўлиб, моддалар алмашинув қонуниятлари билан ифодаланади. Бу группага абсорбция, адсорбция, экстракция, суюқликларни ҳайдаш, қуритиш ва кристаллизация процесслари киради.

4. Химиявий процесслар — моддаларнинг ўзаро таъсири натижа-сида янги бирикмаларнинг ҳосил бўлишидир. Химиявий реакциялар вақтида одатда, иссиқлик ва моддалар алмашинуви процесслари ҳам содир бўлади. Бу группадаги процессларнинг тезлиги химиявий кинетик қонуниятлар билан ифодаланади. Реакциянинг тезлиги, айниқса, саноат миқёсида, моддаларнинг гидромеханик ҳаракатига ҳам боғлиқ бўлади.

5. Қаттиқ моддаларни майдалаш, саралаш, узатиш ва аралаштириш механик процесслар жумласига киради. Бу процессларнинг тезлиги қаттиқ жисмларнинг механик қонуниятлари билан ифодаланади.

Химия саноатидаги технологик процесслар даврий ва узлуксиз равишда ўтказилади.

Процесслар вақт давомида параметрларнинг ўзгаришига қараб турғун ва турғунмас бўлади. Тезлик, концентрация, температура каби параметрлар вақт давомида ўзгарса процесс турғунмас, аксинча, агар бу параметрлар ўзгармаса процесс турғун дейилади.

#### 1.4-§. Гидромеханик, иссиқлик ва моддалар алмашинуви процессларининг бирлиги

Химия технологияси асосий процесслари (гидромеханик, иссиқлик-ва моддалар алмашинуви) нинг асосини материал оқимлар ўртасидаги модда ёки энергия алмашинуви ташкил этади. Ушбу типавий процессларнинг негизи гидродинамика ва термодинамика қонуниятларига асосланади. Процессларни анализ қилишда аввал моддалар ва энергиянинг сақланиш қонунларига асосан материал ва энергетик оқимларнинг миқдори аниқланади, сўнгра ҳаракатлантирувчи куч топилади.

Ишлаб чиқаришда ҳар бир процесснинг тезлигини оширишга ҳаракат қилинади, бу нарса ўз навбатида аппаратларнинг иш унумини кўпайтиради. Асосий процессларнинг кинетикасини ўрганиш қуйидаги қонуниятни беради: процессларнинг ўтиш тезлиги ҳаракатлантирувчи кучга тўғри ва қаршилиқка тескари пропорционал. Масалан, гидромеханик (филтрлаш) процесс учун қуйидаги кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$\frac{dw}{d\tau} = \frac{1}{R_1} \Delta P = k_1 \Delta P, \text{ м/с;} \quad (1.1)$$

бу ерда  $dW$  — маълум вақт давомида ( $d\tau$ ) олинган филтратнинг миқдори;  $\Delta P$  — ҳаракатлантирувчи куч (босимлар фарқи);  $R_1$  — филтровчи тўсиқ ва чўкманинг гидравлик қаршилиги;  $k_1$  — филтровчи муҳитнинг ўтказувчанлиги.

Иссиқликнинг ўтиш тезлиги термодинамика қонунларига асосан қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{1}{R_2} \Delta t = k_2 \Delta t; \quad (1.2)$$

бу ерда  $dQ$  — ўтказилган иссиқлик миқдори;  $\Delta t$  — ҳаракатлантирувчи куч (температуралар фарқи);  $R_2$  — иссиқлик ўтказишга бўлган қаршилиқ;  $k_2$  — иссиқлик ўтказиш коэффициенти.

Моддалар алмашинуви (ёки диффузион) процесси учун ҳам қуйидаги кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{1}{R_3} \Delta C = k_3 \Delta C, \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с}); \quad (1.3)$$

бу ерда  $dM$  — ўтказилган модданинг миқдори;  $\Delta C$  — ҳаракатлантирувчи куч (ўтказилаётган компонент концентрацияларнинг фарқи);  $R_3$  — модда ўтказишга бўлган қаршилиқ;  $k_3$  — модда ўтказиш тезлигини ифодаловчи коэффициент.

Гидромеханик, иссиқлик ва моддалар алмашинуви процесслари учун қуйидаги умумий кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$Y = k \Delta, \quad (1.4)$$

бу тенгламада  $Y$  — процесснинг тезлиги,  $\Delta$  — ҳаракатлантирувчи куч,  $k$  — кинетик коэффициент.

Ўрганилаётган процесснинг турига қараб кинетик коэффициент ҳар хил бўлиши мумкин (масалан, иссиқлик ёки модда алмашинуви коэффициенти, филтровчи муҳитнинг ўтказувчанлиги).

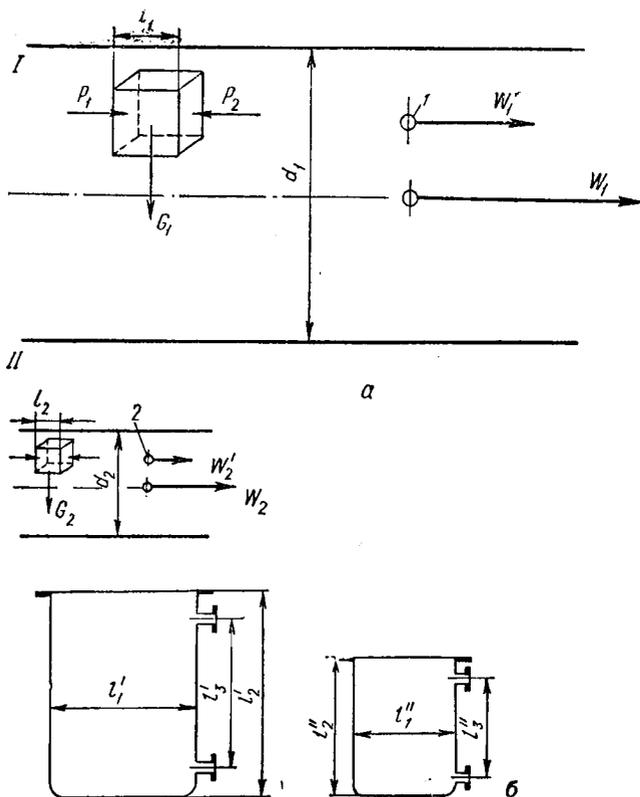
(1.4) тенглама маълум бир ҳаракатлантирувчи куч таъсирида, борадиган процессларга мос келади. Агар икки ёки ундан ортиқ процесслар бир вақтнинг ўзида параллел кетса, бунда ҳар бир процесснинг тезлиги тегишли ҳаракатлантирувчи куч миқдорига боғлиқ бўлади. Агар системада бир пайтда комплекс процесслар (диффузион ва иссиқлик процесслари) содир бўлаётган бўлса, буларнинг ичидан асосий (бош) процесс ажратиб олинади. Одатда асосий процесснинг тезлиги қолган процессларнинг тезлигига нисбатан катта бўлади. Шу сабабли мураккаб комплекс процессларнинг самарадорлигини ошириш учун бош процесс интенсивлаштирилади.

### 1.5-§. Ўхшашлик назариясининг асослари

Янги технологик процессни ташкил этиш учун аввал лаборатория ва синов қурилмаларида тажрибалар олиб борилади. Бу қурилмаларда текширилаётган процесснинг техникавий жиҳатдан мукамал ва иқтисодий жиҳатдан тежамли эканлиги аниқланади. Текширишлар натижасида, барча процессларнинг бир хиллик шартларига мувофиқ, аппаратнинг шакли ва ўлчамлари, процессни олиб бориш шароитлари, процессда қатнашаётган моддаларнинг муҳим ўзгармас катталиклари, маҳсулотнинг чиқиши, хомашё ва энергиянинг солиштирма сарфи ва бошқа масалалар ҳал қилинади.

Лаборатория ва синов аппаратларида олинган натижаларни солиштириш учун улар ўрганилаётган саноат аппаратларида синаб кўрилади. Янги аппаратларни лойиҳалаш ва ишлатиш учун лаборатория ва тажриба шароитларида (процессни тадқиқот қилиш натижасида) олинган ҳисоблаш тенгламалари ва бирхиллик шартларининг қонуниятлари катта аҳамиятга эга бўлади. Бу курсда ўрганилаётган барча процесслар анча мураккаб бўлиб, уларнинг бориши кўп факторларга боғлиқ. Шу сабабли бир қатор технологик процесслар учун керакли ҳисоблаш формулаларини келтириб чиқариш ва уларни математик йўл билан ифодалаш қийин. Кўпчилик технологик процесслар физика ва химия қонунлари асосида дифференциал тенгламалар орқали ифодаланади. Дифференциал тенгламалар ўхшашлик назариясидан фойдаланиб ечилса аналитик формулалар келиб чиқади. Бу аналитик формулалар технологик процесс учун зарур бўлган факторларни ўзаро боғлайди ва инженерлик ҳисоблаш ишларида кенг ишлатилади.

Айрим ҳолларда дифференциал тенгламаларни математик йўл билан ечиб бўлмайди. Бунда тажрибалар ўтказиб, процессни характерловчи ўзгарувчан факторлар ўртасидаги боғлиқлик аниқланади. Тажриба натижалари асосида эмперик тенгламалар келтириб чиқарилади. Бундай тенгламалар хусусий характерда бўлиб, улардан фа-



1.1- расм. Геометрик ўхшаш аппаратлар: а) ўхшаш жисмлар.

қат конкрет шароитлардагина фойдаланиш мумкин. Бироқ исталган мураккаб процессни тадқиқот қилиш пайтида умумий бўлган қонуният ва тенгламаларни топиш керак. Бу тенглама ва қонуниятлар ёрдамида бирор хусусий тажриба натижаларини бошқа кўпчилик процессларни текширишга қўллаш мумкин бўлсин. Бу мақсадга тажриба натижаларининг ўхшашлик назарияси ёрдамида уларни қайта ишлаш орқали эришиш мумкин.

Ўхшаш процессларда бу процессларни характерловчи ва ўхшаш бўлган катталиклар нисбати ўзгармас бўлади. Ўхшашлик назариясининг назарий ва амалий аҳамияти катта. Ўхшашлик назарияси қандай қилиб тажриба ўтказиш ва тажриба натижаларини қайси йўл билан қайта ишлаш кераклигини ўргатади.

Ўхшашлик шартларига кўра ўхшаш ҳодисалар 4 группага бўлинади: геометрик ўхшашлик, вақт бўйича ўхшашлик, физик катталикларнинг ўхшашлиги, бошланғич ва чегара шартларининг ўхшашлиги.

Агар системадаги жисмлар тинч ҳолатда турган бўлса, геометрик бир хилликка асосан икки ўхшаш жисмнинг геометрик ўлчов катталиклари ўзаро параллел бўлиб (1.1-расм), уларнинг нисбати ўзгармас бўлади:

$$\frac{l_1''}{l_1'} = \frac{l_2''}{l_2'} = \frac{l_3''}{l_3'} = k_l; \quad (1.5)$$

бунда:  $K_l$  — геометрик ўлчов катталиклар константаси;  $l_1'', l_2'', l_3'', l_1', l_2', l_3'$  — биринчи ва иккинчи жисмнинг геометрик ўлчамлари.

Геометрик ўхшашлик бўлганда вақт бўйича бирхиллик ҳосил бўлади. Бу бирхилликка асосан, иккита геометрик жисмдаги нуқталар ўхшаш траектория бўйлаб вақт бирлигида бир хил йўл босиб ўтади. Уларнинг ўзаро бир-бирига нисбати ўзгармас қийматга тенг:

$$\frac{T_1}{\tau_1} = \frac{T_2}{\tau_2} = \frac{T_3}{\tau_3} = \dots = \frac{T_n}{\tau_n} = a_\tau = \text{const}; \quad (1.6)$$

бу ерда  $T_1, T_2, T_3, T_n, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_n$  — ҳаракатдаги биринчи ва иккинчи жисм вақт интервалининг ўзгариши;  $a_\tau$  — вақт бирликлари константаси.

Физик катталикларнинг бирхиллигига асосан, фазода жойлашган икки система физик хоссаларининг ўзаро нисбати вақт бирлигида ўзгармас бўлади:

$$\frac{\mu_1'}{\mu_1} = \frac{\mu_2'}{\mu_2} = \frac{\mu_3'}{\mu_3} = \dots = \frac{\mu_n'}{\mu_n} = a_\mu = \text{const}; \quad (1.7)$$

бу ерда  $\mu_1', \mu_2', \mu_3', \mu_n', \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_n$  — биринчи ва иккинчи система хоссаларининг вақт бирлигида ўзгариши;  $a_\mu$  — физик катталиклар константаси.

Ўхшаш фазода жойлашган жисмларнинг физик ва вақт бўйича бирхилликка эга бўлиши учун уларнинг бошланғич ва чегара шартлари бир хил бўлиши керак.

Лойиҳачиларга ўхшашлик назарияси тажриба қурилмаларида (моделларда) номаълум катталикларни текшириб кўришга ва олинган натижаларни саноат аппаратларига (натурага) кўчиришга ёрдам

беради. Ўхшашлик назарияси ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб 1686 йили И. Ньютон таклиф этган. Кейинчалик бу назарияни В. Л. Кирпичев, В. Нусельт, М. В. Кирпичев, А. А. Гухман ва бошқалар ривожлантирган.

Ўхшашлик назарияси учта теоремага асосланади. Биринчи теоремани И. Ньютон кашф қилган. Бу теоремага мувофиқ ўхшаш ҳодисалар бир хил қийматга эга бўлган ўхшашлик критерийлари билан характерланади. Масалан, иккита ўхшаш системадаги (натура ва моделдаги) заррачаларнинг механик ҳаракати Ньютон ўхшашлик критерийси орқали қуйидагича ифодланади:

$$Nc = \frac{f\tau}{m \cdot \omega}, \quad (1.8)$$

бу ерда  $f$  — куч,  $m$  — заррачанинг массаси,  $\tau$  — вақт,  $\omega$  — заррача тезлиги.

Иккинчи теорема Бэкингем, Федерман ва Афанасьева-Эренфест томонидан исботланган. Бу теоремага асосан, бирор процессга таъсир қилувчи ўзгарувчан параметрларнинг боғловчи дифференциал тенгламаларининг ечимини ўхшашлик критерийларининг ўзаро боғлиқликлари орқали ифодалаш мумкин.

Агар ўхшашлик критерийлари  $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$  билан белгиланса, у ҳолда дифференциал тенгламанинг ечими умумий тарзда қуйидагича бўлади:

$$\Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n) = 0 \quad (1.9)$$

ёки

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n). \quad (1.10)$$

Бундай ифодалар *критериал тенгламалар* деб юритилади.

Учинчи теорема М. В. Кирпичев ва А. А. Гухман томонидан аниқланган. Бу теорема тажриба асосида олинган ҳисоблаш усулларида амалда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Бу теоремага асосан, сон жиҳатдан кенг аниқловчи критерийларга эга бўлган ҳодисалар ўхшаш ҳисобланади.

Шундай қилиб, процессларни ўхшашлик назарияси бўйича тадқиқот қилиш қуйидаги босқичлардан иборат экан:

1. Процессни дифференциал тенгламалар орқали ифодалаб, бир хиллик шартлари аниқланади.

2. Дифференциал тенгламаларнинг ечимини ўзгартириб, процесснинг ўхшашлик критерийлари топилади.

3. Моделларда тажрибалар асосида ўхшашлик критерийлари ўртасидаги аниқ боғлиқлик топилади. Олинган боғлиқликларни бошқа ўхшаш процессларни ҳисоблашда ишлатиш мумкин.

Процессларни ҳисоблашда бир қатор ўхшашлик критерийларидан фойдаланилади. Ўхшашлик критерийлари ўлчамсиз катталиклар бўлиб, текширилаётган процессни характерлайдиган физик катталиклардан тузилади. Бу критерийлар олимлар номлари билан юритилади. Ўхшашлик критерийлари учта группага бўлинади:

1. Гидромеханик ўхшашлик критерийлари.
2. Иссиқлик ўхшашлик критерийлари.
3. Диффузион ўхшашлик критерийлари.

Биринчи группага Рейнольдс, Эйлер, Фруд, Галилей ва бошқа критерийлар киради. Рейнольдс критерийси:

$$Re = \frac{\omega l \rho}{\mu}; \quad (1.11)$$

бу ерда  $\omega$  — суюқлик ва газ оқимининг тезлиги, м/с;  $l$  — оқимнинг характер-ли ўлчами, м;  $\rho$  — суюқлик ёки газнинг зичлиги кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — муҳитнинг динамик қовушоқлиги, Н·с/м<sup>2</sup>.

Рейнольдс критерийси ўхшаш оқимлардаги инерция кучларининг ишқаланиш кучларига нисбатини ва ҳаракатнинг режимини харак-терлайди.

Эйлер критерийси:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2} \quad (1.12)$$

бу ерда  $\Delta p$  — суюқлик оқимидаги босимнинг йўқолиши, Н/м<sup>2</sup>.

Бу критерий ўхшаш оқимлардаги босимлар фарқини динамик босимга бўлган нисбатини характерлайди ёки суюқликнинг гидро-статик босими ва инерция кучлари орасидаги ўзаро боғланишни ифодалайди.

Фруд критерийси:

$$Fr = \frac{\omega^2}{gl}; \quad (1.13)$$

бу ерда  $g$  — эркин тушиш тезланиши, м/с<sup>2</sup>.

Фруд критерийси оғирлик кучи таъсирини характерлайди ва ўх-шаш оқимлардаги инерция кучининг оғирлик кучига нисбатини ифо-далайди.

Галилей критерийси:

$$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2}; \quad (1.14)$$

бу ерда  $\nu$  — муҳитнинг кинематик қовушоқлиги, м<sup>2</sup>/с.

Бу критерий ўхшаш оқимлардаги молекуляр кучларнинг оғирлик кучларига нисбатини белгилайди.

Гомохрон критерийси:

$$Ho = \frac{\omega \tau}{l}; \quad (1.15)$$

бу ерда  $\tau$  — вақт, с.

Гомохрон критерийси ўхшаш оқимлардаги ҳаракатнинг турғун-маслигини аниқлайди.

Иккинчи группага Нусельт, Фурье, Пекле, Прандтл ва бошқа критерийлар киради.

Нусельт критерийси:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (1.16)$$

бу ерда  $\alpha$  — иссиқлик бериш коэффициентини, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda$  — муҳитнинг иссиқ-лик ўтказувчанлиги, Вт/(м·К)

Нусельт критерийси ўхшаш оқимлардаги девор ва суюқлик чегарасида бораётган иссиқлик ўтказиш процессининг тезлигини характерлайди.

Фурье критерийси:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}; \quad (1.17)$$

бу ерда  $a$  — температура ўтказувчанлик коэффициенти,  $m^2/c$ .

Фурье критерийси иссиқлик оқимларидаги турғунмас процессларнинг ўхшашлигини характерлайди.

Пекле критерийси

$$Pe = \frac{\omega \cdot l}{a}. \quad (1.18)$$

Пекле критерийси процесснинг гидродинамик шароитини ва муҳитнинг иссиқлик хоссаларини белгилайди. Бу критерий конвектив иссиқлик бериш пайтида конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида ўтказилган миқдорлар ўртасидаги нисбатини характерлайди.

Прандтл критерийси:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{c \mu}{\lambda}; \quad (1.19)$$

бу ерда  $c$  — суюқлик ёки газнинг иссиқлик сифми,  $J/(kg \cdot K)$ .

Прандтл критерийси конвектив иссиқлик бериш процессидаги муҳитнинг физик хоссаларининг ўхшашлигини характерлайди.

Учинчи группага Нусельт, Фурье, Пекле, Прандтл критерийлари киради:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot l}{D}; \quad (1.20)$$

$$Fo' = \frac{\tau D}{l^2}; \quad (1.21)$$

$$Pe' = \frac{\omega l}{D}; \quad (1.22)$$

$$Pr' = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho \cdot D}; \quad (1.23)$$

бу ерда  $\beta$  — моддалар алмашиниш коэффициенти,  $m/c$ ;  $D$  — диффузия коэффициенти,  $m^2/c$ .

Нусельт критерийси ўхшаш системалардаги фазалар чегарасида моддалар алмашиниш процессининг интенсивлигини характерлайди. Чет эл адабиётларида кўпинча Нусельт критерийси ўрнига Шмидт критерийси ишлатилади.

Фурье критерийси ўхшаш системалардаги турғунмас моддалар алмашиниш процессларининг ўхшашлигини ифода қилади.

Пекле критерийси ўхшаш системаларда конвектив ва молекуляр диффузиялар ёрдамида ўтказилган моддалар миқдорининг нисбатини белгилайди.

Прандтл критерийси оқимнинг фақат физик катталикларидан ташкил топган. Бу критерий ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида суоқликнинг (ёки газнинг) физик хусусиятлари нисбатининг ўзгармаслигини характерлайди.

Ўхшашлик назарияси катта амалий аҳамиятга эга. Ушбу назария ёрдамида катта ўлчамли саноат қурилмаларида ташкил этиладиган мураккаб (юқори температура, юқори босим остида зарарли ва хавфли моддалар иштирокида борадиган) процесслар ўрнига кичик ўлчамли моделларда тажрибалар ўтказиш имкони туғилади. Бунда текширилаётган процессларни олиб бориш шароити бирмунча ўзгартирилади: температура ва босим пасайтирилади, иш муҳитлари алмаштирилади. Аммо процесснинг физик моҳияти ўзгартирилмайди. Шундай қилиб, ўхшашлик назариясининг методлари химиявий технология процессларининг ўлчамларини ўзгартириш ва уларни моделлаштириш ишларига асос бўлиб хизмат қилади.

### 1.6-§. Физик катталикларнинг ўлчов системалари

Ҳар қандай процесс ва аппаратларни ҳисоблашда моддаларнинг физик хусусиятларини (зичлик, солиштирма оғирлик, қовушоқлик ва бошқалар) ва модда ҳолатининг ҳаракатини характерловчи параметрларни (тезлик, босим ва бошқалар) билиш керак.

1980 йилга қадар физик катталиклар параметрларининг миқдорини ифодалаш учун асосан СГС, МКГСС ва бошқа ўлчов бирликлар системалари ишлатилар эди. Технологик процессларни ўрганишда турли ўлчов бирликларидан фойдаланиш ҳисоблаш ишларини қийинлаштиради ва қўпол хатоликларга олиб келади, чунки бунда катталикларни бир системадан бошқасига ўтказиш эҳтиёжи туғилади, оқибатда ҳисобларда ҳам жиддий хатоларга йўл қўйилиши мумкин.

Мамлакатимизда ва ЎИЕК (СЭВ) га аъзо бўлган ва аъзо бўлмаган бир қанча давлатларда ўлчов бирлигининг ягона системаси сифатида 1980 йилнинг январидан бошлаб универсал Халқаро бирликлар системаси (СИ) қабул қилинди. СИ нинг жорий этилиши билан шу системада назарда тутилган ва унинг таркибига кирмайдиган бирликларнинг илмий тадқиқотлар натижаларини ҳисоблашда, ишлаб чиқариш аппаратларини лойиҳалашда, шунингдек, ўқув таълимот ишларида анча қийинчиликлар туғдираётган ўлчов бирликларидаги хилма-хилликка барҳам берилади.

СИ нинг аввалги системаларга нисбатан муҳим афзаллиги шундаки, у универсал, ўлчов бирликлари бирхиллаштирилган; асосий, қўшимча ва кўпчилик ҳосилавий бирликларни амалиёт учун қулай ўлчамларга мужассамлаштирилган системадир. СИ да еттита асосий катталик ва шуларга мос еттита асосий (ўлчамлари махсус таърифлар билан белгиланган) бирликлар, шунингдек, иккита қўшимча, анчагина ҳосилавий катталиклар ва уларга мос қўшимча ҳамда ҳосилавий бирликлар бор. Халқаро бирликлар системасининг асосий катталиклар ва бирликлари қуйидагилар: узунлик бирлиги — метр (м), масса бирлиги — килограмм (кг), вақт бирлиги — секунда (с), электр ток кучи бирлиги — ампер (А), Кельвин термодинамик темпе-

ратураси бирлиги — кельвин (К), ёруғлик кучи бирлиги кандела (кд), модда миқдори бирлиги — моль (моль).

Ўлчов ва тарозилар XIV Бош конференцияси қарори билан босим ва механик кучланиш бирлиги учун мустақил ўлчов — паскаль (Па) қабул қилинган. Паскаль — кучга перпендикуляр 1 м<sup>2</sup> юзага текис тақсимланган 1 Н кучдан ҳосил қилинган босимга тенг.

Қуйидаги 1.1- жадвалда Халқаро бирликлар системасининг асосий қўшимча ва тез-тез ишлатилиб турадиган баъзи ҳосилавий бирликлари келтирилган.

1.1- ж а д в а л. Халқаро бирликлар системасининг асосий. қўшимча ва баъзи муҳим ҳосилавий бирликлари

Катталикнинг номи	Бирликларнинг номи	Бирликларнинг белгиси (Ўзбекча)
<b>Асосий катталиклар</b>		
1. Узунлик	метр	м
2. Масса	килограмм	кг
3. Вақт	секунд	с
4. Электр ток кучи	ампер	А
5. Термодинамик температура	кельвин	К
6. Модда миқдори	моль	моль
7. Ёруғлик кучи	кандела	кд
<b>Қўшимча катталиклар</b>		
1. Ясси бурчак	радиан	рад
2. Фазовий бурчак	стерадиан	ср
<b>Ҳосилавий бирликлар</b>		
Юза	метр квадрат	м <sup>2</sup>
Ҳажм, сифим	метр куб	м <sup>3</sup>
Тезлик	метр тақсим секунд	м/с
Тезланиш	метр тақсим секунд квадрат	м/с <sup>2</sup>
Бурчак тезлик	радиан тақсим секунд	рад/с
Бурчак тезланиш	радиан тақсим секунд квадрат	рад/с <sup>2</sup>
Зичлик	килограмм тақсим метр куб	кг/м <sup>3</sup>
Куч	ньютон	Н
Босим, механик кучланиш	паскаль	Па
Кинематик қовушоқлик	метр квадрат тақсим секунд	м <sup>2</sup> /с
Динамик қовушоқлик	паскаль-секунд	Па·с
Иш, энергия, иссиқлик миқдори	жоуль	Ж
Қувват	ватт	Вт
Энтропия	жоуль тақсим кельвин (жоуль тақсим градус)	Ж/К (Ж/°С)
Солиштирма иссиқлик сифим (иссиқлик сифим)	жоуль тақсим килограмм-кельвин	Ж/(кг·К)
Иссиқлик алмашинув (иссиқлик узатиш) коэффициенти	ватт тақсим метр квадрат-кельвин	[Ж/(кг·°С)] Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Иссиқлик ўтказувчанлик	ватт тақсим метр-кельвин	Вт/(м·К)
Сирт таранглик	Жоуль тақсим метр квадрат	[Вт(м·°С)]
Диффузия коэффициенти	метр квадрат тақсим секунд	Ж/м <sup>2</sup>
Энтальпия	жоуль тақсим килограмм	м <sup>2</sup> /с Ж/кг

Булардан ташқари, халқаро бирликлар системасининг каррали ва улушли қийматларидан ҳам кенг фойдаланилади. Бунда тегишли бирликнинг сон қийматини 10 сонига кўпайтириб ёки бўлиб мос ҳолда каррали ёки улушли бирлик ҳосил қилинади. Каррали ва улушли бирлик номи дастлабки бирликлар номларига олд қўшимчалар қўшиш йўли билан олинади. Бирликларнинг дастлабки номига икки ва ундан ортиқ олд қўшимча қўшиш мумкин эмас. Масалан, микро-микрофарад, яъни «фараднинг миллиондан бир улушидан миллиондан бир улуши» ибораси ўрнига пикофарад (пФ) ни ишлатиш лозим. Пикофарад  $10^{-12}$  Ф га, яъни фараднинг биллиондан бир улушига тенг.

Халқаро бирликлар системасида ишлатиладиган олд қўшимчалар ва уларнинг кўпайтувчилари 1.2-жадвалда келтирилган. 1.3-жадвалда эса СИ бирликлари билан айрим эскирган бирликлар ўртасидаги нисбатларга мисоллар келтирилган.

1.2 - ж а д в а л. Олд қўшимчалар ва уларнинг кўпайтувчилари

Кўпайтувчи	Олд қўшимча		
	Номи	Белгиси	
		Халқаро	Ўзбекча
$1000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	экса	Е	Э
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	пета	Р	П
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	тера	Т	Т
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	гига	Г	Г
$1\ 000\ 000 = 10^6$	мега	М	М
$1\ 000 = 10^3$	кило	к	к
$100 = 10^2$	гекто	h	г
$10 = 10^1$	дека	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	d	д
$0,01 = 10^{-2}$	сант	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	m	м
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	нано	п	н
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	пико	p	п
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	фемто	f	ф
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	атто	a	а

1.3- ж а д в а л. Бирликлар ўртасидаги нисбатлар

Катталиклар номи	СИ га биноан бирлиги	СИ бирликларига ўтказиш коэффициентлари
1	2	3
Узунлик	м	$1\ \text{мкм} = 10^{-6}\text{м}$ $1\ \text{Å} = 10^{-10}\text{м}$
Оғирлик кучи (оғирлик)	Н	$1\ \text{кгк} = 9,81\ \text{Н}$ $1\ \text{дин} = 10^{-5}\text{Н}$ $1\ \text{техник куч} = 9,81 \cdot 10^3\text{Н}$

1	2	3
Динамик қовушоқлик	Па·с	$1 \text{ П (пуаз)} = 10^{-1} \text{ Па} \cdot \text{с}$ $1 \text{ сП} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ $1 \frac{\text{кгк} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 9,81 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Кинематик қовушоқлик	м <sup>2</sup> /с	$1 \text{ ст (стокс)} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Босим	Па (пас-каль)	$1 \text{ дин}/\text{см}^2 = 0,1 \text{ Па}$ $1 \frac{\text{кгк}}{\text{см}^2} = 1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 735$ мм сим. устуни $1 \text{ кгк}/\text{м}^2 = 9,81 \text{ Па}$ $1 \text{ атм} = 1,033 \text{ кгк}/\text{м}^2 = 1,0110^5$ Па = 760 мм сим. устуни = 10,33 м сув уст. $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
Қувват	Вт	$1 \text{ кгк} \cdot \text{м}/\text{с} = 9,81 \text{ Вт}$ $1 \text{ эрг}/\text{с} = 10^{-7} \text{ Вт}$ $1 \text{ ккал}/\text{соат} = 1,163 \text{ Вт}$
Зичлик	кг/м <sup>3</sup>	$1 \text{ кгк} \text{ с}^2/\text{м}^4 = 9,81 \text{ кг}/\text{м}^3$ $1 \text{ т}/\text{м}^3 = 1 \text{ кг}/\text{дм}^3 = 1 \text{ г}/\text{см}^3 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Солиштирма оғирлик	Н/м <sup>3</sup>	$1 \text{ кгк}/\text{м}^3 = 1,163 \text{ Н}/\text{м}^3$
Иш, энергия, иссиқлик миқдори	Ж (жоуль)	$1 \text{ кгк} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Ж}$ $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Ж}$ $1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ж}$ $1 \text{ ккал} = 4187 \text{ Ж} = 4,19 \text{ кЖ}$
Солиштирма иссиқлик сифими	Ж/(кг·К) Ж/(кг·°С)	$1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{°С}) = 4,19 \text{ кЖ}/(\text{кгК})$ $1 \text{ эрг}/\text{гк} = 10^{-4} \text{ Ж}/\text{кг} \cdot \text{К}$
Иссиқлик бериш ва ўтказиш коэффициентлари	Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{соат} \cdot \text{°С}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	Вт/(м·К) Вт/(м·°С)	$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{соат} \cdot \text{°С}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Айланишлар частотаси	Гц	$1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$ $1 \text{ айл}/\text{с} = 1 \text{ Гц}$ $1 \text{ айл}/\text{мин} = \frac{1}{60} \text{ Гц}$
Солиштирма энтальпия	Ж/кг	$1 \text{ ккал}/\text{кг} = 1 \text{ кал}/\text{г} = 4,19 \text{ кЖ}/\text{кг}$

## 2-боб. ТЕХНИКАВИЙ ГИДРАВЛИКА АСОСЛАРИ

### 2.1-§. Асосий таърифлар

Химия саноатининг барча тармоқларида суюқлик ва газларни узатиш, суюқликларни аралаштириш, ҳар хил жинсли газ ва суюқлик аралашмаларини ажратиш каби процесслар кўп учрайди. Бу процессларнинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан ифодаланади. Гидромеханика қонунларини ва улардан амалда фойдаланиш усулларини гидравлика ўрганади.

Гидравлика икки асосий қисмдан: суюқликларнинг мувозанат қонунларини ўрганадиган гидростатика ва суюқликларнинг ҳаракат қонунларини ўрганадиган гидродинамикадан ташкил топган.

Суюқликлар оқувчанлик хусусиятига эга. Суюқлик гўё маълум ҳажмга эга, лекин шаклга эга эмас (қандай идишга солинса, ўша идиш шаклини олади), аммо суюқ масса ташқи кучлар бўлмаган шароитда, фақат молекуляр кучлар таъсири остида шар шаклини олади. Моддаларнинг суюқ ҳолати ўз табиатига кўра, газ ҳолат билан қаттиқ ҳолат ўртасидаги оралиқ ўринни эгаллайди.

Суюқлик ва газларнинг ҳаракат тезликлари товуш тезлигидан паст бўлгани учун уларнинг ҳаракат қонунлари бир хил. Шунинг учун гидравликада суюқлик дейилганда газ ҳам, суюқлик ҳам тушунилади. Уларни бир-биридан ажратиш учун суюқликлар томчили, газлар эса эластик суюқлик деб қаралади.

Суюқлик ва газлар қуйидаги хоссалари билан бир-бирига ўхшайди: 1) суюқликлар худди газлар каби маълум шаклга эга эмас, унинг физик хоссалари барча йўналишда бир хил, яъни изотропдир; 2) газларнинг қовушоқлиги кичик бўлиб, суюқликларникига яқинлашади; 3) критик температурадан юқори температурада суюқликлар билан газлар орасидаги фарқ йўқолади. Суюқликларнинг мувозанат ва ҳаракат қонунлари дифференциал тенгламалар билан ифодаланади.

Бошқа соҳаларда бўлгани каби, гидравликада ҳам назарий тадқиқотлар натижаларини соддалаштириш мақсадида идеал суюқлик моделидан фойдаланилади.

*Идеал суюқлик* деб, босим ва температура таъсирида ўз ҳажминини ўзгартирмайдиган ёки сиқилмайдиган, ўзгармас зичликка эга бўлган ва ички ишқаланиши (қовушоқлиги) бўлмаган суюқликларга айтилади. Аслида эса, ҳар қандай суюқлик босим ёки температура таъси-

рида ўз ҳажмини ўзгартиради. Ҳар қандай суюқликда ички ишқаланиш кучлари ва қовушоқлик бўлади. Демак, ҳақиқатда табиатда идеал суюқлик бўлмайди, яъни барча суюқликлар реал суюқликдир.

Аммо баъзи суюқликларнинг қовушоқлиги жуда кичик бўлади. Улар температура ва босим таъсирида ўз ҳажмини шу қадар кам ўзгартирадики, бу ўзгаришни амалда ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бундай суюқликлар шартли равишда *идеал суюқликлар* дейилади. Бу тунча реал суюқлик қонунларини ўрганишни осонлаштиради. Эластик суюқликларнинг ҳажми температура ва босим таъсирида кескин ўзгаради.

## 2.2-§. Суюқликларнинг асосий физик хоссалари

Суюқликларнинг асосий физик хоссалари зичлик, солиштирма оғирлик ва қовушоқлик билан характерланади.

**Зичлик.** Ҳажм бирлигидаги бир жинсли жисмнинг (суюқликнинг) массаси *зичлик* деб аталади ва  $\rho$  билан белгиланади:

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad (2.1)$$

бу ерда  $m$  — суюқлик массаси;  $V$  — суюқликнинг ҳажми. Халқаро бирликлар системасида зичлик  $\text{кг}/\text{м}^3$  да ўлчанади.

**Солиштирма оғирлик.** Ҳажм бирлигидаги суюқликнинг оғирлиги *солиштирма оғирлик* деб аталади ва  $\gamma$  билан белгиланади:

$$\gamma = \frac{G}{V}; \quad (2.2)$$

бу ерда  $G$  — суюқликнинг оғирлиги. СИ га биноан солиштирма оғирлик  $\text{Н}/\text{м}^3$  да ўлчанади. Масса билан оғирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

$$m = \frac{G}{g};$$

бу ерда  $g$  — эркин тушиш тезланиши,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Массанинг миқдорини (2.1) тенгликка қўйсақ, зичлик билан солиштирма оғирликнинг ўзаро боғланиш нисбати келиб чиқади:

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (2.3)$$

Томчили суюқликларнинг зичлиги ва солиштирма оғирлиги эластик суюқликларникидан бир неча марта катта бўлиб, босим ва температура таъсирида жуда кам ўзгаради.

Газларнинг зичлиги идеал газларнинг ҳолат тенгламасидан аниқланади.

$$pV = \frac{m}{M} RT; \quad (2.4)$$

бу ерда  $p$  — газ босими,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $T$  — газнинг абсолют температураси ( $T = 273 + t$ );  $M$  — 1 моль газнинг массаси,  $\text{кг}/\text{моль}$ ;  $R$  — универсал газ константаси,  $R = 8,314 \text{ Ж}/(\text{моль} \cdot ^\circ\text{С})$ .

(2.4) тенгламадан зичлик қуйидаги ифодага тенг бўлади:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho M}{RT}. \quad (2.5)$$

Зичлик катталигига тесқари бўлган катталик *солиштирма ҳажм* деб аталади ва  $v$  билан ифодаланади:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{RT}{\rho M} = \frac{V}{m}. \quad (2.6)$$

**Қовушоқлик.** Ҳақиқий (реал) суюқликлар труба ичида ҳаракатланганда, унинг ичида ички ишқаланиш кучлари ҳосил бўлиб, силжишига тўсқинлик қилади. Суюқликнинг бир қатламдан иккинчи қатламга силжиши учун сарф бўлган куч *қовушоқлик* (ёки ички ишқаланиш коэффициентини) дейилади. Ньютон қонунига биноан, суюқликнинг силжиши учун зарур бўлган куч шу қатламнинг юзасига, сурилиш тезлиги градиентига ва шу суюқликнинг қовушоқлик коэффициентига тўғри пропорционал боғланган:

$$T = \mu \cdot F \frac{d\omega}{dn}; \quad (2.7)$$

бу ерда  $T$  — таъсир этаётган куч;  $F$  — юза;  $\frac{d\omega}{dn}$  — тезлик градиенти;  $\mu$  — қовушоқлик коэффициенти.

Тенгламадаги қовушоқлик коэффициентини  $\mu$  *динамик қовушоқлик коэффициенти* ёки *қовушоқлик* дейилади. Қовушоқлик суюқликларнинг физик хусусиятларига ва температурасига боғлиқ бўлиб, кенг интервалда ўзгаради. Масалан, глицериннинг қовушоқлиги сувникига нисбатан бир неча марта каттадир.

Қовушоқлик СИ га биноан қуйидаги бирликда ўлчанади:

$$\mu = \frac{T}{F \left( \frac{d\omega}{dn} \right)} = \frac{H}{M^2 \left( \frac{M/c}{M} \right)} = \frac{H \cdot c}{M^2} = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

Динамик қовушоқлик коэффициентининг шу суюқлик зичлигига нисбати *кинематик қовушоқлик* дейилади ва  $\nu$  билан белгиланади:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2.8)$$

СИ да кинематик қовушоқлик  $m^2/c$  бирлигида ўлчанади.

Баъзан нисбий қовушоқлик тушунчаси ҳам ишлатилади. Бунда бирор суюқлик қовушоқлигининг сувнинг қовушоқлигига нисбати олинади.

Температура ортиши билан суюқликларнинг қовушоқлиги камайди, газларда эса ортади. Суюқликларнинг қовушоқлиги газларникига нисбатан бир неча марта каттадир.

Ньютоннинг ички ишқаланиш қонунига бўйсунадиган суюқликлар ньютон суюқликлар дейилади. Коллоид эритмалар, мойли бўёқлар, смолалар, паст температурада ишлатиладиган сурков мойлари ньютон суюқликларига кирмайди.

### 2.3-§. Мувозанат ҳолатининг дифференциал тенгламаси

Бирор идишда тинч турган суюқликка оғирлик ва босим кучлари таъсир қилади. Бу кучларнинг ўзаро таъсирининг суюқлик ичида тақсимланиши Эйлер томонидан ишлаб чиқилган дифференциал тенглама билан ифодаланади. Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун идишдаги суюқлик ҳажмидан кичкина параллелепипед шаклидаги бўлакча олиб, фазовий координаталар системасида унга таъсир қилаётган кучларни кўрамиз (2.1-расм).

Параллелепипеднинг ҳажмини  $dV$ , унинг  $x$ ,  $y$  ва  $z$  координаталар ўқига параллел йўналган қирраларини  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  билан белгилаймиз. Параллелепипедга таъсир қилаётган оғирлик кучи масса  $m$  билан эркин тушиш тезлиниши  $g$  нинг кўпайтмасига тенг, яъни  $gdm$ . Гидростатик босим кучлари эса, гидростатик босимнинг шу қирралар юзаси кўпайтмасига тенг бўлиб, унинг қиймати координаталар ўқларига боғлиқ:

$$p = f(x, y, z).$$

Статиканинг асосий қондасига мувофиқ, тинч ҳолатда турган кичкина ҳажмга таъсир қилаётган барча кучларнинг координаталар ўқларига нисбатан олинган проекцияларининг йиғиндиси нолга тенг, акс ҳолда суюқлик ҳаракатда бўлар эди.

Кучлар йиғиндисини  $z$  ўққа нисбатан проекциялаймиз. Оғирлик кучи  $z$  ўққа параллел ва унга қарама-қарши томонга йўналган, шунинг учун бу куч  $z$  ўққа манфий (—) ишора билан проекцияланади:

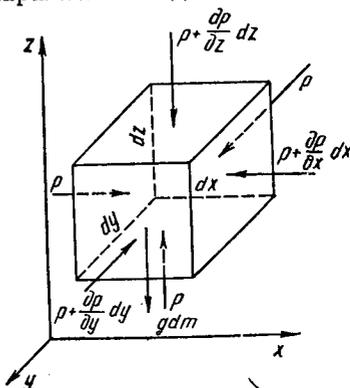
$$-gdm = -g\rho dV = -\rho g dx dy dz.$$

Параллелепипеднинг ҳажми:

$$dV = dx dy dz.$$

Параллелепипеднинг пастки қиррасига гидростатик босим нормал бўйича таъсир қилади ва унинг  $z$  ўққа нисбатан проекцияси  $\rho dx dy$  га тенг. Агар  $z$  ўқ бўйича бирор нуқтадаги гидростатик босимнинг ўзгариши  $\partial p / \partial z$  бўлса,  $dz$  қирранинг узунлигида бу босим  $\frac{\partial p}{\partial z} dz$  га тенг бўлади. Бунда қарама-қарши (юқориги) қиррадаги гидростатик босим  $(\rho + \frac{\partial p}{\partial z} dz)$  га тенг ва унинг  $z$  ўқ бўйича проекцияси:

$$-\left(\rho + \frac{\partial p}{\partial z} dz\right) dx dy.$$



2.1- расм. Мувозанат ҳолатнинг дифференциал тенгламасини аниқлашга доир схема.

$z$  ўққа тенг таъсир этувчи босим кучларининг проекцияси:

$$p dx dy - \left( p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy = - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz.$$

$z$  ўққа проекцияланган умумий кучларнинг йиғиндиси нолга тенг ёки:

$$- \rho g dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz = 0.$$

Параллелепипеднинг ҳажми ҳеч қачон нолга тенг эмас, яъни  $dV = dx dy dz \neq 0$ . Шунинг учун

$$- \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} = 0.$$

Оғирлик кучининг  $x$  ва  $y$  ўқларга нисбатан проекцияси нолга тенг, бу ўқларга фақат гидростатик босим таъсир қилади. Унинг  $x$  ўққа проекцияси:

$$p dy dz - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz = 0.$$

Қавсни очиб, тегишли қисқартириш ишларини бажарсак:

$$\left. \begin{aligned} - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz &= 0 \\ - \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Худди шунингдек  $y$  ўқ учун:

$$\left. \begin{aligned} - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz &= 0 \\ - \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Шундай қилиб, кичкина параллелепипеднинг мувозанат шарти қуйидаги тенгламалар системаси билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Бу тенгламалар системаси Эйлернинг мувозанат ҳолатининг *дифференциал тенгламаси* дейилади. Сууюқликнинг исталган нуқтасидаги гидростатик ва оғирлик кучини аниқлаш учун бу тенгламалар системасини интеграллаш керак. Тенгламаларнинг интегралли гидростатиканинг *асосий тенгламаси* бўлиб, инженерлик ҳисоблаш ишларида кенг қўлланилади.

## 2.4-§. Гидростатиканинг асосий тенгламаси

(2.12) тенгламалар системасидан кўриниб турибдики, тинч турган суюқликнинг исталган нуқтасидаги босимнинг  $x$  ва  $y$  ўқлар бўйича ўзгариши нолга тенг бўлиб, босим вертикал  $z$  ўқ бўйича ўзгаради. Шунинг учун  $\frac{\partial p}{\partial z}$  хусусий ҳосила миқдорини  $\frac{dp}{dz}$  билан алмаштирамиз, у ҳолда:

$$-\rho g - \frac{dp}{dz} = 0.$$

Бундан

$$-dp - \rho g dz = 0. \quad (2.13)$$

Тенгламанинг чап ва ўнг қисмини  $\rho g$  га бўлиб, ишораларини ўзгартирамиз:

$$dz + \left(\frac{1}{\rho g}\right) dp = 0.$$

Бир жинсли аниқ сиқилмайдиган суюқликларнинг зичлиги ўзгармас бўлгани учун

$$dz + d\left(\frac{P}{\rho g}\right) = 0 \text{ ёки } d\left(z + \frac{P}{\rho g}\right) = 0.$$

Бу тенгламани интеграллаймиз, у ҳолда:

$$z + \frac{P}{\rho g} = \text{const}. \quad (2.14)$$

Бу тенглама гидростатиканинг *асосий тенгламаси* дейилади.

Тенгламада  $z$  — ихтиёрий горизонтал текисликка нисбатан олинган нуқтанинг баландлиги (нивелир баландлик) ёки геометрик напор,  $\frac{P}{\rho g}$  — статик ёки пьезометрик босим кучи.

Гидростатиканинг асосий тенгламасига мувофиқ, тинч турган суюқликнинг ҳар қандай нуқтасида нивелир баландлик ва статик босим кучларининг йиғиндиси ўзгармас миқдорга тенг. Нивелир баландлик ва статик босим кучи метр ҳисобида ифодаланади. Умумий ҳолда тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P = P_0 + \rho g z \quad (2.15)$$

$P_0$  — тинч турган суюқлик сиртига таъсир қилаётган атмосфера босими.

(2.15) тенгламадан кўриниб турибдики, тинч турган бир жинсли суюқликнинг бир хил ҳажмида битта горизонтал текисликда жойлашган барча заррачалари бир хил гидростатик босим остида бўлади. Ҳар қайси нуқтадаги гидростатик босимнинг катталиги суюқлик устунининг баландлигига боғлиқ.

(2.15) тенглама Паскаль қонунининг бир кўринишидир, яъни бу формулага биноан, тинч ҳолатдаги суюқликнинг исталган нуқтасига таъсир этаётган ташқи босим суюқликнинг барча нуқталарига ўзгаршсиз узатилади.

## 2.5-§. Босим ҳақида тушунча

Суюқлик идиш деворларига, тубига ва унинг ичига туширилган бошқа жисм юзасига босим кучи билан таъсир қилади. Бирор кичик  $\Delta F$  юзага таъсир қиладиган босим *гидростатик босим* дейилади. Агар юза катталиги нолга яқинлаштирилса, бу қиймат шу нуқтанинг босими дейилади:

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}; \text{ Па ёки Н/м}^2. \quad (2.16)$$

Босимнинг йўналиши ва таъсири суюқликнинг ҳамма нуқталарида бир хил, чунки бу куч ҳамма вақт нормал бўйича йўналган бўлади. Бундан кўришиб турибдики, босимнинг катталиги юзанинг шаклига ва унинг қандай жойлашганлигига боғлиқ эмас.

Босим манометр ва вакуумметрларда ўлчанади. Бу ўлчов приборлари аппарат ичидаги тўла босим  $p_{аб}$  (абсолют босим) билан атмосфера босими  $p_{атм}$  орасидаги ортиқча босим  $p_{ор}$  ни кўрсатади. Шунинг учун, тўла ёки абсолют босим иккала босимнинг йиғиндисига тенг:

$$p_{аб} = p_{мон} + p_{атм}, \quad (2.17)$$

$p_{мон}$  — манометр билан ўлчанадиган босим.

Агар процесс сийракланиш шароитида (вакуумда) кетса, атмосфера ёки барометрик босим билан сийракланиш орасидаги айирма тўла (абсолют) босим дейилади:

$$p_{аб} = p_{атм} - p_{вак}, \quad (2.18)$$

бу ерда  $p_{вак}$ , — вакуумметр билан ўлчанадиган сийракланиш.

## 2.6-§. Суюқлик ҳаракатини тафсилловчи асосий катталиклар

Суюқликнинг ҳаракати тезлик, сарф, босим ва бошқа катталиклар билан характерланади.

Вақт бирлиги ичида оқиб ўтган суюқлик миқдори  $\text{м}^3/\text{соат}$ ,  $\text{л}/\text{соат}$ ,  $\text{л}/\text{с}$  ва  $\text{м}^3/\text{с}$  бирликларда ўлчанса *ҳажмий сарф*, агар  $\text{кг}/\text{соат}$ ,  $\text{кг}/\text{с}$  да ўлчанса *массавий сарф* дейилади.

Трубада оқаётган суюқликнинг тезлиги трубанинг деворларига яқинлашган сари камаяди, чунки суюқлик ҳаракати ишқаланиш кучи туфайли секинлашади ва суюқлик заррачалари деворга ёпишиб, қўзғалмас бўлиб қолади. Суюқлик заррачалари трубанинг ўртасида максимал тезлик билан ҳаракат қилади.

Суюқликнинг ҳақиқий тезлигини ўлчаш жуда қийин, чунки суюқлик заррачалари оқимнинг ҳар бир нуқтасида алоҳида тезликка эга бўлади. Шунинг учун заррачаларнинг тезлиги ўртача катталик билан аниқланади. Ҳажмий сарф миқдорининг труба кўндаланг кесимига нисбати *ўртача тезлик* дейилади:

$$\omega = \frac{V}{S}, \text{ м/с};$$

бу ерда  $V$  — ҳажмий сарф миқдори,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $S$  — трубанинг кўндаланг кесими,  $\text{м}^2$ .

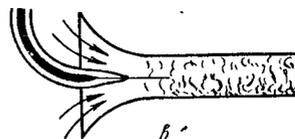
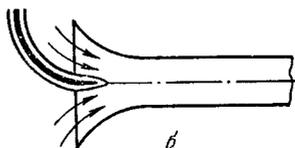
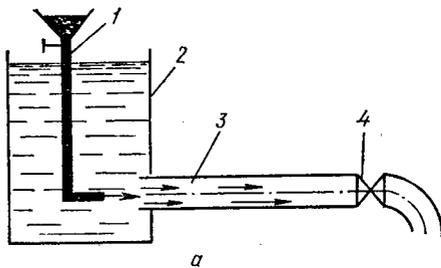
Юқоридаги тенгликдан:  $V = \omega \cdot S$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ . (2.19)

Бу тенглик секундли сарф тенгламаси дейлади. Сууюқликнинг массавий сарфи қуйидагича аниқланади:

$$M = \rho \cdot \omega \cdot S, \text{ кг/с} \quad (2.20)$$

бу ерда  $\rho\omega$  — сууюқликнинг массавий тезлиги,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ .

Труба ёки бошқа шаклдаги каналда сууюқлик икки хил режимда, яъни ламинар ва тўлқинсимон (турбулент) режимда ҳаракат қилади. Оқимларнинг ҳаракат режимини биринчи бўлиб 1883 йилда инглиз физиги О. Рейнольдс рангли эритмалар ёрдамида сууюқликнинг икки хил—ламинар ва турбулент режимда бўлишини аниқлади. Тажриба қурилмаси 2.2-расмда кўрсатилган. Резервуарда сувнинг сатҳи бир хил ушлаб турилади. Унга горизонтал шиша трубадаги оқим ҳаракатини кузатиш учун унинг ўқи бўйлаб рангли сууюқлик юбориладиган найча ўрнатилган. Сувнинг трубадаги тезлиги кран орқали ростланади.



Сув оқимининг тезлиги кичик бўлганда рангли сууюқлик сувга аралашмасдан тўғри чиқиқ бўйлаб горизонтал ип шаклида ҳаракат қилади. Чунки, кичик тезликда сувнинг заррачалари бир-бирига аралашмасдан, параллел ҳолда тартибли ҳаракат қилади (2.2-расм, а). Бундай ҳаракат *ламинар режим* деб юритилади.

Трубадаги сув оқими тезлиги кескин кўпайтирилса, рангли эритма труба бўйлаб тўлқинсимон ҳаракат қилиб сувнинг бутун массасига аралашиб кетади (2.2-расм, в). Бу вақтда сув заррачалари ҳам бир-бири билан аралашиб, тартибсиз тўлқинсимон ҳаракат қилади. Бундай оқим *турбулент режим* дейилади.

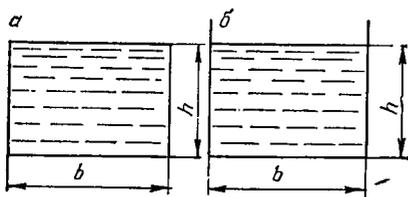
Рейнольдс ўз тажрибаларида фақат тезлики эмас, балки труба-нинг диаметри, сууюқликнинг қовушоқлиги ва зичлигини ўзгартирди. Бу ўзгарувчан катталиклар: тезлик  $\omega$ , диаметр  $d$ , зичлик  $\rho$ , қовушоқлик  $\mu$  каби катталиклардан Рейнольдс ўлчамсиз комплекс келтириб чиқарди, яъни:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} \quad (2.21)$$

Бу комплекс *Рейнольдс критерийси* дейилади. Рейнольдс критерийси ўлчовсиз маълум сон қийматга эга. Масалан, Халқаро бирликлар системасида унинг сон қиймати қуйидагига тенг:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{м/с \cdot м \cdot кг/м^3}{Н \cdot с/м^2} = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot \frac{кг \cdot м}{с^2}} = 1, \text{ чунки } 1Н = \frac{кг \cdot м}{с^2}.$$

Рейнольдс критерийси ҳаракат режимини аниқлаш билан бирга оқим ҳаракатидаги қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини ҳам аниқлайди. Суюқликларнинг ҳаракат режими Рейнольдс критерийсининг критик қиймати  $Re_{кр}$  билан аниқланади. Тўғри ва текис юзага эга бўлган трубалардаги суюқлик оқими учун  $Re_{кр} = 2320$  га тенг. Агар  $Re < 2320$  бўлса, ламинар режим бўлади,  $Re > 2320$  бўлса, тўлқинсимон ҳаракат (турбулент режим) бўлади.  $Re > 10000$  бўлганда турғун турбулент режим бўлади.



2.3- расм. Ҳўлланган периметр.

$Re = 2300 - 10000$  чегарада ўзгарса ўтиш соҳаси бўлиб, бу вақтда бир вақтнинг ўзида трубада икки хил ҳаракат мавжуд бўлади, яъни труба ўртасида суюқлик турбулент, девор яқинида ламинар ҳаракатда бўлади.

Суюқликлар ҳаракатини думалоқ кесим юзали трубалардан ташқари ҳар хил каналларда аниқлаш учун  $Re$  критерийсидаги диаметр ўрнига эквивалент диаметр катталиги ишлатилади. У ҳолда

$$Re = \frac{\omega \cdot d_э \cdot \rho}{\mu}; \quad d_э = \frac{4S}{\Pi}; \quad (2.22)$$

бу ерда  $S$  — суюқлик оқимининг кесим юзаси,  $м^2$ ;  $\Pi$  — ҳўлланган периметр.

Диаметр  $d$  га тенг бўлган думалоқ кесим юзали труба учун  $d_э = d$ . Агар каналнинг кесим юзаси томонлари  $a$  ва  $b$  га тенг бўлган тўртбурчаклик бўлса (2.3- расм), у ҳолда:

$$d_э = \frac{4S}{p} = \frac{4a \cdot b}{2a + 2b} = \frac{2ab}{a + b}. \quad (2.23)$$

## 2.7- §. Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси

Узлуксизлик тенгламасига мувофиқ, трубанинг ўлчамидан қатъи назар, вақт бирлигида унинг ҳар қандай кесим юзасидан оқаётган суюқликнинг миқдори бир хил бўлади, деган хулосага келиш мумкин (2.4- расм). Бу вақтда кесим юзалари  $S_1, S_2, S_3$  ва оқимнинг тезлиги  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  бўлади. Секундли сарф тенгламасига мувофиқ:

$$\omega_1 S_1 \rho_1 = \omega_2 S_2 \rho_2 = \omega_3 S_3 \rho_3 \quad (2.24)$$

ёки

$$M_1 = M_2 = M_3;$$

бу ерда  $M = S \omega \rho$  — суюқликнинг массавий сарфи; кг/с.

Трубадан оқаётган суюқлик бир хил ва унинг зичлиги вақт бирлигида труба узунлиги бўйича ўзгармайди ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho = \text{const}$ ), шунинг учун вақтнинг исталган momentiда оқиб ўтаётган суюқликнинг миқдори бир хил бўлади:

$$\omega S = \text{const}. \quad (2.25)$$

Бу тенгликдан кўришиб турибдики, тезлик трубанинг кесим юзасига тескари пропорционалдир:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (2.26)$$

Оқимнинг узлуксизлик тенг ламаси моддалар сақланиш қонуни-нинг хусусий кўриниши бўлиб, оқимнинг материал балансини ифодалайди. Баъзи ҳолларда оқимнинг узлуксизлиги бузилиши мумкин. Масалан, суюқликнинг қайнаши пайтида босимнинг бирдан пасайиши натижасида, айрим вақтда насосларнинг ишлаши пайтида оқим узлуксизлиги тенг ламаси шартлари бажарилмайди.

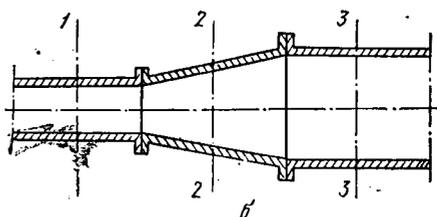
## 2.8-§. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенг ламаси

Бу тенг ламаларни келтириб чиқариш учун турғун ҳаракат қилаётган идеал суюқлик оқимидан элементар кичик заррачага ҳаракат пайтида ва тинч ҳолатда таъсир қилаётган кучларнинг тақсимланишини кўриб чиқамиз (2.5-расм).

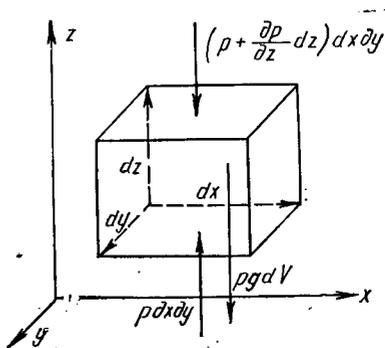
Элементар заррача параллелепипед шаклига эга. Параллелепипеднинг қирралари  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  га тенг бўлиб,  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларига параллел. Унинг ҳажми  $dV$ . Эйлернинг мувозанат тенг ламасига мувофиқ оғирлик ва гидростатик кучларнинг координаталар ўқиға проекцияси қуйидагича:

$$\left. \begin{aligned} x \text{ ўқиға} & - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \\ y \text{ ўқиға} & - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \\ z \text{ ўқиға} & - \left( \rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz \end{aligned} \right\}$$

Динамиканинг асосий қоида-сига мувофиқ, ҳаракатдаги суюқликнинг элементар ҳажмига таъсир қилаётган кучлар проекцияси суюқлик массасининг эркин тушиш тезланишига кўпайтирилганига тенг. Параллелепипед ҳажмидаги суюқлик массаси:



2.4-расм. Сарфнинг ўзгармаслик тенг ламасини аниқлашга доир схема.



2.5- Ҳаракатдаги суюқликнинг, дифференциал Эйлер тенг ламасини аниқлаш.

$$dm = \rho dx dy dz.$$

Суюқлик  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларда  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ва  $\omega_z$  тезлик билан ҳаракатланса, унинг тезланиши  $d\omega/dt$  га тенг бўлиб, ўқларга нисбатан тезланишнинг проекцияси эса  $d\omega_x/d\tau$ ,  $d\omega_y/d\tau$  ва  $d\omega_z/d\tau$  бўлади. Бу ҳолда тезликнинг вақт бирлиги ичида ўзгариши фазода олинган нуқта тезлигининг ўзгаришини эмас, балки суюқлик заррачасининг фазода бир нуқтадан иккинчи нуқтага ўтганда  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларга тўғри келадиган тезлик миқдори  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ва  $\omega_z$  нинг ўзгаришини кўрсатади. Ҳаракат турғун бўлгани учун  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқлардаги ҳар бир нуқта учун вақт бирлигида тезликнинг ўзгариши нолга тенг. Динамиканинг асосий қонунига асосан:

$$\left. \begin{aligned} \rho dx dy dz \frac{d\omega_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \\ \rho dx dy dz \frac{d\omega_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \\ \rho dx dy dz \frac{d\omega_z}{d\tau} &= -\left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z}\right) dx dy dz \end{aligned} \right\}$$

Қисқартиришлардан сўнг қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{d\omega_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{d\omega_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \frac{d\omega_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

Бу тенгламалар турғун оқимлар учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи *Эйлернинг дифференциал тенгламасидир*.

Бу тенгламалар системасини интеграллаш натижасида Бернулли тенгламасини келтириб чиқариш мумкин. Бернулли тенгламасидан бир қатор техникавий масалаларни ечишда кенг фойдаланилади.

## 2.9-§. Ҳаракатнинг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси

Қовушоқликка эга бўлган реал суюқликлар ҳаракатида оқим заррачаларига оғирлик ва гидростатик кучлардан ташқари ишқаланиш кучлар таъсирини аниқлаш учун ҳаракат қилаётган реал суюқлик оқимида худди юқоридагидек, кичик параллелепипед шаклидаги элементар заррача оламиз (2.6- расм). Бунда ишқаланиш кучлари параллелепипеднинг ён ва устки юзаларига уринма бўйлаб таъсир қилади.

Суюқликнинг  $x$  ўқ бўйича ҳаракатланишини кўрамыз. Параллелепипеднинг юзасига  $P_1$  ва ён томонидаги юзага  $P_2$  гидростатик

босим, пастки қиррадаги юзага  $T_1$ , юқориги қиррадаги юзага  $T_2$  ишқаланиш кучлари ва  $z$  ўқ бўйича оғирлик кучи таъсир қилади.

Суюқлик оқимлари параллелепипеднинг пастки қирра юзасига нисбатан юқориги қирра юзасида каттароқ тезлик билан ҳаракат қилади. Шунинг учун ишқаланиш кучлари суюқлик оқимининг ҳаракатига қарама-қарши йўналган бўлади.

Гидродинамиканинг асосий тенгламасига мувофиқ, ҳамма кучларнинг  $x$  ўққа нисбатан проекциясининг йиғиндиси инерцион кучга тенг, яъни:

$$P_1 - P_2 + T_1 - T_2 + dG = R; \quad (2.28)$$

бу ерда  $P_1$  ва  $P_2$  — гидростатик кучлар;  $T_1, T_2$  — ишқаланиш кучи;  $dG$  — оғирлик кучи;  $R$  — инерцион куч.

Бу кучларни  $x$  ўққа нисбатан проекциялаймиз, бунда:

$$P_1 = P dx dy,$$

$$P_2 = \left( P + \frac{\partial p}{\partial x} dz \right) dy dx,$$

$$T_1 = -\tau dy dx,$$

бу ерда  $\tau$  — уринма бўйлаб таъсир қилувчи куч.

$$T_2 = \left( \tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz \right) dx dy,$$

$$dG = g dm = \rho g dV = \rho g dx dy dz,$$

$$R = dm \frac{d\omega}{d\tau} = \rho dV \frac{d\omega}{d\tau} = \rho \frac{d\omega}{d\tau} dx dy dz.$$

Тенг таъсир этувчи гидростатик кучларнинг  $x$  ўққа нисбатан проекцияси:

$$P_1 - P_2 = P dx dy - \left( P + \frac{\partial p}{\partial x} dz \right) dx dy = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz.$$

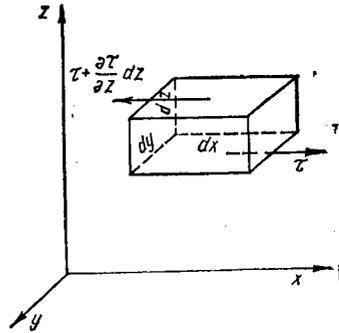
Тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг ўққа нисбатан проекцияси:

$$T_1 - T_2 = \tau dx dy - \left( \tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz \right) dx dy = -\frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz.$$

Уларнинг қийматини (2.28) тенгламага қўямиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz - \frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz + \rho g dx dy dz = \rho \frac{d\omega}{d\tau} dx dy dz.$$

Қисқартиришлардан сўнг қуйидагига эга бўламиз:



2.6- расм. Ҳаракатнинг Навье-Стокс тенгламасини аниқлаш.

$$-\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g = \rho \frac{d\omega}{d\tau}. \quad (2.29)$$

Бу ерда  $\tau = -\mu \frac{\partial \omega}{\partial z}$ . У ҳолда  $\frac{\partial \tau}{\partial z} = \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2}$ ,

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \omega_x + \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \omega_y + \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \omega_z,$$

$\tau$  ва  $d\omega/d\tau$  ларнинг қийматини (2.29) тенгламага қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \omega \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} + \rho g = \rho \omega_x \frac{d\omega}{d\tau}. \quad (2.30)$$

Бу тенгламалар системаси трубадан оқаётган реал суюқликнинг турғун ҳаракатини ифодалайди. Тенгламаларни кўпчилик ҳолларда ечиш мумкин эмас. Шунинг учун бу дифференциал тенгламалардан ўхшашлик назарияси асосида бир қатор ўхшашлик критерийлари келтириб чиқарилади. Чиқарилган критерийлардан процессларни ҳисоблашда фойдаланилади.

## 2.10-§. Бернулли тенгламаси

Бу тенглама техникада суюқликлар ҳаракатини ўрганишда, насос ва компрессорларнинг умумий босимини топишда, суюқлик ҳамда газлар тезлиги ва сарфланиш миқдорини аниқлашда кенг қўлланилади.

Бернулли тенгламаси Эйлернинг ҳаракат тенгламасидан топилади. Бунинг учун (2.27) тенгламалар системасининг чап ва ўнг томонини алоҳида, тегишлича  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  га кўпайтирилади ва суюқликнинг зичлиги  $\rho$  га бўлиб қуйидаги ифодаларни оламиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} d\omega_x &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} dx, \\ \frac{dy}{d\tau} d\omega_y &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} dy, \\ \frac{dz}{d\tau} d\omega_z &= -gdz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} dz. \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

Бу ерда  $dx/d\tau$ ,  $dy/d\tau$  ва  $dz/d\tau$  нисбатлар координата ўқларидаги тезлик  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ва  $\omega_z$  нинг ўзгаришини ифодалайди. Тенгламадаги бу нисбатларни тезлик орқали ифодалаб, уларни қўшсақ:

$$\omega_x d\omega_x + \omega_y d\omega_y + \omega_z d\omega_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right).$$

Тенгламанинг чап томонидаги ифодаларни қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\omega_x d\omega_x = d\left(\frac{\omega_x^2}{2}\right); \quad \omega_y d\omega_y = d\left(\frac{\omega_y^2}{2}\right); \quad \omega_z d\omega_z = d\left(\frac{\omega_z^2}{2}\right).$$

Уларнинг йиғиндиси эса

$$d\left(\frac{\omega_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{\omega_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{\omega_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{\omega^2}{2}\right).$$

Бу ерда  $\omega = (\overline{\omega})$  катталиқ тезлик векторининг катталиги бўлиб, ҳар бир ўқ учун ўз қийматига эга.

Тенгламанинг ўнг томонидаги қавс ичидаги ифода босимнинг тўла дифференциалига тенг.

Турғун оқимлар учун босим фақат фазодаги нуқтанинг ҳолатига боғлиқ бўлиб, ҳар қандай нуқта учун вақт бирлигида ўзгармайди. Демак:

$$d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - g dz.$$

Тенгламанинг икки томонини эркин тушиш тезланиши ( $g$ ) га бўлиб, ўнг томондаги ифодаларни чап томонга ўтказсак:

$$d\left(\frac{\omega^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0. \quad (2.32)$$

Ҳар бир ифоданинг дифференциал йиғиндиси умумий дифференциалнинг йиғиндисига тенг, демак:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g}\right) = 0,$$

бу ерда

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} = \text{const}. \quad (2.33)$$

Ушбу (2.33) тенглама идеал суюқликлар учун трубаинг ихтиёрий кўндаланг кесимида ёки исталган нуқталари а умумий гидродинамик босимнинг ўзгармаслигини кўрсатади ва *Бернулли тенгламаси* дейилади. Гидродинамик босим геометрик ( $z$ ), статик ( $P/\rho g$ ) ва динамик ( $\omega^2/2g$ ) босимлар йиғиндисига тенг. Агар  $z$  ни  $h_r$ ,  $p/\rho g$  ни  $h_c$ ,  $\omega^2/2g$  ни эса  $h_d$  билан белгиласак, унда:

$$h_r + h_c + h_d = H. \quad (2.34)$$

Бернулли тенгламасига биноан, идеал суюқликларнинг турғун ҳаракатида геометрик, статик ва динамик босимлар йиғиндиси умумий гидродинамик босимга тенг бўлиб, у оқим бир трубадан иккинчи трубага ўтганида ҳам ўзгармайди:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g}. \quad (2.35)$$

Тенгламадаги учала босим ҳам узунлик ўлчамига эга бўлиб, метр ҳисобида ифодаланади.

Бернулли тенгламаси энергиянинг сақланиш қонунининг хусусий

кўриниши бўлиб, оқимнинг энергетик балансини белгилайди. Ҳақиқатан, (2.33) тенгламанинг ҳар қайси қисми солиштирма энергияни ифодалайди. Турғун ҳаракатдаги идеал суюқлик учун потенциал  $\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$  ва кинетик  $(\omega^2/2g)$  энергиялар йиғиндиси оқимнинг исталган кўндаланг кесимида ўзгармас қийматга эга.

Ҳақиқий суюқликларда ички ишқаланиш кучи мавжуд бўлгани сабабли, суюқлик трубаларда оқаётганда бир қисм босим бу кучни енгил учун сарф бўлади. Бундай шароитда Бернулли тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g} + h_u$$

ёки

$$h_r + h_c + h_d + h_u = H, \quad (2.36)$$

бу ерда  $h_u$  — ишқаланиш кучини енгил учун сарфланган босим.

Суюқлик горизонтал трубада ҳаракат қилса, бунда геометрик босим нолга тенг бўлади:

$$h_r = 0 \text{ ва } h_c + h_d + h_u = H. \quad (2.37)$$

Бернулли тенгламасидан фойдаланиб, умумий гидродинамик босим, суюқликларнинг тезлиги, сарф миқдорини ва резервуарлардан оқиб ўтиш вақти аниқланади.

## 2.11-§. Суюқликларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш

Химия ва озиқ-овқат саноатининг барча корхоналарида суюқликларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дроссель асбоблар ва пневмометрик трубалар кенг ишлатилади.

Очиқ оқимда суюқликнинг тезлиги Пито найчаси билан ўлчанади. У кичик диаметрли букилган най бўлиб, ҳаракатланаётган суюқлик оқими йўналишига очиқ учи қарама-қарши қилиб ўрнатилади ва найнинг ўқи оқим йўналишига мос тушади (2.7- расм). Бунда найнинг вертикал қисмида суюқлик динамик босимга тенг бўлган баландлик

$h$  га кўтарилади, яъни:

$$h = \frac{\omega^2}{2g}.$$

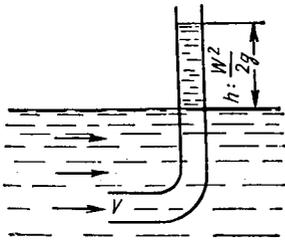
Бундан

$$\omega = \sqrt{2gh}. \quad (2.38)$$

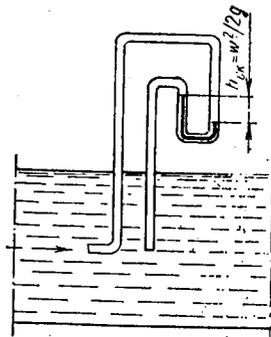
Амалда оқим йўналишида найнинг бўлиши тезликнинг умумий тақсимланишига таъсир қилади, шунинг учун формулага тузатиш коэффициентини киритилади

$$\omega = \xi \sqrt{2gh}. \quad (2.39)$$

Бу коэффициентнинг қиймати ҳар қайси най учун тажриба йўли билан топилади.



2.7- расм. Пито найчаси.



2.8- расм. Сууюқликнинг сарфлаиш миқдори пневмометр труба воситасида аниқлаш

Ёпиқ трубаларда сууюқлик оқимининг тезлигини аниқлаш учун Пито найчаси билан биргаликда  $U$ -симон пьезометрик дифференциал манометрлар (трубалар) ишлатилади (2.8- расм). Бунда  $U$ -симон труба оқимдаги сууюқликка нисбатан зичлиги каттароқ, ўзаро аралашмайдиган сууюқлик билан тўлдирилади. Трубадаги сууюқлик тезлиги ўзгарганда  $U$ -симон манометрдаги сууюқликнинг  $h$  баландликка кўтарилиши динамик босимни кўрсатади. Динамик босим қийматидан тезликни аниқлаш мумкин:

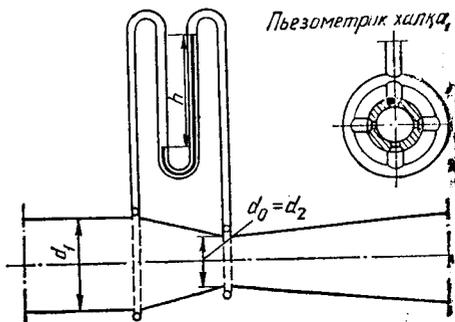
$$\omega = \sqrt{2gh}$$

Сууюқликнинг миқдори эса секундли сарф тенграмаси орқали аниқланади:

$$V = S \cdot \omega$$

Оқим тезлиги ва сарфини ўлчаш учун юқорида айтиб ўтилган усуллар содда ва қулайдир, лекин пневмометрик трубаларни оқимларнинг ўқиға нисбатан ўрнатиш жуда қийин. Шу сабабли саноатда оқим тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дроссель асбоблар ишлатилади. Уларнинг ишлаш принципи трубаларнинг кесими ўзгарганда, яъни трубанинг тор ва кенг кесимидаги динамик босимлар фарқининг ўзгаришини ўлчашга асосланган.

Дроссель асбоблар сифатида ўлчовчи диафрагма, сопло, Вентури трубалари ишлатилади. Вентури трубада ўлчовчи диафрагма ва соплога нисбатан босимнинг йўқолиши кам бўлади, чунки унинг диаметри аста-секин торайиб, сўнгра кенгайиб ўз ҳолатига қайтади (2.9-



2.9- расм. Вентури труба

расм). Шунинг учун Вентури трубалари саноатда кўпроқ ишлатилади.

Труба горизонтал ҳолда ўрнатилгани учун 1—1 ва 2—2 кесимлардаги босимларнинг ўзгариши Бернулли тенгламаси орқали қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g}.$$

Бундан

$$\frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = h;$$

бу ерда  $h$  — трубанинг тор ва кенг кесимидаги босимлар ўзгаришининг дифманометрда ўлчанган миқдори,  $m$  (ишчи суюқлик устуни).

Трубадаги суюқликнинг ўртача тезлиги ва сарфини аниқлаш учун узлуксизлик тенгламасидан фойдаланиб тезликни  $\omega_1$  ва трубанинг диафрагмадан кейинги тор кесимидаги тезлигини  $\omega_2$  билан ифодалаймиз.

$$\omega_1 = \omega_2 \frac{S_2}{S_1} = \omega_2 \frac{d_2^2}{d_1^2}.$$

$\omega$  нинг қийматини динамик напорлар айирмасини ифодаловчи тенгламага қўйсак:

$$\frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{\omega_2^2}{2g} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4 = h.$$

$$\text{Бундан } \omega_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4}}.$$

Диафрагма тешиги  $S_0$  дан ўтаётган, яъни трубадан ўтаётган суюқлик сарфининг миқдори эса:

$$V_c = \frac{\alpha \cdot \pi}{4} d_0^2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4}}, \quad (2.41)$$

бу ерда  $\alpha$  — тузатиш коэффициенти ( $\alpha < 1$ );  $d_0$  — диафрагма тешиги диаметри.

Тузатиш коэффициентининг миқдори суюқликнинг ҳаракат режими-га ва дроссель асбоблар диаметрининг труба диаметри нисбатига боғлиқ:

$$\alpha = f\left(\text{Re}, \frac{d_0}{d_1}\right),$$

бу ерда  $d_0$  ва  $d_1$  — дроссель асбоблар ва трубанинг диаметри.

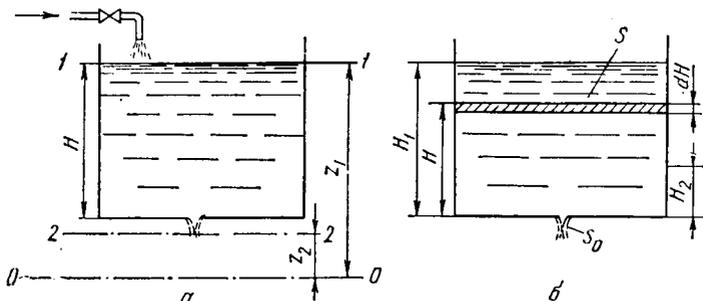
Коэффициент  $\alpha$  дроссель асбобларнинг сарф коэффициенти деб юритилади. Дроссель қурилмаларининг диаметри труба диаметридан

3—4 марта кичкина, шунинг учун (2.41) тенгламадаги  $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4$  нисбатлар миқдори жуда кичик бўлади, демак, суюқликнинг сарфини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$V_c = \frac{\alpha \cdot \pi}{4} d_0^2 \sqrt{2gh} \quad (2.42)$$

### 2.12-§. Суюқликларнинг тешиклар орқали оқиб чиқиши

Идишдаги суюқликнинг пастки юпқа девордаги думалоқ тешик орқали оқиб тушгандаги сарфланиш миқдорини аниқлашни кўриб чиқамиз (2.10- расм, а). Идишда идеал суюқлик бўлиб, унинг баландлиги бир хил вазиятда ўзгармасдан туради. Идишнинг пастки қисмига



2.10- расм. Идишдан суюқликнинг оқиб тушиши.

а) ўзгармас баландликда; б) ўзгарувчан баландликда

параллел бўлган  $0-0$  текисликка нисбатан  $1-1$  ва  $2-2$  кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g}.$$

Идишнинг устки қисми очиқ бўлгани учун  $1-1$  ва  $2-2$  кесимлардаги босимлар ўзаро тенг ( $p_1 = p_2$ ) ва суюқликнинг баландлиги ўзгармаганлиги учун унинг юқориги қисмидаги тезлиги  $\omega_1 = 0$ , бундан ташқари,  $z_1 - z_2 = H$ , у ҳолда:

$$\frac{\omega_2^2}{2g} = H. \text{ Бундан } \omega_2 = \sqrt{2gH}.$$

Демак, тешикдан оқиб тушаётган суюқликнинг тезлиги суюқликнинг баландлигига боғлиқ экан. Ҳақиқий (реал) суюқлик тешикдан оқиб чиқишида босимнинг бир қисми ички ишқаланиш кучларини енгилш учун сарф бўлади, бунда босимнинг йўқолиши тезлик коэффициенти  $\varphi$  орқали ҳисобга олинади, яъни:

$$\omega = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (2.43)$$

Суюқлик оқими тешикдан оқиб тушаётганда сиқилиши натижа-сида тезлик ва босим камаяди, бундай ҳолат тешикдан чиқаётган

оқимнинг сиқилиш коэффициентини орқали ҳисобга олинади ва  $\epsilon$  билан белгиланади.

$$\epsilon = \frac{S_2}{S_0},$$

бу ерда  $S_2$  — тешиқдан ўтган суюқлик оқимининг сиқилган жойдаги кўндаланг кесими;  $S_0$  — тешиқдан ўтаётган суюқлик оқимининг кўндаланг кесими.

Тезлик ва оқимнинг сиқилиш коэффициентларининг кўпайтмаси сарф коэффициентини дейилади ва  $\alpha$  билан белгиланади:

$$\alpha = \epsilon \varphi.$$

Бу коэффициент суюқлик турига боғлиқ бўлиб, ҳар қайси суюқлик учун тажриба орқали аниқланади ҳамда унинг қиймати суюқлик хусусияти, тешиқ шакли ва оқим тезлигига боғлиқ. Ҳажмий сарф миқдори:

$$V = \alpha \cdot S_0 \sqrt{2gh}. \quad (2.44)$$

(2.44) тенгламадан кўриниб турибдики, идишдан тешиқ орқали оқиб чиқаётган суюқлик миқдори идишнинг шаклига боғлиқ бўлмасдан тешиқ катталиги ва суюқлик баландлигига боғлиқдир. Сув ва қовушоқлиги сувнинг қовушоқлигига яқин бўлган суюқликлар учун сарф коэффициентини  $\alpha = 0,62$  га тенг.

Энди идиш ўзгарувчан баландликка эга бўлган суюқликнинг пастки юпқа девордаги тешиқдан оқиб, батамом чиқиб кетиш вақтини аниқлаймиз. Вақт бирлигида идишдаги суюқликнинг тешиқ орқали оқиб чиқишида унинг баландлиги ва тезлиги камаяди (2.10-расм, б). Суюқликнинг оқиш процесси турғунмас характерда бўлади. Элементар вақт  $d\tau$  бирлигида суюқликнинг баландлиги  $H_1$  дан  $H_2$  га ўзгарганда идиш ҳажмидаги пастки тешиқдан оқиб ўтган суюқлик ҳажми:

$$dV = V_c d\tau = \alpha S_0 \sqrt{2gH} d\tau,$$

бу ерда  $S_0$  — идиш тубидаги тешиқнинг кўндаланг кесими.

Вақт бирлигида идишдаги суюқлик баландлиги  $dH$  га ўзгаради ва бунда идишдаги суюқлик миқдори қуйидаги миқдорга камаяди:

$$dV = -SdH,$$

бу ерда  $S$  — идишнинг кўндаланг кесими; минус ишора идишдаги суюқлик баландлигининг камайганини кўрсатади.

Ўзлуксизлик тенгламасига асосан, оқиб тушган суюқликлар миқдорларини бир-бирига тенглаштирсак:

$$\alpha S_0 \sqrt{2gH} d\tau = -SdH,$$

бундан

$$d\tau = -\frac{SdH}{\alpha S_0 \sqrt{2gH}}.$$

Суюқликнинг оқиб тушиш вақтини аниқлаш учун бу ифодани интеграллаймиз:

$$\int_0^{\tau} d\tau = - \int_{H_1}^{H_2} \frac{S dH}{\alpha S_0 \sqrt{2gH}};$$

$$\tau = \frac{S}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} \int_{H_1}^{H_2} H^{-1/2} dH = \frac{2S}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}).$$

Демак

$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}}{\alpha \cdot S_0 \sqrt{2g}}. \quad (2.45)$$

Бу тенглик орқали идишдаги суюқлик баландлиги маълум миқдорга камайганда, яъни  $H_1$  дан  $H_2$  га ўзгарганда суюқликнинг оқиб тушиш вақти аниқланади. Идишдаги суюқликнинг бутунлай оқиб чиқиш вақти (бунда  $H_2 = 0$ ):

$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} \quad (2.46)$$

### 2.13-§. Трубалардаги гидравлик қаршиликлар

Реал суюқликлар трубадан ёки каналлардан оқётганда босимнинг бир қисми ички ишқаланиш кучини енгиш учун ҳаракат йўналишини ўзгартирганда ва оқим тезлиги ўзгарганда йўқолади. Демак, босимнинг йўқолиши ички ишқаланиш қаршилигини ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун сарф бўлади.

Гидравлик қаршиликларни ҳисоблаш катта амалий аҳамиятга эга. Йўқотилган босимни билмасдан насос ва компрессорлар ёрдамида суюқлик ва газларни узатиш учун керак бўлган энергия сарфини ҳисоблаш мумкин эмас.

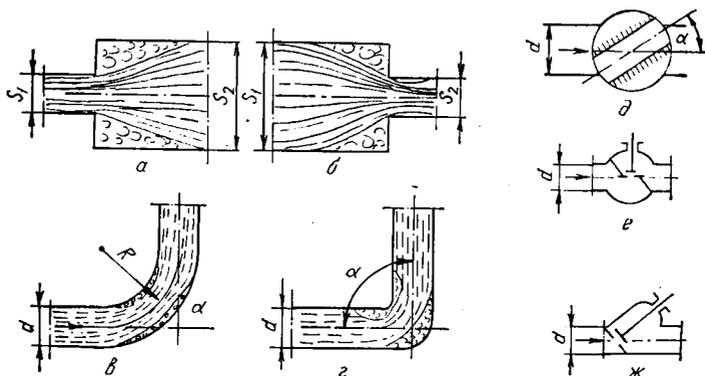
Трубадан суюқлик оқётганда ички ишқаланиш кучи трубанинг бутун узунлиги бўйича мавжуд бўлади. Унинг катталиги суюқликнинг оқиш режимига (ламинар, турбулент) боғлиқ.

Суюқлик оқимининг ҳаракат йўналиши ва тезлиги ўзгарганда у маҳаллий қаршиликларга дуч келади. Трубадаги вентиллар, тирсак, жўмрак, торайган ҳамда кенгайган қисмлар ва ҳар хил тўсиқлар маҳаллий қаршиликлар дейилади (2.11-расм). Труба ва каналларда ички ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликлар учун йўқотилган босим Дарси-Вейсбах тенгламаси орқали аниқланади:

$$h_u = \lambda \frac{l}{d_s} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (2.47)$$

бу ерда  $\lambda$  — ички ишқаланиш коэффициенти;  $l$  — труба узунлиги;  $m$ ,  $\omega$  — оқим тезлиги, м/с;  $d_s$  — трубанинг эквивалент диаметри, м.

Ишқаланиш коэффициенти ўлчамсиз катталик бўлиб, унинг миқдори ҳаракат режимига, трубанинг ғадир-будурлигига боғлиқ. Тўғри ва силлиқ трубаларда суюқлик оқими ламинар ҳаракатда бўлса, ишқаланиш коэффициенти трубанинг ғадир-будурлигига боғлиқ бўлмайди ва қуйидаги тенглик орқали аниқланади:



2.11- расм. Маҳаллий қаршиликлар:

а) трубанинг бирдан кенгайиши; б) трубанинг бирдан торайиши; в) трубанинг текис бурчак остида ўғри бурилиши; г) тўғри бурчак остида трубанинг бирдан бурилиши; д) тиқинли кран; е) стандарт вентиль; ж) тўғри вентиль (эгилган шпидель билан).

$$\lambda = \frac{A}{Re}, \quad (2.48)$$

бу ерда  $A$  — труба шаклини ҳисобга олувчи коэффицент; думалоқ трубалар учун  $A = 64$ , квадрат шаклдаги каналлар учун  $A = 57$ .

Турбулент оқимда ишқаланиш коэффицентларининг катталиги режимга ҳамда трубанинг ғадир-будурлигига боғлиқ. Трубаларнинг ғадир-будурлиги абсолют геометрик ва нисбий ғадир-будурлик билан характерланади. Труба деворларидаги ғадир-будурликлар ўртача баландликларининг труба узунлиги бўйича ўлчаниши *абсолют геометрик ғадир-будурлик* дейилади.

Труба деворларидаги ғадир-будурликлар баландлигининг ( $\Delta$ ) трубанинг эквивалент диаметрига ( $d_э$ ) нисбати *нисбий ғадир-будурлик* дейилади ва  $\epsilon$  билан ифодаланади:

$$\epsilon = \frac{\Delta}{d_э} \quad (2.49)$$

Турбулент режим учун ишқаланиш коэффиценти  $\lambda$  ни топишда бир қатор тенгламалар таклиф этилган. Турбулент режимдаги ҳаракатнинг ҳамма соҳалари учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[ \frac{\epsilon}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right]. \quad (2.50)$$

Маҳаллий қаршиликлардаги босимнинг йўқотилиши қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$h_{\text{мк}} = \sum \xi_{\text{мк}} \frac{\omega^3}{2g}, \quad (2.51)$$

бу ерда  $\xi_{\text{мк}}$  — маҳаллий қаршилик коэффиценти, унинг қиймати тажриба йўли билан аниқланади ва уларнинг катталиклари махсус жадвалларда берилади. Масалан, 2.1-жадвалда айрим маҳаллий қаршиликлар коэффицентлари келтирилган.

2.1-жадвал. Маҳаллий қаршилик коэффицентлари

Маҳаллий қаршилик турлари	Маҳаллий қаршилик коэффицентининг қийматлари $\xi_{\text{мк}}$
Трубага кириш	0,5
Трубадан чиқиш	1,0
Кран тўла очиқ бўлганда	0,2
Тирсак учун	1,1
Нормал вентиль	4,5—5,5
Трубанинг бурилиши 90° бурчак остида бўлса	0,14

Ички ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун умумий сарф бўлган босим қуйидагига тенг:

$$h_y = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{\text{мк}} \right) \frac{\omega^3}{2g}. \quad (2.52)$$

#### 2.14-§. Суюқликларнинг донасимон қатламдан ўтиши

Кўпчилик химиявий-технологик процессларда суюқлик ва газлар сочилувчан донасимон материаллар қатлаמידан ўтказилади. Ишлатиладиган донасимон материаллар хилма-хил бўлиб, уларнинг шакли ва ўлчамлари ҳам ҳар хил бўлади. Агар донасимон материаллар диаметри бир хил бўлса, бир ўлчамли қатлам ва ҳар хил бўлса кўп ўлчамли қатлам дейилади. Бу процессларда суюқлик ва газлар донасимон материалларнинг орасидан ва каналлардан ўтади. Донасимон материалларнинг қатлами гидравлик қаршилик, солиштира юза, заррачалар орасидаги бўшлиқ ҳажми, материалларнинг ўлчами ва шу каби катталиклари билан характерланади.

Донасимон материаллар орасидаги бўшлиқ ҳажмининг қатлам ҳажмига нисбати *бўш ҳажм* дейилади ва  $\varepsilon$  билан белгиланади:

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V}, \quad (2.53)$$

бу ерда  $V$  — донасимон қатлам ҳажми;  $V_0$  — қатламдаги заррачалар эгаллаган ҳажм;  $V - V_0$  — қатламнинг бўш ҳажми.

Бўш ҳажмининг катталиги донасимон материалларнинг хилига ва уларнинг катта-кичиклигига боғлиқ бўлиб, у тажриба орқали топилади. Донасимон қатламдаги гидравлик қаршиликни аниқлашда трубабалардан суюқлик ўтганда босимнинг йўқолишини топишда қўлланиладиган (2.47) тенгласидан фойдаланиш мумкин:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho \omega^3}{2}. \quad (2.54)$$

Бу ерда  $\lambda$ —фақат ишқаланиш қаршилигини ҳисобга олмай, балки суюқлик ҳаракати давомидаги маҳаллий қаршиликларни, яъни суюқликнинг заррачалар оралиғидаги эгри-бугри каналлардан ва заррачалар орасидан ўтаётгандаги қаршиликларнинг ҳаммасини ҳисобга олади ва *умумий қаршилиқ коэффициенти* дейилади.

Тенгламадаги эквивалент диаметр донатор қатлам заррачаларининг диаметри орқали аниқланади:

$$d_s = \frac{2\Phi \cdot \varepsilon \cdot d}{3(1 - \varepsilon)}, \quad (2.55)$$

бу ерда  $\Phi$  — заррачаларнинг шаклини белгиловчи катталиқ;  $d$  — заррачанинڭ ўлчами.

$$\Phi = \frac{F_{\text{ш}}}{F}, \quad (2.56)$$

$F$  — текширилаётган заррачанинڭ юзаси;  $F_{\text{ш}}$  — текширилаётган заррачанинڭ ҳажмига тенг бўлган шарнинг юзаси.

Масалан: шарсимон заррачалар учун  $\Phi = 1$ ; куб учун  $\Phi = 0,806$ ; баландлиги радиусидан 10 марта катта бўлган цилиндр учун  $\Phi = 0,69$ .

$\Phi$  нинг қиймати одатда махсус адабиётларда берилади. Агар қатламнинг бўш ҳажми ва солиштира юзаси маълум бўлса,  $d_s$  ни қўйидаги нисбатдан топиш мумкин:

$$d_s = \frac{4\varepsilon}{a}, \quad (2.57)$$

бу ерда  $a$  — солиштира юза,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Солиштира юза қатламнинг ҳажм бирлигида жойлашган ҳамма заррачаларнинг юзасини ифодалайди.

Агар қатлам кўп ўлчамли заррачалардан иборат бўлса, у ҳолда заррачаларнинг диаметри қўйидагича топилади:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}, \quad (2.58)$$

бу ерда  $x_i$  — диаметри  $d_i$  бўлган заррачаларнинг массавий улуши.

Қатлам каналларидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлигини аниқлаш қийин. Шу сабабли дастлаб суюқликнинг мавҳум тезлиги топилади. Сўнгра қўйидаги нисбатдан фойдаланиб суюқликнинг ҳақиқий тезлиги аниқланилади:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon}, \quad (2.59)$$

бу ерда  $\omega_0 = V/F$  мавҳум тезлик суюқлик ҳажмий сарфини қатламнинг кўндаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг.

Қаршилиқ коэффициенти  $\lambda$  ни аниқлаш учун бир қатор тенгламалар таклиф этилган. Суюқликларнинг донасимон қатламлардан

Ўтишидаги ҳамма режимлар учун умумий гидравлик қаршилик коэффициентини қуйидаги умумий тенглама орқали топиш мумкин:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,54. \quad (2.60)$$

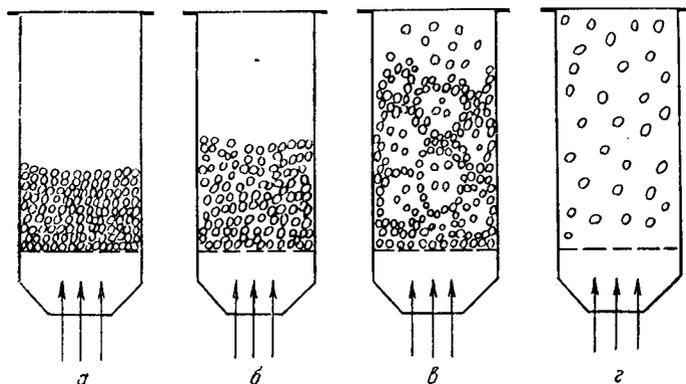
Тенгламадаги Рейнольдс критерийси қуйидагича топилади:

$$Re = \frac{4 \omega_0 \rho}{a \mu}, \quad (2.61)$$

бу ерда  $\rho$  ва  $\mu$  — суюқликнинг зичлиги ва динамик қовушоқлиги,  $a$  — солиштирма юза.

## 2.15-§. Мавҳум қайнаш қатламининг гидродинамикаси

Ҳозирги вақтда химия саноатининг барча технологик процессларида мавҳум қайнаш усули кенг қўлланилмоқда. Иссиқлик алмашилиш, қуритиш, адсорбциялаш, абсорбциялаш каби процессларда мавҳум қайнаш усулининг ишлатилиши катта натижалар бермоқда. Мавҳум қайнаш процессида фазалар ўртасидаги контакт юза катта бўлиши туфайли процесс бир неча марта тезлашади, натижада аппаратнинг унумдорлиги ошади. Мавҳум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги нисбатан катта эмас. Донасимон заррачалар қатламини ҳосил қилиш учун ихтиёрий шаклдаги (масалан, цилиндрсимон) вертикал идишга донасимон қаттиқ материал солинади. Материал газ тарқатувчи тўр устига жойлаштирилади. Агар тўр орқали пастдан юқорига қаратиб кичик тезлик билан газ ёки суюқлик оқими юборилса, материал қатлами ўзгармай қолади (2.12- расм, *а*). Газ оқими тезлигини аста-секин кўпайтириб борилса, тезлик маълум қийматга эга бўлганда қатламдаги материалнинг оғирлиги оқимнинг гидродинамик босим кучига тенг бўлиб қолади, бунда қаттиқ заррачалар гидродинамик мувозанат ҳолатини эгаллайди ва ҳар хил йўналишда силжий



2.12- расм. Мавҳум қайнаш қатламининг ҳолатлари

бошлайди. Газ тезлигини яна оширсак қатлам кенгайди, заррачалар ҳаракатининг интенсивлиги ортади, бунда гидродинамик мувозанат бузилмайди. Бундай шароитда қатлам мавҳум қайнаш ҳолатини эгаллайди, яъни қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринади (2.12-расм, б).

Қатламнинг ўзгармас ҳолатдан мавҳум қайнаш ҳолатга ўтишига тўғри келадиган газ ёки суюқликнинг тезлиги *мавҳум қайнашнинг бошланиш тезлиги* ёки *биринчи критик тезлик* деб юритилади.

Агар газнинг тезлигини ошираверсак, тезлик маълум қийматга етганда гидродинамик босим кучлари материалнинг оғирлик кучларидан ортиб кетади, натижада қаттиқ материал доначалари газ оқими билан бирга чиқиб кетади (2.12-расм, г). Қаттиқ материал доначаларининг газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келадиган тезлик *чиқиб кетиш тезлиги* ёки *иккинчи критик тезлик* деб аталади. Шундай қилиб, мавҳум қайнаш ҳолати биринчи ва иккинчи критик тезликлар ўртасида юз беради.

Мавҳум қайнаш икки хил (бир жинсли ва турли жинсли) кўринишда юз беради. Бир жинсли мавҳум қайнашда биринчи ва иккинчи критик тезликлар ўртасида қаттиқ материал заррачалари бутун қатлам баландлиги бўйича бир хил тарқалган бўлади. Амалий жиҳатдан бундай мавҳум қайнаш процесси томчили суюқлик (масалан, сув) ёрдамида амалга оширилиши мумкин.

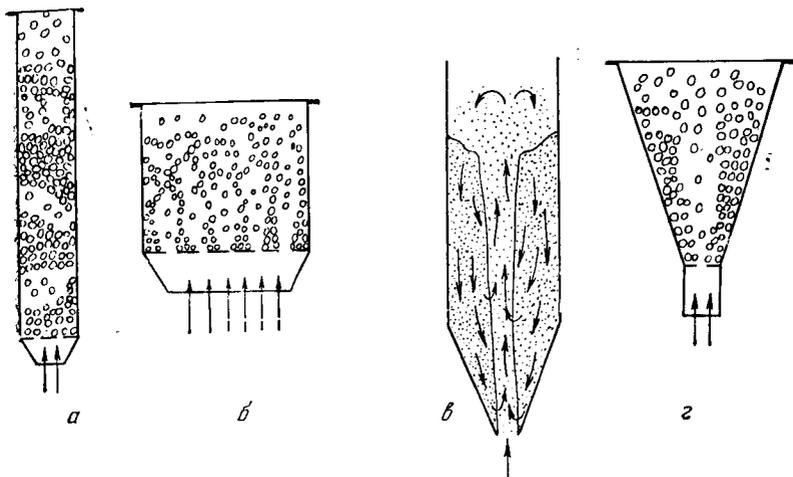
Турли жинсли мавҳум қайнаш асосан қаттиқ модда заррачалари газ оқими ёрдамида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда юз беради. Бунда биринчи ва иккинчи критик тезликлар оралиғида қаттиқ модда заррачалари қатлам бўйлаб ҳар хил тарқалган бўлади.

Турли жинсли қатламнинг ҳосил бўлиш даражаси заррачаларнинг юзаси ва шаклига, қаттиқ материал заррачалари ва ҳаракатдаги оқим зичликларининг нисбатига, заррачаларнинг диаметрига, оқимнинг тезлигига, газ тарқатувчи тўрнинг хилига боғлиқ.

Саноатда кўпинча қаттиқ модда — газ системасидаги мавҳум қайнаш қатлами процесслари кўпроқ ишлатилади. Бундай системалар кўпинча турли жинсли бўлади. Айрим шароитларда газ кўпикларига эга бўлган мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлади (2.13-расм, а).

Агар қаттиқ заррачаларнинг ўлчами катталашиб, аппаратнинг диаметри кичиклашса ва газнинг тезлиги кўпайса ўзаро поршенли қатлам пайдо бўлади (2.13-расм, а). Поршенли қатламда қаттиқ фазанинг вертикал йўналишидаги аралаштирилиши қийинлашади.

Нам қаттиқ материаллар ёки жуда кичик ўлчамли (масалан, ўлчами микрон атрофида) материаллар мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда канал ҳосил қилувчи қатлам пайдо бўлади (2.13-расм, б). Бунда газ каналлар орқали ўтиб кетади, қаттиқ материалларнинг асосий массаси ўзгармай қолаверади. Конуссимон ва конус-цилиндрсимон аппаратларда канал ҳосил қилувчи қатлам фонтанли қатламга айланади (2.13-расм, в, г). Бундай шароитда газ ёки суюқлик оқими асосан аппаратнинг ўқи бўйлаб қаттиқ заррачалар билан биргаликда ҳаракат қилади ва фонтан каби уларни юқорига тарқатади (оғади).



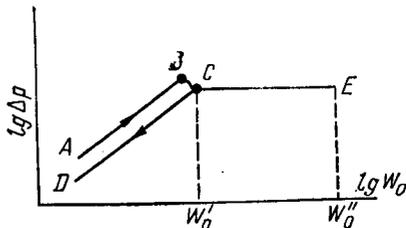
2.13- расм. Мавҳум қайнаш қатламнинг турлари:

а) поршенли қайнаш қатлами; б) каналли қайнаш қатлами; в, г) фонтансимон қайнаш қатлами.

Сўнгра қаттиқ заррачалар аппарат девори ёнидан пастга қараб ҳаракат қилади.

Қаттиқ материалларни мавҳум қайнаш ҳолатига келтиришда оғирлик кучидан ташқари магнит ва марказдан қочма кучлар майдонидан ҳам фойдаланса бўлади.

Қаттиқ заррачаларнинг мавҳум қайнаш ҳолати 2.14- расмда яққол кўрсатилган. Бу расмда донасимон қатламнинг гидравлик қаршилиги ва муҳитнинг тезлиги ораллиғидаги боғлиқлик кўрсатилган.  $AB$  чизиқ ўзгармас қатлам орқали ўтаётган газ ҳаракатини тасвирлайди.  $C$  нуқта ўзгармас қатламнинг мавҳум қайнаш ҳолатига ўтишини кўрсатади, шу нуқтага тўғри келган тезлик  $w$  биринчи критик тезликни характерлайди. Мавҳум қайнаш процессининг бошланиши билан оқимнинг гидродинамик босим кучлари қатламдаги қаттиқ заррачалар оғирлигини мувозанатга солиб туради. Газ оқими тезлигининг ортиши билан қаттиқ заррачалар оғирлиги ўзгармайди, заррачаларни мавҳум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур бўлган энергия сарфи ҳам бир хил бўлади. Бу ҳолат графикда  $CE$  горизонтал чизиқ билан белгиланган.  $E$  нуқтага тўғри келган тезлик  $w_0''$  иккинчи критик тезликни характерлайди. Тезлик  $w_0' > w_0''$  бўлган пайтда заррачалар оқим (газ ёки суюқлик оқими) билан биргаликда аппаратдан чиқиб кетади. Бундай ша-



2.14- расм. Донатор материаллар гидравлик қаршилигининг тезлик билан ўзаро боғлиқлиги.

роитда қатламдаги қаттиқ заррачалар оғирлигининг камайиши натижасида қаттиқ заррачаларни мавҳум қайнаш ҳолатига келтириш учун керак бўлган энергия сарфи камаяди. Шу сабабли босимлар фарқи  $\Delta p$  нуқта  $C$  дан кейин камаяди.

Ўзгармас қатламдан мавҳум қайнаш ҳолатига ўтиш учун босим чўққиси  $\Delta p_0$  характерлидир. Заррачалар ўртасидаги ўзаро тортишиш кучларини енгитиш учун қўшимча энергия сарфланиши сабабли босим чўққиси ҳосил бўлади. Босим чўққисининг катталиги заррачалар шакли ва юзасига боғлиқ.

Агар газ тезлиги секин-аста камайтирилса, эгри чизиқ  $A$  нуқтада кесишмай пастроқдан ўтиб, чўққи ҳосил қилмайди. Бу ҳодиса *гистерезис* деб аталади. Мавҳум қайнаш ҳосил бўлишининг критик тезлигини топиш учун жуда кўп тенгламалар тақлиф этилган. Шарсимон бир жинсли заррачалар учун биринчи критик тезликни топишда Тодес тенгласидан фойдаланиш энг қулайдир:

$$Re_{кр} = \frac{Ag}{1400 + 5,22\sqrt{Ag}}, \quad (2.62)$$

бу ерда

$$Re_{кр} = \frac{\omega'_0 d \rho}{\mu}$$

$$Ag = \frac{d^3 (\rho_{кз} - \rho_m) \rho g}{\mu^2},$$

$d$  — қаттиқ заррачалар диаметри, м;  $\rho_m$  — муҳитнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{кз}$  — қаттиқ заррачалар зичлиги, кг/м<sup>3</sup>,  $\mu$  — муҳитнинг динамик қовушоқлиги, Н·с/м<sup>2</sup>;  $g$  — эркин тушиш тезланиши м<sup>2</sup>/с.

Ўзгармас қатлам ва мавҳум қайнаш қатлами баландликлари қуйидаги боғланишга эга:

$$H(1 - \epsilon) = H_0(1 - \epsilon_0), \quad (2.63)$$

$H$  — мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги, м;  $\epsilon$  — мавҳум қайнаш қатламдаги заррачалар орасидаги бўшлиқ (ҳажм);  $H_0$  — ўзгармас қатлам баландлиги, м;  $\epsilon_0$  — ўзгармас қатламдаги заррачалар орасидаги бўшлиқ (ҳажм).

Мавҳум қайнаш процесси мавҳум қайнаш сони  $K_w$  билан характерланади:

$$K_w = \frac{\omega_0}{\omega'_0}, \quad (2.64)$$

бу ерда  $\omega_0$  — аппаратнинг тўла кесимига нисбатан олинган оқимнинг иш тезлиги м/с;  $\omega'_0$  — мавҳум қайнаш қатламининг ҳосил бўлиш критик тезлиги, м/с.

Мавҳум қайнаш сони  $K_w$  заррачаларнинг қатламдаги аралашуш интенсивлигини кўрсатади.

Мавҳум қайнаш қатламида энг интенсив аралашуш  $K_w = 2$  да бўлади. Лекин ҳар бир технологик процесс учун  $K_w$  нинг оптимал қиймати тажриба йўли билан аниқланади. Заррачаларнинг қатламда ўрнатилаётган вақти:

$$\tau_0 = \frac{G_m}{Q_c}, \quad (2.65)$$

бу ерда  $G_m$  — қатламда бўлган қаттиқ материалнинг массаси кг;  $Q_c$  — қаттиқ материал сарфи, кг/с.

Қаттиқ заррачаларнинг газ ёки суюқлик оқими билан чиқиб кетиш тезлиги Тодес тенгламаси орқали топилади:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,62 \sqrt{Ar}}, \quad (2.66)$$

бу ерда

$$Re = \frac{\omega_0' d \rho}{\mu}$$

Мавҳум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги қуйидагича аниқланади:

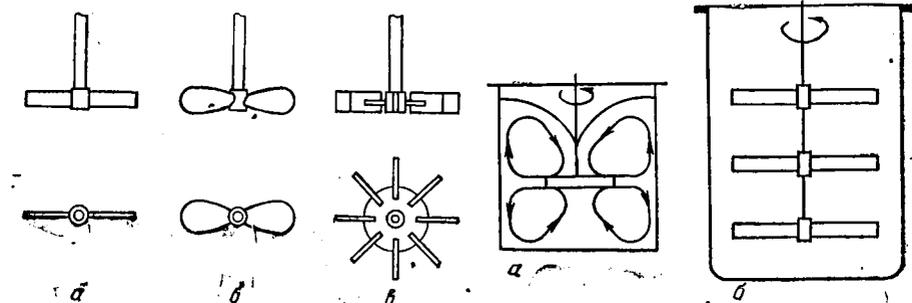
$$\Delta P = H(\rho_{кз} - \rho_m)(1 - \epsilon). \quad (2.67)$$

### Суюқлик муҳитларида аралаштириш

Химиявий реакцияларни амалга ошириш, гомоген системалар ҳосил қилиш, иссиқлик ва модда алмашилиш процессларини тезлатиш учун суюқлик муҳитларни аралаштириш кенг қўлланилади. Суюқ фазалардаги аралаштириш икки (механик ва пневматик) усул билан олиб борилади.

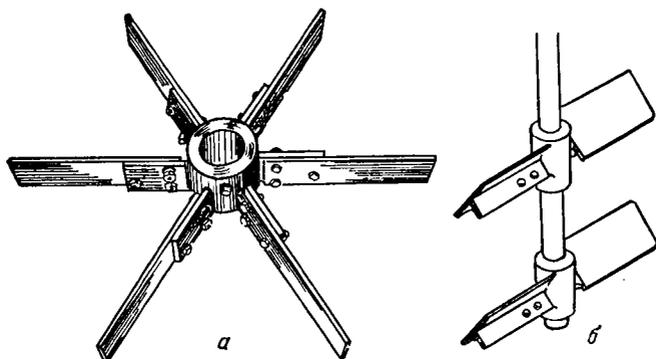
Сааноат ишлаб чиқаришларида ишлатилаётган аралаштиргичлар уч асосий турга бўлинади: парракли, пропеллерли ва турбинали.

2.15-расмда аралаштиргичларнинг турлари кўрсатилган. Парракли аралаштиргичлар бир ва бир нечта парракдан иборат бўлади (2.16-расм). 2.17-расмда парракли аралаштиргичларнинг ташқи кўриниши кўрсатилган. Бир парракли аралаштиргичлар қовушоқлиги ( $1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) кичик бўлган суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Қовушоқлиги катта бўлган суюқликларни аралаштириш учун кўп парракли аралаштиргичлардан фойдаланилади.



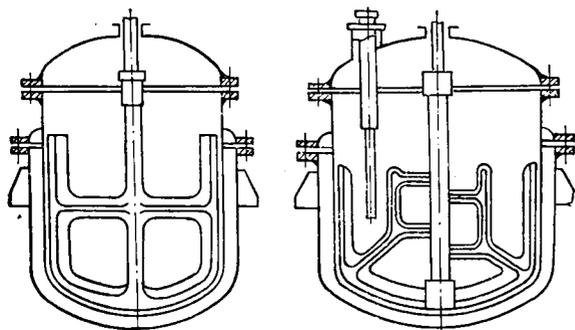
2.15- расм. Аралаштиргич турлари:  
а) парракли; б) пропеллерли; в) турбинали.

2.16- расм. Бир (а) ва кўп парракли (б) аралаштиргичлар.



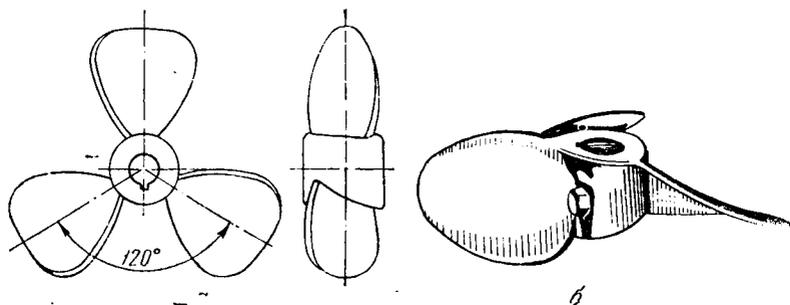
2.17- расм. Парракли аралаштиргичларнинг ташқи кўриниши:  
а) олти парракли; б) икки қаторли қия аралаштиргич.

Парракли аралаштиргичларнинг диаметри аппарат диаметрининг 0,66—0,9 қисмини ташкил қилади. Айланишлар сони эса минутига 15...45 гача. Чўкма ажратувчи системаларни аралаштириш учун якорли аралаштиргичлар ишлатилади (2.18- расм).



2.18- расм. Якорли аралаштиргич.

Пропеллерли аралаштиргичларнинг асосий иш органи ўққа ўрнатилган пропеллер (ёки винт) дан иборат (2.19- расм). Ўқ горизон-

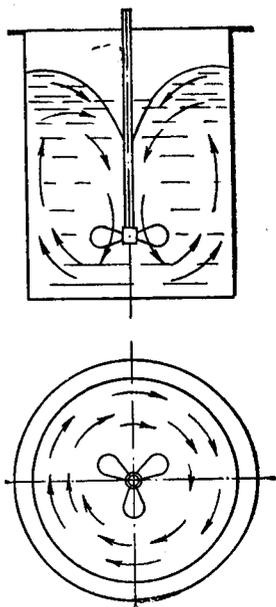


2.19- расм. Пропеллерли аралаштиргич (а) ва унинг ташқи кўриниши (б)

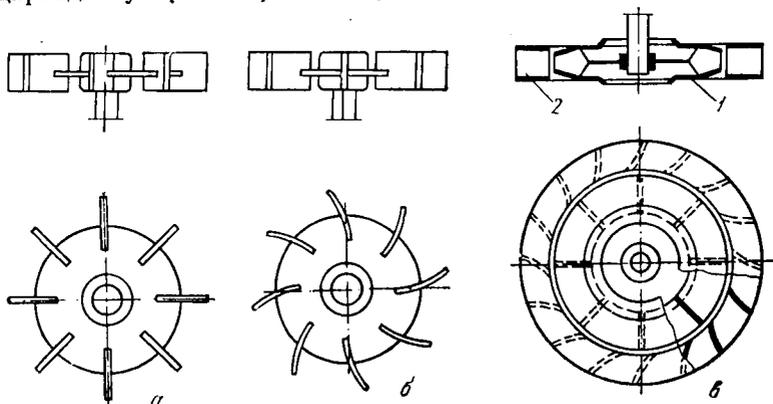
тал, вертикал ёки қия ўрнатилган бўлиши мумкин. Винтлар икки ёки уч қанотли бўлади. Қанотлар суюқликда худди винт каби ҳаракат қилади (2.20-расм). Битта вал ўқиға биттадан учтагача пропеллер аралаштиргичлар ўрнатилади. Пропеллерни ўраб олган суюқлик эса худди гайка каби аралаштиргичнинг ўқи йўналишида ҳаракат қилади. Пропеллерли аралаштиргичлар муҳитларни яхши аралаштирганда катта тезликда айланади. Пропеллернинг диаметри аппарат диаметрининг 0,25...0,3 қисмини ташкил қилади. Айланишлар сони эса минутига 150...1000. Пропеллерли аралаштиргичларни ҳаракатчан ва қовушоқлиги биров катта бўлган ( $6 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) суюқликларни аралаштириш учун ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Парракли аралаштиргичларга қараганда пропеллерли аралаштиргичларнинг самарадорлиги анча юқори, бироқ уларнинг ишлаши учун кўпроқ энергия сарфланади.

Турбинали аралаштиргичларнинг асосий иш органи турбина ғилдираги бўлиб, у вертикал ўққа жойлаштирилган бўлади (2.21-расм).

Ғилдирак минутига 200...2000 тагача айланма ҳаракат қилади. Турбина ғилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучларнинг таъсирига асосланган. Суюқлик аралаштиргичнинг марказий тешикчаларидан кириб, у ерда марказдан қочма кучлар таъсирида тезланиш олган ҳолда ғилдиракдан радиал йўналишда чиқиб кетади. Ғилдиракда суюқлик вертикал йўналишдан горизонтал йўналишга

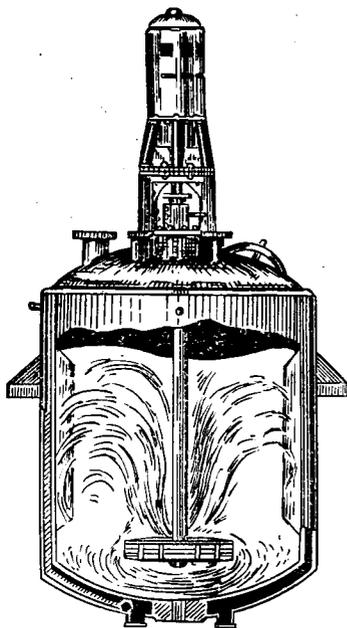


2.20-расм. Пропеллерли аралаштиргичнинг иш схемаси.



2.21.- расм. Турбинали аралаштиргич турлари:

а) очик тўғри куракчали; б) очик қия куракчали; в) ёпиқ турбинали.

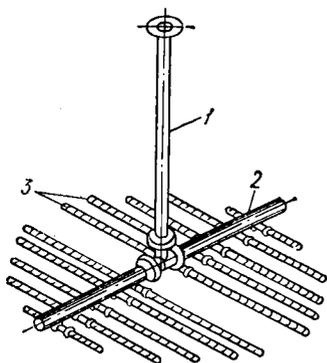


2.22- расм. Турбинали аралаштиргичлар билан аралаштириш.

Ўтиб, ундан катта тезлик билан чиқади. Бу аралаштиргичларнинг самардорлиги жуда юқори. Турбинали аралаштиргичларнинг диаметри аппарат диаметрининг  $0,17...0,33$  қисмини ташкил қилади. Турбинали аралаштиргичлар қовушоқлиги кам ва катта бўлган ( $1...700 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади (2.22- расм).

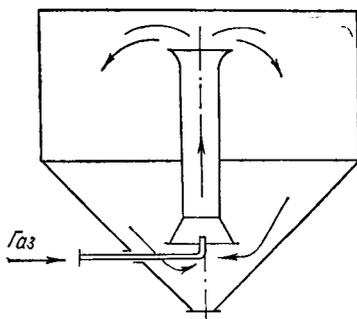
Қовушоқлиги унча юқори бўлмаган ( $200 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) суюқликларни аралаштириш учун айрим ҳолларда пневматик аралаштиргичлар ишлатилади. Аралаштириш учун кўпинча сиқилган ҳаво ишлатилади. Бундай аралаштириш процесси секин боради ва бунда кўп энергия сарф бўлади. Бундан ташқари, ҳаво ёрдамида аралаштиришда кераксиз процесслар: оксидланиш ёки маҳсулотларнинг буғланиши юз бериши мумкин. Одатда, пневматик усул қўлланилганда тешикчалари бўлган тарқатувчи трубалар (барботёр) орқали сиқилган ҳаво юборилади (2.23- расм).

Сочилувчан моддаларни сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштириш учун эрлифт принципидан фойдаланилади (2.24- расм). Ҳаво компрессор ёрдамида марказий трубага берилади. Марказий трубада ҳаво, суюқлик ва доналарнинг аралашмаси ҳосил бўлади. Марказий трубадаги аралашманинг зичлиги аппаратнинг бошқа қисмида жойлашган



2.23- расм. Пневматик аралаштириш:

1 — вертикал ҳаво узатувчи труба;  
2 — горизонтал ҳаво узатувчи труба;  
3 — ҳавони тарқатувчи трубалар.



2.24- расм. Эрлифт ёрдамида аралаштириш.

аралашма зичлигидан кам бўлади. Зичликлар ўртасидаги фарқ натижасида бутун массанинг циркуляцион ҳаракати пайдо бўлади. Енгил учувчан суюқликларни пневматик усул билан аралаштириш мумкин эмас, чунки бунда аралаштирилаётган суюқлик ҳаво билан бирга чиқиб кетиши мумкин.

Ҳар қандай аралаштириш процесси икки хил катталиқ (энергия сарфи ва аралаштириш самарадорлиги) билан характерланади. Ҳар хил процессларда аралаштириш самарадорлиги турлича белгиланади. Масалан, агар қаттиқ модданинг суюқликдаги суспензияси текшири-лаётган бўлса, аралаштириш самарадорлиги қаттиқ модда заррача-ларининг суюқликда бир хил тарқалиш вақти билан белгиланади. Агар аралаштириш иссиқлик алмашилини тезлатиш учун ишлатилса, у ҳолда процесс самарадорлиги муҳитдаги иссиқлик бериш коэффи-циентларининг қанчага кўпайиши билан белгиланади.

Аралаштирувчи қурилмага сарф бўладиган қувват қуйидаги тенг-лама билан аниқланади:

$$N = R_H \cdot R_{ик} \cdot K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d, \quad (2.60)$$

бу ерда

$$R_H = \left( \frac{H_c}{\varnothing} \right)^{0,5};$$

$\varnothing$  — аппарат диаметри;  $R_H$  — суюқлик баландлигининг аппарат диаметрига нис-батини ҳисобга олувчи коэффициент;  $H_c$  — аппаратдаги суюқлик баландлиги;  $R_{ик}$  — ички қурилмалар борлигини ҳисобга олувчи коэффициент;  $\rho$  — суюқлик ёки аралашма-нинг зичлиги;  $n$  — аралаштирувчи қурилманинг айланишлар сони;  $d$  — аралаштирувчи қурилма диаметри;  $K_N$  — қувват критерийси.

Қувват критерийси  $K_N$  графиклар ёрдамида аралаштиргичларнинг геометрик ўлчамларига ва ҳаракат режимига қараб аниқланади.

Ҳозиргача аралаштириш самарадорлигини аниқлашга ёрдам беради-ган маълумотлар етарли даражада эмас, чунки суюқлик муҳитларида аралаштириш жуда кўп параметрларга боғлиқ бўлган процесс ҳисоб-ланади.

### 3-БОБ. ТУРЛИ ЖИНСЛИ СИСТЕМАЛАРНИ АЖРАТИШ

#### 3.1-§. Турли жинсли системаларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг классификацияси

Ҳар хил фазалардан (масалан, суюқлик — қаттиқ модда, суюқ-лик — газ ва ҳоказо) ташкил топган аралашмалар турли жинсли сис-тема деб аталади. Кўпчилик турли жинсли системалар ишлаб чиқа-риш шароитида технологик процессларни амалга ошириш пайтида ҳосил бўлади. Ҳар қандай турли жинсли система икки ёки ундан кўп фазалардан ташкил топган бўлади. Заррачалари жуда майдаланган ҳолатдаги фаза *дисперс* ёки *ички фаза* дейилади. Дисперс фаза зарра-чаларини ўраб олган фазаси эса *дисперсион* ёки *ташқи фаза* дейилади.

Фазаларнинг физик ҳолатига кўра турли жинсли системалар қуйидаги группаларга бўлинади. Суспензиялар, эмульсиялар, кўпиклар, чанглар, тутунлар, туманлар.

Суyoқлик ва қаттиқ модда заррачаларидан ташкил топган аралашмалар *суспензия* дейилади. Қаттиқ модда заррачаларининг ўлчамига кўра суспензиялар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: дағал суспензиялар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан ортиқ); майин суспензиялар (заррачалар ўлчами 0,5...100 мкм); лойқасимон суспензиялар (заррачалар ўлчами 0,5 ... 0,1 мкм атрофида); коллоид эритмалар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан кичик). Саноатда суспензиялар жуда кўп учрайди. Қаттиқ сочилувчан моддаларни суyoқлик билан аралаштириш пайтида суспензиялар ҳосил бўлади. Озиқ-овқат саноатидан ҳам суспензияларга жуда кўп мисоллар келтириш мумкин (крахмалли сут, пиво суслоси ва бошқалар).

Эмульсиялар икки хил ўзаро аралаштирилган суyoқликлардан иборат бўлиб, бунда биринчи суyoқликнинг ичида иккинчи суyoқликнинг томчилари тарқатилган бўлади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг интервалда ўзгариши мумкин. Одатда эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралиб кетиши мумкин. Агар томчининг ўлчами анча кичик (0,4 ... 0,5 мкм дан кам) бўлса ёки стабилизаторлар қўшилган ҳолда эмульсиялар турғун бўлади. Дисперс фазанинг концентрацияси ортиши билан фазаларнинг инверсияси (яъни ўзаро алмашиниши) содир бўлиши мумкин. Эмульсияга сут энг характерли мисол бўла олади. Сут таркиби сув ва 3—4 хил ёғ заррачаларидан (ўлчами ... 10 мкм) иборат.

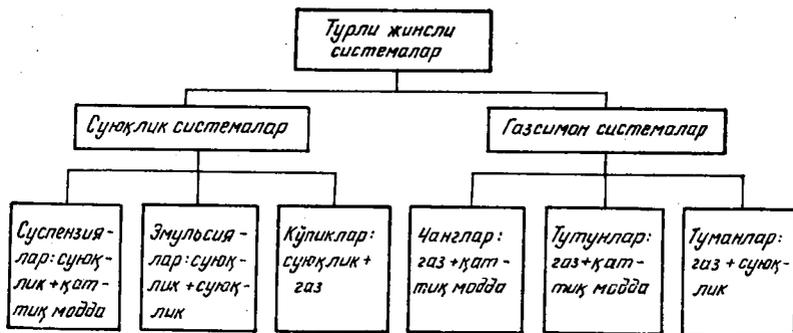
Ўз таркибида газ пуфакчалари тутган суyoқ системалар *кўпиклар* деб аталади. Суyoқлик — газ системаси ўзининг хоссасига кўра эмульсияларга яқин туради. Бир қатор гидромеханик ва модда алмашиниш аппаратларида (барботажли скруббер, ғалвирсимон тарелкали абсорбер ва ҳоказо) суyoқлик қатлампидан газнинг ўтиш процессида кўпикли қатламлар ҳосил бўлади.

Чанглар деб ўз таркибида қаттиқ модданинг майда заррачаларини тутган газ системаларга айтилади. Чанг одатда қаттиқ моддаларни механик усуллар билан майдалаш ва бир жойдан иккинчи жойга узатиш пайтида ҳосил бўлади. Чанг таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами 3 ... 70 мкм оралиғида бўлади.

Тутунлар таркибида ўлчами 0,3 ... 5 мкм га тенг бўлган қаттиқ модда заррачалари бўлади. Тутунлар буғ (ёки газ) ларнинг суyoқ ёки қаттиқ ҳолатга конденсацияланиш процесси орқали ўтишда ҳосил бўлади. Бундан ташқари, тутунлар қаттиқ ёқилғиларнинг ёниши пайтида ҳам пайдо бўлади.

Туманлар суyoқ ва газ фазалардан ташкил топган бўлади. Масалан, сув буғларини ҳаво ёрдамида совитиш процессида буғнинг конденсацияланиши натижасида туман ҳосил бўлади. Туман таркибидаги суyoқ заррачаларининг ўлчами 0,3 ... 0,5 мкм га тенг.

Чанг, тутун ва туманлар аэродисперс системалар (ёки аэрозоллар) деб юритилади. 3.1-расмда турли жинсли системаларнинг классификацияси берилган.



3.1- расм. Турли жинсли системаларнинг классификацияси.

### 3.2- §. Турли жинсли системаларни ажратиш усуллари

Техникада турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазалар ёки компонентларга ажратишга тўғри келади. Ажратиш усулларини танлашда турли жинсли системани ташкил этувчи фазаларнинг ҳолатига (суюқ, қаттиқ ва газсимон), қаттиқ ёки суюқ заррачаларнинг ўлчамига, фазалар ўртасидаги зичликлар фарқига, муҳитнинг қовушоқлигига аҳамият бериш керак.

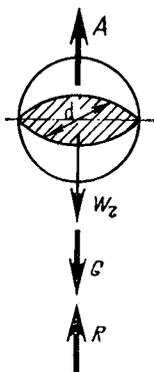
Химиявий технологияда турли жинсли системаларни ажратиш учун қуйидаги гидромеханик усуллардан фойдаланилади: 1) чўктириш, 2) филтрлаш, 3) центрифугалаш, 4) суюқлик ёрдамида ажратиш.

Оғирлик кучи, инерция кучлари (жумладан, марказдан қочма куч) ёки электростатик кучлар ёрдамида суюқлик ва газсимон турли жинсли системалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни ажратиш *чўктириш* деб аталади. Агар чўктириш оғирлик кучи таъсирида олиб борилса, бу процесс *тиндириш* деб юритилади. Тиндириш асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун ишлатилади.

*Филтрлаш* — суюқ ва газсимон аралашмаларни ғоваксимон тўсиқ филтр ёрдамида ажратишдан иборат. Бу процесда ғоваксимон тўсиқ суюқлик ёки газни ўтказиб юборади, муҳитдаги қаттиқ модда заррачаларини эса ушлаб қолади. Филтрлаш босим ёки марказдан қочма куч таъсирида олиб борилади ва асосан суспензия ҳамда чанларни тўла тозалаш учун ишлатилади.

*Центрифугалаш* — суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма кучлар таъсирида яхлит ёки ғоваксимон тўсиқлар ёрдамида ажратиш процессидир. Центрифугалаш процессида чўкма ва суюқлик фазалари (фугат) ҳосил бўлади.

*Суюқлик ёрдамида ажратиш усули* деб газ таркибида бўлган қаттиқ заррачаларни бирор суюқлик иштирокида ушлаб қолиш процессига айтилади. Бу процесс оғирлик ёки инерция кучлари таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Айрим ҳолларда бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланиш мумкин.



3.2- расм. Жисмларнинг оғирлик кучи таъсирида чўкиши.

Турли жинсли системаларни ажратишнинг юқорида баён этилган усуллари саноатда чўктириш, фильтрлаш аппаратлари, циклонлар, электрофилтрлар, центрифугалар, скрубберлар ва шу каби аппаратларда олиб борилади.

## А. СУЮҚЛИК СИСТЕМАЛАРНИ АЖРАТИШ

### 3.3- §. Чўктириш

Чўктириш усули суспензия, эмульсия ва чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Чўктириш тезлиги кичик бўлгани сабабли бу усул асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун қўлланилади. Чўктириш процесси чангли газлар, суспензия ва эмульсиялар таркибидаги майда қаттиқ заррачаларнинг оғирлик кучи таъсирида аппарат тубига чўкишига асосланган. Чўктириш процеслари тиндирувчи аппаратларда олиб борилади.

Чўктириш тезлигини аниқлаш учун алоҳида олинган шарсимон қаттиқ заррачаларнинг суюқлик муҳитида эркин чўкишини текширамиз. Бунда заррачага оғирлик кучи  $G$ , кўтариш кучи  $A$  ва муҳитнинг қаршилик кучи  $R$  таъсир қилади (3.2-расм). Чўктиргичнинг ҳаракатлантурувчи кучи родини оғирлик ва кўтариш кучлари ўртасидаги фарқ, яъни заррачаларнинг суюқликдаги оғирлиги бажаради:

$$P = G - A = \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}}); \quad (3.1)$$

бу ерда  $d$  — заррача диаметри, м;  $g$  — оғирлик кучи тезланиши, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{кз}}$  — заррача зичлиги кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{м}}$  — муҳит зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Муҳитнинг қаршилиги  $R$  заррача йўналишига қарама-қарши бўлиб, ишқаланиш ва инерция кучларидан таркиб топган. Ламинар оқимда ишқаланиш кучлари инерция кучларига нисбатан катта бўлади. Стокс қонунига кўра, ламинар режимида шарсимон заррачанинг чўкишида муҳитнинг қаршилик кучи  $R$  қуйидаги тенглама билан топилади:

$$R = 3 \pi d \mu \omega_{\text{ч}} \quad (3.2)$$

бу ерда  $\mu$  — муҳитнинг динамик қовушоқлиги, Н·с/м<sup>2</sup>;  $\omega_{\text{ч}}$  — заррачанинг эркин чўкиш тезлиги, м/с.

Чўкаётган заррача дастлаб тезроқ чўкади, бир оз вақт ўтгач муҳитнинг қаршилик кучи ҳаракатлантурувчи кучга тенглашганда ўзгармас тезлик билан бир хилда чўка бошлайди. Шу ўзгармас тезлик *чўкиш тезлиги* дейилади.

Демак, заррача ўзгармас тезликка эга бўлганда  $P = R$  бўлиб қолади.  $P$  ва  $R$  нинг қийматларини тенглаштириб қуйидагиларни оламыз:

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} g (\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}}) = 3 \pi d \mu \omega_{\text{ч}},$$

бу ердан чўкиш тезлиги

$$\omega_{\text{ч}} = \frac{d^2 g (\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}})}{18 \mu_{\text{ч}}} \quad (3.3)$$

Бу (3.3) тенглама Стокс тенгламаси деб юритилади ва  $Re < 2$  бўлганда ишлатилади. Турбулент режимда  $Re > 500$  бўлганда инерция кучлари ишқаланиш кучларидан устун туради. Бунда қаршилиқ кучи  $R$  Ньютон қонунига кўра топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{ч}}}{2} \quad (3.4)$$

бу ерда  $\xi$  — қаршилиқ коэффициенти.

$$\xi = 0,44 \text{ агар } Re > 500.$$

$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$  агар  $2 < Re < 500$  (оралиқ режим).  $F$  — заррачанинг ҳаракат йўналишига перпендикуляр бўлган текисликка туширилган проекцияси.

$$\text{Масалан, шарсимон заррача учун } F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}.$$

Турбулент режим учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}}) = \xi F \frac{\rho_{\text{кз}} \cdot \omega_{\text{ч}}^2}{2}.$$

$g$ ,  $\xi$  ва  $F$  нинг қийматларини тенгламага қўйгандан сўнг чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\omega_{\text{ч}} = 5,45 \sqrt{\frac{d (\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}})}{\rho_{\text{м}}}} \quad (3.5)$$

Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$\omega = \omega_{\text{ч}} \cdot \varphi, \quad (3.6)$$

бу ерда  $\varphi$  — шакл коэффициенти;

0,77 — думалоқ бўлган заррачалар учун;

0,43 — пластинкасимон заррачалар учун;

0,66 — учбурчак шаклидаги заррачалар учун.

Юқоридаги (3.3), (3.5), (3.6) тенгламалар орқали эркин чўкиш тезлиги, яъни алоҳида олинган заррачанинг суюқлик ёки газ муҳитидаги эркин чўкиши аниқланади.

Реал шароитларда чўктириш процесси маълум ҳажмда, қаттиқ заррачаларнинг концентрациялари катта бўлганда олиб борилади. Бунда сиқилган ҳолатдаги чўкиш юз беради. Сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлиги  $\omega$  эркин чўкиш тезлигидан кичик бўлади, яъни  $\omega < \omega_{\text{ч}}$ , чунки сиқилган ҳолатдаги чўкишда умумий қаршилиқ муҳитнинг қаршилиги ва заррачаларнинг ўзаро бир-бирига ишқаланиши ҳамда урилиши натижасида ҳосил бўлган қаршилиқлар йиғиндисига тенг бўлади.

Ҳамма режимлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлашда қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re = \frac{Ag \cdot \epsilon^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ag \cdot \epsilon^{4,75}}} \quad (3.7)$$

Бу ерда  $Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_m}{\mu}$  — Рейнольдс критерийси;

$Ag = \frac{d^3 \rho g (\rho_{кз} - \rho_m)}{\mu^2}$  — Архимед критерийси;

$\epsilon = \frac{V_0 - V}{V_0}$  — Суюқликнинг суспензиядаги ҳажм жиҳатдан олинган улуши:

$V_0$  — суюқликнинг суспензиядаги ҳажми, м<sup>3</sup>;  $V$  — қаттиқ заррачаларнинг суспензиядаги ҳажми, м<sup>3</sup>.

Шарсимон қаттиқ заррачаларнинг сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини қуйидаги тенгламалар орқали ҳам аниқлаш мумкин:

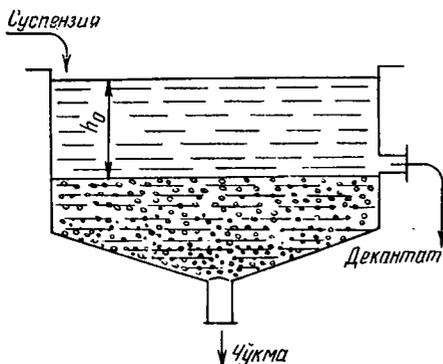
$$\omega = \omega_c \cdot \epsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\epsilon)} \quad \text{агар } \epsilon > 0,7 \text{ бўлса} \quad (3.8)$$

$$\omega = \omega_c \cdot \frac{0,123 \cdot \epsilon^3}{1 - \epsilon} \quad \text{агар } \epsilon \leq 0,7 \text{ бўлса} \quad (3.9)$$

### 3.4-§. Чўктирувчи аппаратлар

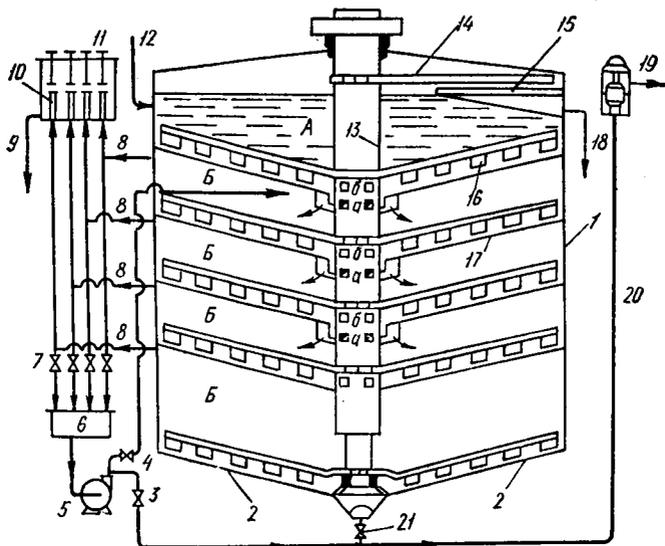
Чўктириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўктириш процессидан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Бу процесс суспензияларни филтрлаш ва центрифугалаш орқали ажратишни тезлаштиради. Чўктириш процесси чўктирувчи ёки қуйилтирувчи аппаратларда олиб борилади. Чўктириш аппаратлари даврий, узлуксиз ва ярим узлуксиз режимда ишлатиладиган аппаратларга бўлинади. Ўз навбатида, узлуксиз ишлайдиган чўктириш аппарати бир, икки ва кўп ярусли бўлади. Чўктириш аппаратларининг айрим турлари билан танишамиз.

3.3- расмда даврий ишлайдиган чўктириш аппарати кўрсатилган. Бу аппарат конус асосли цилиндрсимон идиш бўлиб, унга аралашма



3.3- расм. Даврий ишлайдиган чўктириш аппарати.

масалан, суспензия юқоридан бериледи. Аралашма аппаратда маълум вақт тиндирилгандан сўнг (агар заррачалар зичлиги муҳитнинг зичлигидан катта, яъни  $\rho_{кз} > \rho_m$  бўлса) заррачалар аппаратнинг пастки қисмига чўкади. Аппаратнинг юқориги қисмида эса тозаланган қатлам (маҳсулот) ҳосил бўлади. Тозаланган маҳсулот (декантат) аппаратнинг ён томонида жойлашган штуцер орқали чиқариб олинади, сўнгра эса чўкма туширилади. Шундан сўнг аппарат ювилади ва процесс қайтадан бошланади.



3.4- рasm. Кўп ярусли чўктирувчи аппарат:

1 — резервуар; 2 — конуссимон пастки қисм; 3, 4, 7, 21 — вентиллар; 5 — насос; 6 — яшик; 8, 18, 20 — трубалар; 9 — тоза маҳсулот чиқадиган труба; 10 — клапанлар; 11 — қабул қилиш; 12 — суспензия бериладиган труба; 13 — вал; 14 — куракча; 15 — тарнов; 16 — тароқлар; 17 — конуссимон тўсиқлар; 19 — қуюқлаштирилган масса йиғич.

Агар  $\rho_{кз} < \rho_m$  (масалан, сутларни тиндириш пайтида) бўлса, дисперс фазанинг заррачалари аппаратнинг юқориги қисмида йиғилади. Аппаратнинг пастки қисмида эса тозаланган қатлам ҳосил бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган чўктириш аппаратларида турли жинсли системаларни ажратиш процесси анча тез боради ва чўкmani тушириш учун кам вақт кетганлиги сабабли меҳнат сарфлари ҳам камаяди. Бундай аппаратларга аралашмаларни бериш ва ажратилган маҳсулотларини чиқариб олиш узлуксиз равишда олиб борилади. Кўпчилик ишлаб чиқаришларда катта чўктириш юзалари (сатҳлари) керак бўлганлиги сабабли, биноларнинг майдонларини тежаш мақсадида кўп ярусли чўктириш аппаратлари қўлланилади (3.4-рasm).

Бундай аппарат берк цилиндрсимон бўлиб, конуссимон асосга эга. Конуссимон тўсиқлар аппаратни баландлиги бўйича бир неча ярусларга бўлади. Аппарат ўқи бўйича секин айланувчи вал ўрнатилган, валга тароқлар бириктирилган. Вал 5 ... 6 минутда 1 марта айланади. Тароқлар концентрланган (қуюқлаштирилган) массани марказга яқинлаштириш учун хизмат қилади. Вал «труба ичида труба» кўринишида тайёрланган бўлиб, унинг деразачалари бор. Бу деразачаларнинг бир қисми ярусларнинг юқориги сатҳини ички труба билан боғлайди, қолган деразачалар ярусларнинг пастки қисмини бирлаштиради. Суспензия юқориги А ярусга берилади. Бу ерда қисман чўкиш процесси боради. Бир оз тозаланган суспензия деразачалар орқали валнинг ички марказий каналига тушади, у ердан худди ана шундай деразачалар орқали кетма-кет жойлашган учта ярусга (Б) параллел

ҳолда ўтади. Бу ярусларда қуюқлаштириш процесси яна давом этади. Қуюқлашган суспензия юқоридаги 4 та яруслардан деразачалар орқали валнинг ҳалқасимон каналига тушади ва сўнгра пастки  $B$  ярусга ўтади. Пастки ярусда суспензия керакли концентрациягача қуюқлаштирилади. Қуюқлаштирилган масса мембранали насос ёрдамида керакли жойга юборилади.

Тозаланган маҳсулот (декантат) ҳамма яруслардан (юқориги ярус  $A$  дан ташқари) трубалар орқали идишга йиғилиб, сўнгра тегишли жойга узатилади. Юқориги ярусда суспензия устида ҳосил бўлган кўпикларни йиғиб уларни махсус тарновга тушириш учун валга аралаштиргич ўрнатилган, тарновдан кўпик труба орқали чиқариб юборилади.

Чўктириш аппаратларини ҳисоблаш орқали чўкиш юзаси аниқланади.

Чўктириш натижасида маълум вақт  $\tau$  давомида қуюқлаштирилган суспензия (шлам) қатлами ва баландлиги  $h$  га тенг бўлган тозаланган суюқлик қатлами ҳосил бўлди деб ҳисоблаймиз. Чўктириш юзаси  $F$  ( $m^2$ ) бўлганда олинган тоза суюқлик ҳажми  $h \cdot F$  ( $m^3$ ) га тенг бўлади. Вақт бирлиги ичида тозаланган суюқлик ҳажми эса:

$$V = \frac{hF}{\tau}, m^3/c \quad (3.10)$$

$\omega_4$  тезлик билан чўкаётган қаттиқ заррачалар  $\tau$  вақт давомида  $\omega_4 \tau$  масофани босади. Бу масофа  $h$  га тенг. Шунга кўра

$$\omega_4 \cdot \tau = h$$

$h$  нинг қийматини (3.10) тенгламага қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$V = \frac{\omega_4 \cdot \tau \cdot F}{\tau} = F \cdot \omega_4. \quad (3.11)$$

Демак, тенглама (3.11) га мувофиқ, чўктириш аппаратининг иш унуми чўктириш юзасига тўғри пропорционал бўлиб, аппаратнинг баландлигига боғлиқ эмас экан. (3.11) тенгламадан керак бўлган чўктириш юзасини топамиз:

$$F = \frac{V}{\omega}.$$

Тозаланган суюқликнинг зичлиги  $\rho_c$  бўлса, у ҳолда

$$V = \frac{G_2}{\rho_c}, \text{ бунда } F = \frac{G_2}{\rho_c \omega_4}; \quad (3.12)$$

бу ерда  $G_2$  — тозаланган суюқликнинг миқдори, кг/с;

$$G_2 = G_1 \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right);$$

$G_1$  — аппаратга берилётган суспензиянинг миқдори кг/с,  $x_1$  — суспензиядаги қуруқ моддаларнинг оғирлик жиҳатдан олинган улуши;  $x_2$  — чўкмадаги қуруқ модда ларнинг оғирлик жиҳатдан олинган улуши.

$G_2$  нинг қийматини (3.12) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$F = \frac{G_1}{\rho_c \cdot \omega_q} \left( 1 - \frac{x}{x_2} \right). \quad (3.13)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \beta \text{ десак, у ҳолда } F = \frac{G_1}{\rho_c \cdot \omega_q} (1 - \beta) \quad (3.14)$$

(3.13) тенгламани келтириб чиқаришда чўктириш аппаратдаги суюқлик ҳаракатининг характери эътиборга олинмаган. Бундан ташқари, оқимлар аппаратнинг ҳамма юзаси бўйлаб бир хил тарқалган деб олинган.

Реал аппаратларда суюқлик ҳаракати режимларининг ўзгариши ва бошқа факторларнинг таъсири натижасида чўкиш процесси бир хил тарзда бормайди. Шу сабабли (3.14) тенглама билан топилган назарий юзани 30 ... 35% га кўпайтириш керак. Демак, ҳисобланган юза қийматини 1,3 га тенг бўлган тузатиш коэффициентига кўпайтириш керак бўлади. Шунга кўра, чўктириш юзаси ёки аппаратнинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади:

$$F = \frac{1,3 \cdot G_1}{\rho_c \cdot \omega_q} (1 - \beta). \quad (3.15)$$

(3.15) тенгламадаги  $\omega_q$  катталик заррачаларнинг эркин тушиш тезлиги бўлиб, агар сиқилган ҳолатда чўкиш юз бераётган бўлса  $\omega_q$  ўрнига  $\omega_q$  ишлатилади.

Чўктириш аппаратларининг баландлиги одатда ҳисобланмайди ва 2,5; 3,5 м га тенг қилиб олинади.

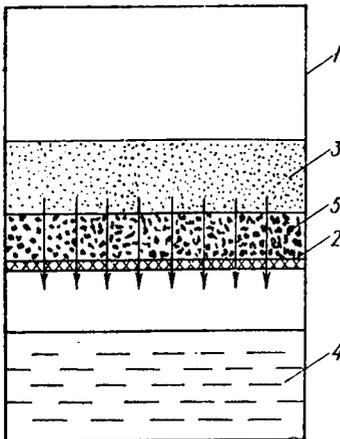
### 3.5-§. Филтрлаш

**Умумий тушунчалар.** Суспензия ва чангли газларни филтр тўсиқлар орқали ўтказиб тозалаш процесси *филтрлаш* дейилади. Филтр тўсиқлар қаттиқ заррачаларни ушлаб қолиб, суюқлик ёки газни ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Филтр тўсиқлар ёки филтр сифатида майда тешикли тўрлар, турли газламалар, сочилувчан материаллар (қум, майдаланган кўмир, бентонитлар), керамик буюмлар ва бошқалар ишлатилади. Филтр сифатида пахта, юнг ва синтетик газламалардан тайёрланган материаллар ҳам ишлатилади.

Филтрлаш пайтида суспензия таркибидаги майда заррачалар филтрловчи материалнинг устки қисмида чўкма ҳолида ёки филтрловчи материалнинг ўзида тешикларини тўлдирган ҳолда ўтириб қолиши мумкин (3.5- расм). Бу хусусиятларига кўра филтрлаш процесси иккига бўлинади: 1. Чўкма ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш. 2. Филтрловчи материалнинг тешикларини тўлдириш орқали филтрлаш.

Саноатнинг кўп тармоқларида чўкма ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш кенг қўлланилади.

Филтрлаш процессида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чўкмалар ҳосил бўлади. Сиқилувчи чўкмалардаги заррачалар босим ортиши билан деформацияга учраб, уларнинг ўлчами кичиклашади. Сиқил-



3.5- расм. Фильтрлаш процессининг схемаси:

1 — фильтр; 2 — фильтр түсіклар;  
3 — суспензия; 4 — фильтрат; 5 — чўкма.

майдиган чўкмаларда босим ортиши билан заррачаларнинг шакли ва ўлчами деярли ўзгармайди.

Саноатда фильтрлашдан сўнг қуйидаги қўшимча процесслар амалга оширилади: 1) чўкмани ювиш; 2) чўкмани оддий ҳаво (ёки инерт газлар) ёрдамида дудлаш; 3) чўкмани иссиқ ҳаво ёрдамида қуритиш.

Фильтрлаш процессининг унумдорлиги ва олинadиган фильтратнинг тозаллиги, асосан, фильтр түсікларнинг хусусиятларига боғлиқ. Фильтр түсікларнинг тешиклари катта ва гидравлик қаршиликлари кичик бўлиши зарур. Фильтр түсіклар структура тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Фильтр түсіклардан олдинги ва кейинги босимлар фарқи ёки фильтрловчи материалга суюқлик босими

ни ҳосил қилувчи марказдан қочма кучлар фильтрлаш процессининг ҳаракатлантирувчи кучи вазифасини бажаради.

Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб фильтрлаш икки гурпуга бўлинади: 1. Босимлар фарқи таъсирида фильтрлаш. 2. Марказдан қочма кучлар таъсирида фильтрлаш (центрифугалаш).

Фильтрлаш процессининг интенсивлиги ва фильтр аппаратининг иш унуми фильтрлаш тезлиги билан характерланади.

**Фильтрлаш тезлиги.** Фильтрлаш тезлиги вақт бирлиги ичидаги фильтратнинг ҳажмини кўрсатади. Фильтрлаш тезлиги ажратилаётган суспензиянинг физик-химиявий хоссаларига, ҳосил бўлаётган чўкманинг характери, фильтратнинг хоссаси, фильтрлаш режими ва бошқа катталикларга боғлиқ. Шунини айтиб ўтиш керакки, фильтрлаш процесси ламинар режимда боради. Фильтрлаш тезлиги қуйидаги дифференциал ифода билан аниқланади:

$$W = \frac{dV_{\phi}}{F_{\phi} \cdot d\tau_{\phi}}, \quad (3.16)$$

бу ерда  $dV_{\phi}$  — фильтратнинг ҳажми, м<sup>3</sup>;  $F_{\phi}$  — фильтрлаш юзаси, м<sup>2</sup>;  $d\tau_{\phi}$  — фильтрлаш вақти, с.

Фильтрлаш тезлиги процессининг ҳаракатлантирувчи кучига тўғри ва қаршиликларга тескари пропорционалдир. Бундан ташқари, фильтрлаш тезлиги ҳар қандай вақтда босимларнинг фарқига тўғри ва суспензиянинг қовушоқлигига, чўкма ва фильтр түсікларининг гидравлик қаршиликларига тескари пропорционалдир.

**Фильтрлаш тенгламаси.** Фильтрлаш процессида вақт ўтиши билан босимларнинг фарқи ва чўкманинг гидравлик қаршилиги ўзгариб

боради. Шу сабабли фильтрлаш тезлиги дифференциал кўринишида қуйидагича ифодаланади:

$$W = \frac{dV_{\phi}}{F_{\phi} d\tau_{\phi}} = \frac{\Delta p}{\mu (R_{\phi} + R_{\phi\tau})} \quad (3.17)$$

бу ерда  $\Delta p$  — босимлар фарқи,  $\mu$  — суспензиянинг қовушоқлиги Н·с/м<sup>2</sup>;  $R_{\phi}$  — чўкма қатламининг қаршилиги;  $R_{\phi\tau}$  — фильтр тўсиқларнинг қаршилиги.

Фильтрлаш тезлигини аниқлаш учун (3.17) тенгликни интеграллаб, чўкманинг гидравлик қаршилиги билан олинаётган фильтрат ҳажми орасидаги боғлиқликни билиш лозим. Тенгламани интеграллашда фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ўзгармас деб олинади, чунки қаттиқ заррачалар фильтрниги тешиқларини тўлдирмайди. Шунинг учун фильтр тўсиқларнинг қаршилиги эътиборга олинмайди. Бунда чўкма қатламининг баландлиги ортиб боради. Чўкма гидравлик қаршилигининг қиймати эса нолдан максимумгача ўзгаради. Шунинг учун тезлик чўкманинг гидравлик қаршилиги ва фильтрат ҳажмига боғлиқ бўлади.

Чўкма ҳажмининг ( $V_{\phi}$ ) фильтрат ҳажмига ( $V_{\phi}$ ) нисбатини  $x_0$  билан белгилаймиз:

$$\frac{V_{\phi}}{V_{\phi}} = x_0, \quad \text{бу ерда } V_{\phi} = x_0 V_{\phi}.$$

Чўкманинг ҳажми чўкма қатлами баландлигининг ( $h_{\phi}$ ) фильтрат юзасига ( $F$ ) кўпайтмасига тенг  $h_{\phi} \cdot F$ . Натижада:

$$x_0 \cdot V_{\phi} = h_{\phi} \cdot F.$$

Бу тенгламадан чўкма қатламининг баландлигини топиш мумкин:

$$h_{\phi} = x_0 \frac{V_{\phi}}{F}. \quad (3.18)$$

Чўкма қатламининг қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$R_{\phi} = r_0 h_{\phi} = r_0 x_0 \frac{V_{\phi}}{F}; \quad (3.19)$$

$r_0$  — чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилиги (1 м қалинликда бўлган чўкма қатламининг фильтрат оқимиغا кўрсатган қаршилиги), 1/м<sup>2</sup>.

(3.19) тенгликдаги  $R_{\phi}$  нинг қийматини (3.17) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

$$\frac{dV_{\phi}}{F \cdot d\tau} = W = \frac{\Delta p}{\mu \left( r_0 x_0 \frac{V_{\phi}}{F} + R_{\phi\tau} \right)} \quad (3.20)$$

Бу тенглик *фильтрлаш процессининг асосий тенгламаси* дейилади; Агар фильтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилиги ҳисобга олинмаса,  $R_{\phi\tau} = 0$  ва (3.20) тенгламага (3.18) тенгликдаги  $x_0$  нинг қийматини қўйсак, у ҳолда қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$r_0 = \frac{\Delta p}{\mu h_{\phi}} \quad (3.21)$$

Агар  $\mu = 1\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$  ва  $h_0 = 1\text{м}$ ,  $W = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , бўлса, қовушоқлиги  $1\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$  бўлган суспензия  $1\text{м}$  қалинликдаги чўкма қатламида филтратланганда чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилигининг миқдори босимлар фарқига тенг бўлади.

**Филтратлаш режимлари.** Амалда филтратлаш процесси уч хил режимда олиб борилади.

1.  $\Delta P = \text{const}$ . Бунда вақт бирлиги ичида филтратлаш тезлиги камайиб боради. Бу режимда сиқилган ҳаво ёрдамида филтрат билан чўкма остида доимий ўзгармас босим ҳосил қилиниб турилади ва филтрат очик бўлиб, филтрат вакуум ёрдамида тортиб олинади.

2.  $W = \text{const}$ . Тезлик ўзгармас бўлиши учун босимлар фарқини ошириш керак. Бу режимда ишлайдиган филтратларга суспензия поршенли насослар ёрдамида берилади.

3. Бир вақтнинг ўзида босим ва филтратлаш тезлиги ўзгариб туради. Бу режимда ишлайдиган филтратларга суспензия вакуум насос орқали берилади.

Агар (3.20) тенгламани босимлар фарқи бир хил режимда ишлайдиган  $\Delta p = \text{const}$  филтратлар учун интегралласак, қуйидаги ифодага эришилади:

$$\int_0^V V dV = \frac{\Delta p \cdot F^2}{\mu r_0 \cdot x_0} \int_0^{\tau} d\tau, \quad (3.22)$$

$$\frac{V^2}{2} = \frac{\Delta p \cdot F^2}{\mu r_0 \cdot x_0} \tau; \quad (3.23)$$

$$V = F \sqrt{\frac{2 \Delta p \tau}{\mu \cdot r_0 \cdot x_0}}, \quad (3.24)$$

бу ерда:  $\Delta p = \Delta p_0 - \Delta p_{\text{фи}}$  — умумий босимлар фарқи,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $\Delta p_0$  — чўкма-нинг икки томонидан олинган босимлар фарқи,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $\Delta p_{\text{фи}}$  — филтрат тўсиқининг икки томонидан олинган босимлар фарқи,  $\text{Н}/\text{м}^2$ .

(3.24) тенглама орқали вақт давомида олинган филтратнинг ҳажми, филтратнинг унумдорлигини аниқлаш мумкин. Худди шунингдек, филтратлаш вақтини ҳар қандай режим учун топиш мумкин. Бу тенгламадан кўриниб турибдики, босимлар фарқи бир хил бўлганда филтратлаш вақти қанча кўп бўлса, шунча кўп филтрат олинади.

(3.24) тенгламадаги босимлар фарқи  $\Delta p$ , суспензиянинг қовушоқлиги  $\mu$ , чўкманинг солиштирма қаршилиги  $r_0$  чўкма ва филтрат ҳажмининг нисбатлари фақат тажриба орқали аниқланилади. Шу сабабли буларнинг ўзаро боғланиши филтратлаш доимийлиги  $K$  орқали ифодаланади:

$$K = \frac{2 \Delta p}{\mu r_0 x_0}$$

Филтратлаш доимийлиги босимлар фарқи, чўкманинг физик таркиби ва суспензияларнинг қовушоқлигини ҳисобга олади.

Худди шунингдек, филтрат тўсиқларнинг гидравлик қаршилигини ҳам филтратлаш доимийлиги  $C$  билан белгилаш мумкин:

$$C = \frac{R_{\text{фт}}}{r_0 x_0}.$$

Фильтр тўсиқ ва фильтрлаш доимийларининг қийматларини (3.20) тенгламага қўйсақ, қуйидаги кўринишга келади:

$$V^2 + 2V \cdot C = K \tau. \quad (3.25)$$

### 3.6-§. Фильтрлаш аппаратлари

*Фильтрларнинг турлари.* Химия ва озиқ-овқат саноатида ишлатиладиган фильтрлар тозаланиши керак бўлган муҳитнинг хили, ишлаш принциплари, фильтр тўсиқларнинг турига ва иш босимларнинг миқдорига қараб бир неча турларга бўлинади.

Технологик мақсадларга кўра фильтрлаш аппаратлари икки турга бўлинади: 1) суюқликларни тозалаш фильтрлари; 2) газларни тозалаш фильтрлари.

Босим остида ишлайдиган фильтрлар бир неча турга, яъни гидростатик босим насоси ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинадиган босим — сийракланиш (вакуум) ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимлар таъсирида ишлайдиган аппаратларга бўлинади.

Фильтрлаш аппаратлари фильтрловчи тўсиқларнинг хилига қараб донасимон материаллар, ҳар хил газламалар ва қаттиқ материаллар (масалан, керамик буюмлар, тўрлар) билан ишлайдиган фильтрларга бўлинади.

Барча турдаги фильтрловчи аппаратлар фильтрлаш юзасининг ҳаракатига қараб икки хил бўлади:

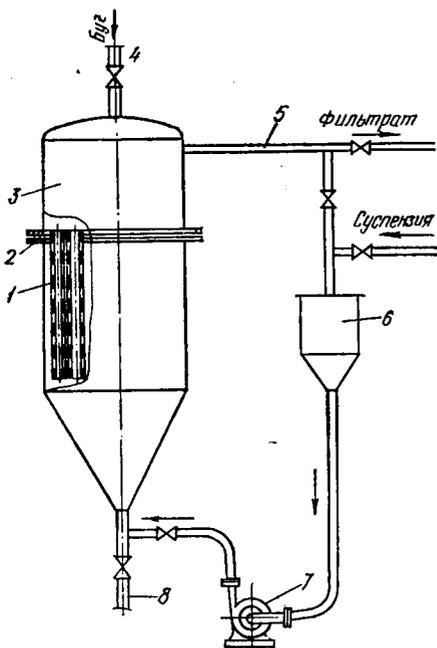
1. Ҳаракатсиз фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (донасимон тўсиқли фильтрлар, рамали ва камерали фильтр пресслар ва бошқалар).

2. Ҳаракатли фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (барабанли вакуум фильтрлар, дискли ва лентали фильтрлар).

Бундан ташқари фильтрлар ишлаш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади. Ҳаракатсиз фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар даврий ишлайди. Ҳаракатли фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар эса узлуксиз ишлайди. Қуйида фильтрларнинг айримлари билан танишамиз.

**Патронли фильтр.** Бу фильтрларда цилиндрсимон корпусдаги махсус металл тўсиққа металл ёки керамик трубалардан тайёрланган, юқори томони очиқ бўлган говаксимон патронлар жойлаштирилади (3.6- расм). Патронларнинг диаметри 15—25 мм бўлиб, уларга фильтрловчи газлама (яъни «пайпоқлар») кийдирилади. Фильтрга суспензия босим остида берилади, филтрат патронлардан ўтиб, аппаратнинг юқориги қисмида йиғилади ва штуцер орқали аппаратлардан чиқарилади. Ҳосил бўлган чўкма патронларнинг ташқи қисмидан сиқилган ҳаво ёки сув буғи ёрдамида ажратилади ва аппаратнинг пастки қисмидан чиқарилади.

**Фильтр-пресслар.** Фильтр-пресс плита ва рамалардан тузилган бўлиб (3.7- расм), унда рамаларнинг сони 22 тадан 42 тагача бўлади.



3.6- расм. Патронли фильтр:

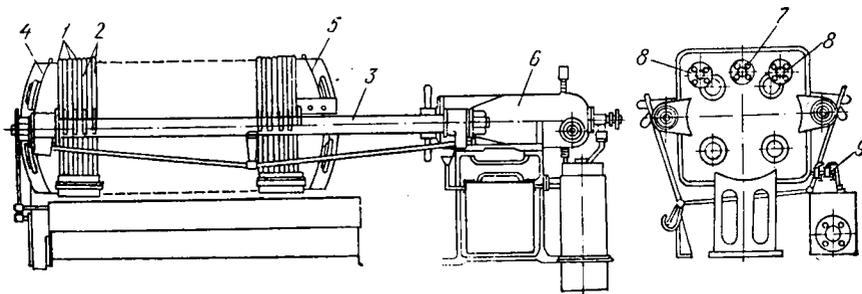
1 — патрон, 2 — труба тўсиқлари; 3 — қобик; 4 — буғ кىрувчи штуцер; 5 — фильтрат чиқарадиган труба; 6 — суспензия йиғичи; 7 — насос; 8 — чўкма чиқадиган труба.

фильтрлаш; 3) ювиш; 4) филтрдан чўкмани ажратиб олиш.

Бундай даврий ишлайдиган филтър аппаратларни (патронли филтърлар, филтър-пресслар ва бошқалар) ишлатиш оғир жисмоний қўл меҳнатини талаб қилади. Бундан ташқари, ёрдамчи процессларни

Рамаларнинг қалинлиги 25—46 мм. Плита ва рамалар ён томондан иккита параллел жойлашган стерженга ўрнатилади. Ҳар бир плитага филтърловчи газлама (салфетка) кийдирилади. Рама ва плиталар гидравлик қурилма — плунжер ҳосил қилган босим ёрдамида сиқилади.

Суспензия каналча орқали раманинг ичига кириб, филтърловчи материалдан ўтади (3.8-расм), сўнгра юзасидаги ариқчалар орқали пастга тушади. Филтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Раманинг икки қисми чўкма билан тўлганда, суспензияни бериш тўхтатилади. Шундан сўнг ювиш учун сув берилади. Ювиш процесси тамом бўлгач қўзғалувчан плита чапга сурилиб, чўкма туширилади. Шундай қилиб, филтър-пресснинг иш цикли қуйидаги процесслардан иборат бўлади: 1) ишга тайёргарлик кўриш; 2)



3.7- расм. Рамали филтър-пресс:

1 — плиталар; 2 — рамалар; 3 — таянч стержень; 4 — қўзғалмас плита; 5 — ҳаракатланувчи плита; 6 — гидравлик система; 7 — суспензия бериладиган штуцер; 8 — ювувчи суюқлик бериладиган штуцер; 9 — фильтрат чиқадиган штуцер.

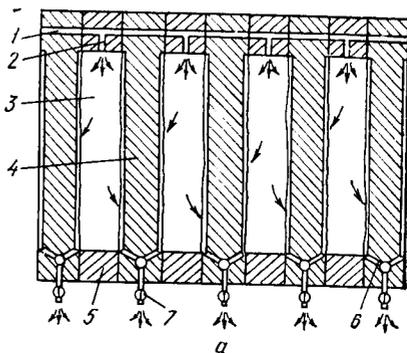
бажариш учун иш циклининг 30 процентга яқин вақти кетади. Бу фильтрларда кўп миқдорда газламалар сарф бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган фильтрлаш аппаратлари бу камчиликлардан ҳолидир. Бу аппаратларда фильтрлаш, чўкмани қуритиш, ювиш, ажратиб олиш каби процесслар бир вақтнинг ўзида олиб борилади. Бундай аппаратларга вакуум остида ишлайдиган барабанли, диски, лентали фильтрлар кирди. Саноатнинг кўп тармоқларида барабанли вакуум фильтрлар ишлатилади.

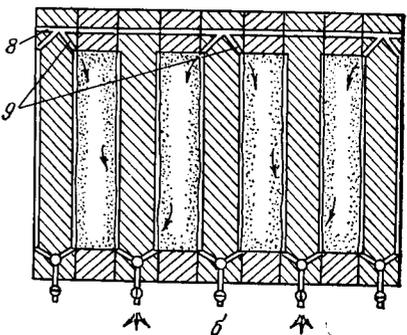
### Барабанли вакуум-фильтр.

Фильтрнинг асосий қисми диаметри 3000 мм гача, узунлиги 5400 мм бўлган горизонтал барабандан иборат. Барабан ўққа ўрнатилган подшипник ва электр двигатель орқали аста-секин айланма ҳаракат қилади. Барабanning 2/3 қисми суспензияли махсус тоғорага туширилган бўлади. Тоғорада силкиниб турувчи аралаштиргич суспензия таркибини бир хил бўлишлигини таъминлаб, ундаги қаттиқ заррачаларнинг чўкмага тушишига йўл қўймайди. Барабан иккита цилиндрдан тузилган. Ташқи цилиндр ғалвирсимон бўлиб, унинг устига металлдан қилинган сим тўр ўрнатилган. Сим тўрнинг устига фильтр материали қопланган (3.9-расм).

Барабanning фильтрловчи тўсиқларидан фильтрлат вакуум таъсирида сўриб олинади. Фильтрнинг устки қисмида суспензиядаги қаттиқ заррачалар чўкма қатламини ҳосил қилади. Бу чўкма пичоқ ёрдамида барабanning устки қисмидан ажратиб олинади. Барабanning ички қисми тўсиқлар ёрдамида алоҳида секторларга ажратилган. Секторларнинг сони 8; 12 ва 32 та бўлиши мумкин. Каналлар ўз навбатида фильтрлаш процессининг барча цикларини бевосита автоматик тарзда бошқарувчи махсус қурилма — бош тақсимлагич билан бириктирилади. Бош тақсимлагичда 2 та диск бўлиб, бири айланма ҳаракат қилади, иккинчиси эса қўзғалмас қилиб бириктирилган (3.10-расм). Айланма дискда бир қанча тешиклар бўлиб, улар барабanning секторларига каналлар орқали трубалар билан бириктирилади. Қўзғалмас дискдаги тешиклар трубалар орқали вакуум насос ҳамда фильтрлатни ажратиб олувчи ва юувчи суюқлик билан, чўкмани ажратиши ҳам-

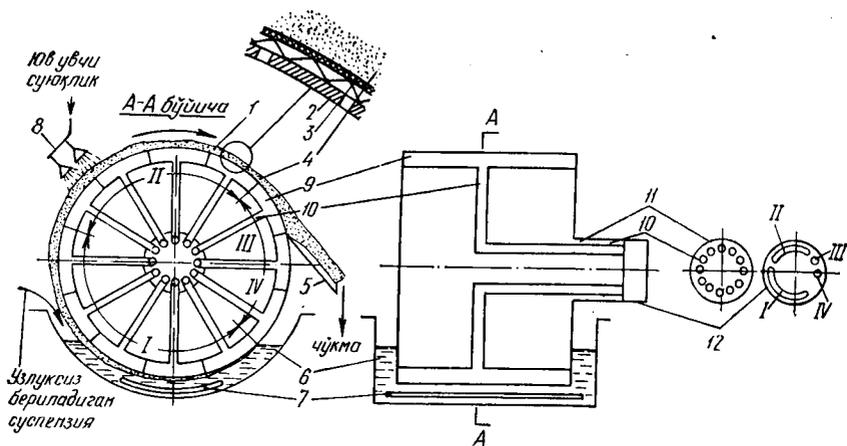


а



3.8- расм. Рамали фильтр-пресснинг ишлаши:

а) фильтрлаш босқичи; б) ювиш босқичи; 1 — суспензия ўтадиган ўрта канал; 2, 9 — каналлар; 3 — плиталар орасидаги бўшлиқ; 4 — плиталар; 6 — фильтрлат ва ювадиган суюқлик чиқадиган канал; 7 — штуцер; 8 — ювадиган ёнлама канал.

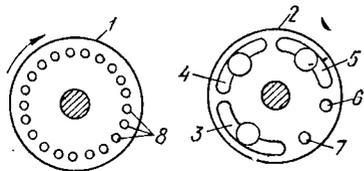


3.9- расм. Барабанли вакуум-фильтр:

1 — тешикли металл барабан; 2 — симли тўр; 3 — фильтр газлама; 4 — барабанда ҳосил бўлган чўқма; 5 — чўқмани тушириб турувчи пичоқ; 6 — суспензия қуйилган тоғора; 7 — тебранувчи аралаштиргич; 8 — ювувчи суюқлик узатадиган қурилма; 9 — ҳаракатланувчи қисмлар билан бирлаштирувчи трубалар; 11 — бош тақсимлагич; 12 — бош тақсимлагичнинг қўзғалмас қисми.

да фильтр тўқималарини тозалаш учун сиқилган ҳаво берувчи қурилма билан уланган бўлади.

Айланувчи дискнинг ҳар бир тешиги диск айланганида бирин-кетин қўзғалмас дискнинг тешиклари билан уланади. Шунинг учун барабан бир марта айланма ҳаракат қилганида филтрлаш процессининг барча босқичлари бажарилади. Масалан, айланувчи дискнинг тешиги қўзғалмас дискнинг каттароқ бўлган тешиги 3 га тўғри келганда барабан секторлари вакуум насос билан уланади ва филтрланган суюқлик махсус идишга тушади. Барабан айланиши билан қўзғалувчан дискнинг тешиклари бирин-кетин қўзғалмас дискнинг 4 ва 5 тешиklarига тўғри келганда барабан секторларининг ювувчи суюқлик манбалари билан уланиб, чўқма ювилади. Кейин эса қўзғалувчан дискнинг тешиклари қўзғалмас дискнинг 6 ва 7 тешиklarига тўғри келганда, барабан секторлари сиқилган ҳаво трубалари билан уланиб, чўқма қурилади ва филтр юзаси тозаланади (3.10- расм).



3.10- расм. Вакуум-фильтрнинг бош тақсимлагичи:

1 — айланувчи диск; 2 — қўзғалмас диск; 3 — вакуум ҳосил қилувчи қурилмалар билан бирлаштирувчи тешиклар; 4 — ювувчи суюқлик билан бирлаштирувчи тешиклар; 5—7 — сиқилган ҳаво берувчи қурилмалар билан бирлаштирувчи тешиклар; 8 — бирлаштирувчи трубалар уланадиган тешиклар.

Барабанли вакуум филтрларнинг филтрлаш юзаси одатда 5 ... 40 м<sup>2</sup> бўлади. Ҳозирги вақтда айрим барабанли вакуум филтрларнинг филтрлаш юзаси 140 м<sup>2</sup> га етади. Бундай филтрлар огирлик кучи таъсирида секин чўкувчи суспензия таркибидаги қаттиқ заррачаларни ажратиш учун ишлатилади.

Бу филтрларнинг қуйидаги камчиликлари бор: филтрлаш юзаси катта бўлгани учун катта жойни эгаллайди, аппаратнинг баҳоси нисбатан қиммат.

**Филтрларни ҳисоблаш.** Филтрлаш процессининг тезлиги бир қатор катталикларга боғлиқ бўлганлиги учун филтрлаш аппаратларини ҳисоблаш анча мураккаб ишдир. Шунинг учун филтрлаш давомида оғирлик кучи таъсирида чўкаётган заррачаларни, филтрлашнинг солиштирма қаршилиги ва филтр тўсиқнинг қаршилигини вақт давомидаги ўзгаришларини ҳисобга олмаймиз.

Ўзлуксиз ишлайдиган филтр аппаратларни ҳисоблашни кўриб чиқамиз. Бунда филтрнинг берилган юзаси бўйича аппаратнинг сони, филтрат миқдори ва филтрлаш вақти аниқланади.

$$1. \text{ Филтрат миқдори: } V = \frac{h_c \cdot F}{x_0}.$$

$$2. \text{ Филтрлаш циклининг умумий вақти: } T = \tau + \tau_{ю} + \tau_{\epsilon}.$$

$$\text{Бу ерда } \tau = \frac{\mu \cdot r_0 \cdot h_c}{2 \Delta \rho x_0},$$

$\tau$  — филтрлашнинг умумий вақти;  $\tau_{ю}$  — ювишга кетган вақт, тажриба йўли билан аниқланади;  $\tau_{\epsilon}$  — ёрдамчи процессларни бажариш учун кетган вақт.

3. Филтрловчи аппаратнинг унумдорлиги:

$$Q_{\phi} = \frac{3600 \cdot V \cdot F}{T}. \quad (3.26)$$

4. Агар филтрловчи аппаратнинг унумдорлиги берилган бўлса, (3.26) тенгламадан филтрлаш юзасини аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{Q_{\phi} \cdot T}{3600 \cdot V}. \quad (3.27)$$

### 3.7-§. Центрифугалаш

Эмульсиядаги суюқлик томчиларини ва суспензиядаги қаттиқ модда заррачаларини марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш процесси *центрифугалаш* дейилади. Центрифугалаш процесси центрифугаларда амалга оширилади.

Центрифугалаш пайтида ҳосил бўлган марказдан қочма кучлар чўктириш процессидаги оғирлик кучи ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан кўпроқ таъсир қилади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун қўлланиладиган чўктириш ва филтрлаш процессларига нисбатан центрифугалаш процесси жуда самарали ҳисобланади.

Центрифугаларнинг асосий қисми горизонтал ёки вертикал ўққа жойлашган катта тезликда айланувчи барабан бўлиб, у электр двигателъ ёрдамида айланма ҳаракатга келтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суспензиядаги қаттиқ модда заррачалари чўкмага тушиб, суюқ фазадан ажралади. Суюқ фаза *фугат* дейилади. Ҳосил бўлган чўкма барабан ичида қолиб, суюқ фаза эса ажратиб олинади.

Турли жинсли аралашмаларни ажратиш принципига кўра центри-

фугалар икки турга бўлинади: 1) фильтрловчи центрифугалар; 2) чўктирувчи центрифугалар.

Фильтрловчи центрифугаларнинг барабани говаксимон турли металллардан ишланиб, унинг юзасига материал (мато) қопланади. Фильтрловчи центрифугаларда суспензия ёки эмульсия марказдан қочма куч таъсирида барабан деворларига қараб отилади, бунда қаттиқ модда заррачалари фильтр материалларнинг юза қисмида қолиб, суyoқ фаза (фугат) бу куч таъсирида чўкма қатлами ва фильтр тўсиқлардан ўтади ҳамда барабандан узлуксиз чиқариб турилади.

Чўктирувчи центрифугаларда барабан яхлит металл пластинкалардан қилинади. Бу центрифугаларда босимлар фарқи марказдан қочма куч таъсирида ҳосил қилинади. Барабanning айланиши натижа-сида марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия барабан деворлари томон ҳаракат қилади. Зичлиги катта бўлган суyoқлик ва қаттиқ фазалар барабан деворлари яқинида, зичлиги камроқ бўлган бошқа фаза эса ўқ атрофида йиғилади.

Иш режимига кўра центрифугалар даврий ва узлуксиз бўлади. Барабан валининг ўрнатилиши ҳолатига қараб горизонтал ва вертикал центрифугалар бўлади. Даврий ишлайдиган центрифугаларда чўкма қўл ёрдамида, гравитацион куч (ёки оғирлик кучи) ва пичоқ билан туширилади. Узлуксиз ишлайдиган центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида инерцион ва пульсацион кучлар таъсирида туширилади.

Центрифугаларнинг иш унумдорлиги ажратиш коэффициентига боғлиқ. Ажратиш коэффициенти центрифугаларда марказдан қочма кучлар maidонида ҳосил бўлган кучланиш билан характерланади. Центрифугада ҳосил бўлаётган марказдан қочма кучлар миқдорининг оғирлик кучи тезланишдан неча марта кўплигини кўрсатувчи катталики *ажратиш коэффициенти* дейилади.

$$k_a = \frac{\omega^2}{rg}, \quad (3.28)$$

бу ерда  $r$  — барабан радиуси;  $\omega$  — айланаётган барабanning бурчак тезлиги;  $g$  — эркин тушиш тезланиши.

Ажратиш коэффициентига кўра ҳамма центрифугалар икки гурпага бўлинади:

1. Нормал центрифугалар ( $k_a < 3500$ ). Бундай центрифугалар суспензиялардан катта, ўртача ва майдароқ заррачаларни ажратиш учун ишлатилади.

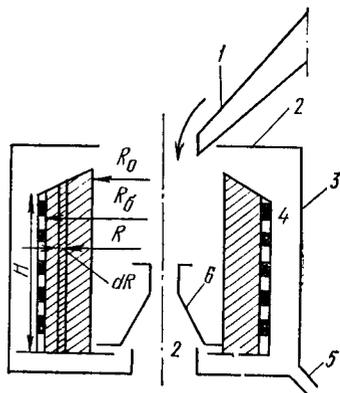
2. Ўрта центрифугалар ( $k_a > 3500$ ). Бундай центрифугалар майда заррачали суспензияларни ва эмульсияларни ажратиш учун қўлланилади.

### 3.8- §. Центрифугалаш аппаратлари

Саноатда, эмульсия ва суспензияларнинг таркибига қараб, уларни ажратиш учун турли хилдаги центрифугалар ишлатилади.

**Фильтрловчи центрифуга.** Бу центрифуга барабандан ёки ротордан иборат. Барабanning ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг устки юзаси майда тешикли материал билан қопланган (3.11- расм). Труба

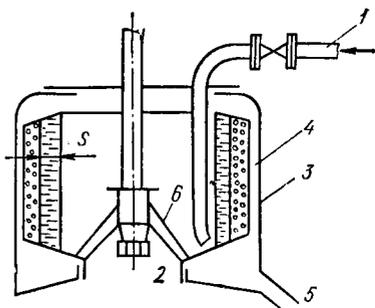
орқали барабанга турли жинсли суспензия берилади. Барабан электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Барабан ичидаги суспензия айланма ҳаракат қилганда унга марказдан қочма куч таъсир қилади. Бунда суюқ фазада гидростатик босим ҳосил бўлади. Бу босим центрифугада филтрлашнинг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади. Бу куч таъсирида суюқ фаза филтр тўсиқлар устида ҳосил бўлган чўкмадан ўтиб тозаланади. Филтрловчи центрифугада борувчи процесс учта физик процесслар йиғиндисидан иборат: чўкма ҳосил қилиш билан филтрлаш, чўкманинг зичланиши, чўкмадан суюқликни чиқариш. Филтрат (фугат) аппаратдан патрубк орқали чиқарилади. Ажратишдан сўнг чўкма сув билан ювилади. Барча процесслар тугагач центрифуга тўхтатилади, конус юқорига кўтарилади ва чўкма туширилади.



3.11- расм. Филтрловчи центрифуга:

1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чўкмани туширадиган тешик; 3 — қобик; 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — конус.

**Чўктирувчи центрифуга.** Чўктирувчи центрифуганинг барабани яхлит бўлади. Бундай центрифуганинг ишлаш принципи чўктириш аппаратларининг ишлашига ўхшаш. Турли жинсли система барабанга труба орқали берилади. Барабанинг айланишида марказдан қочма куч таъсирида зичлиги каттароқ бўлган компонент барабанинг иш юзасига йиғилади, зичлиги камроқ бўлган компонент эса айланиш ўқиға яқинроқ жойда йиғилади. Фугат труба орқали (3.12- расм) ташқарига чиқарилади.

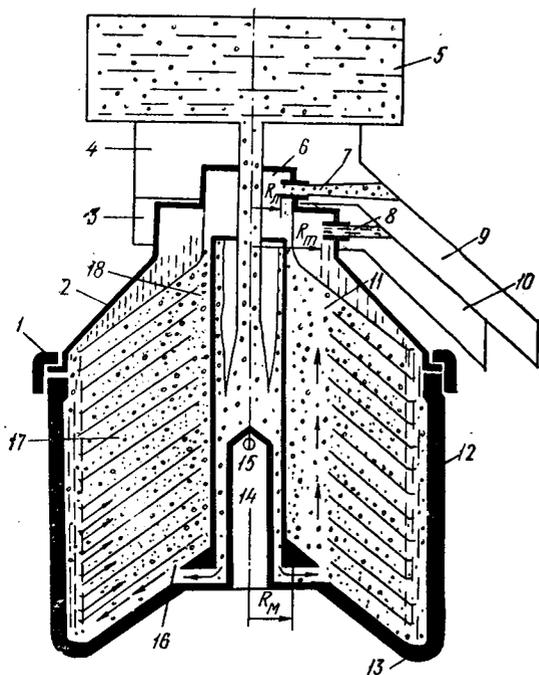


3.12- расм. Чўктирувчи центрифуга:

1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чўкма туширил адиган тешик; 3 — қобик; 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — конус.

Чўкма қатлами амалий жиҳатдан барабани тўлдиргандан сўнг, аппарат тўхтатилади, сўнгра чўкма туширилади.

**Тарелкали сепараторлар.** Бундай сепараторлар эмульсиялар ва майда заррачали суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Тарелкали сепараторларнинг ичига (3.13- расм) бир неча конуссимон тарелкалар ўрнатилган. Шу сабабли суюқлик бир неча юпқа қатламларга бўлинади. Натижада суюқлик ламинар режим билан ҳаракат қилади ва шунинг учун заррачаларнинг чўкиш йўли камаяди. Аралашма марказий труба орқали пастга тушади. Марказий труба барабан билан бирга айланади. Марказдан қочма куч таъсирида суюқлик аппаратнинг деворлари томон ҳаракат қилади, сўнг тарелкаларга ўтади. Енгил суюқлик марказий трубаға яқин жойға йиғилади ва юқорига



3.13- расм. Тарелкали сепаратор:

1 — ҳалқа; 2 — конус; 3, 4 — ажратилган маҳсулотлар учун йиғич; 5 — бошланғич аралашма учун йиғич; 6 — труба; 7, 8 — ажратилган маҳсулотларни узатувчи тешиклар; 9, 10 — йиғичларнинг оёқлари; 11 — икки ёқлама каналлар; 12 — пулат қобик; 13 — пастки қисм; 14 — қалин деворли труба; 15 — тешиклар; 16 — тарелка ушлагич; 17 — тарелкалар; 18 — марказий труба.

томон ҳаракат қилиб, аппаратдан чиқиб кетади. Оғирроқ, қуюқлашган компонент эса аппарат девори ёнига йиғилиб, сўнгра юқорига томон ҳаракат қилади ва бошқа патрубкдан чиқиб кетади.

## Б. ГАЗЛАРНИ ТОЗАЛАШ

### 3.9- §. Умумий тушунча

Химия саноати корхоналаридан чиқаётган газ аралашмаларини тозалаш технологик жиҳатдан муҳим ва катта аҳамиятга эга. Газлар қуйидаги мақсадларда тозаланadi:

1. Газ аралашмаларидан қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиб олиш учун.

2. Процесс кетиши пайтида унга салбий таъсир қилувчи ва аппаратнинг бузилишини тезлаштирувчи моддаларни газ аралашмаларидан чиқариб ташлаш учун.

3. Атроф муҳит ҳавосининг ифлосланишини камайтириш учун.

Ишлаб чиқариш процесслари давомида ҳосил бўладиган ҳар хил физик-химиявий хусусиятларга эга бўлган газ аралашмалари турли жинсли газ дейлади. Газ аралашмалари таркибидаги заррачаларнинг ўлчамига қараб 2 системага бўлинади: механик, конденсирланган.

Қаттиқ моддалар майдаланганда, уларни бир жойдан иккинчи жойга узатганда қаттиқ моддаларнинг газларда тақсимланиши меха-

ник система ёки чанглар дейилади. Аралашмалардаги қаттиқ модда заррачаларининг ўлчами 5 ... 50 микронгача бўлади.

Конденсирланган система суюқликларни буглатганда, қуритиш процессларида бугларнинг суюқликка айланишида ҳосил бўлади. Бунинг натижасида тутун ва туман пайдо бўлади.

Саноатда ишлаб чиқарилган газ аралашмаларини тозалаш учун куйидаги усуллар қўлланилади:

1. Оғирлик кучи таъсирида майда заррачаларни чўктириш.  
2. Майда заррачаларни марказдан қочма ва инерцион кучлар таъсирида чўктириш.

3. Газ аралашмаларини фильтр тўсиқлар ёрдамида ажратиш.

4. Газларни намлаш усули билан тозалаш.

5. Юқори кучли электр майдон ёрдамида тозалаш.

Газларни тозалаш учун чўктириш камералари, циклонлар, фильтрлаш аппаратлари (скрубберлар ва электрофильтрлар) ишлатилади.

Амалда газ аралашмаларидаги майда заррачаларни биргина тозалаш аппаратларида бутунлай ажратиш мумкин эмас. Шунинг учун кўпинча икки ва кўп босқичли тозалаш аппаратлари ишлатилади, яъни аввал катта заррачалар чанг чўктириш камераларида, сўнгра электрофильтрларда чўктирилади.

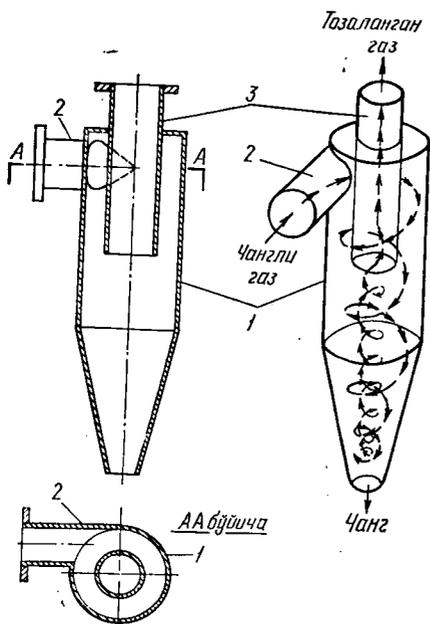
Ҳар бир аппаратнинг унумдорлиги газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси билан аниқланади:

$$n = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100 \% = \frac{V_1 x_1 - V_2 \cdot x_2}{V_1 x_1} \cdot 100 \% \quad (3.29)$$

бу ерда  $G_1$  ва  $G_2$  — тозаланмаган ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар миқдори;  $V_1$ ,  $V_2$  — дастлабки ва тозаланган газ аралашмаларининг ҳажми;  $x_1$  ва  $x_2$  — чангли ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар концентрациялари, кг/м<sup>3</sup>.

### 3.10- §. Марказдан қочма куч таъсирида ажратиш

Оддий чўктириш аппаратларида газ аралашмаларидаги майда чангларни ажратиш анча қийин. Чўктириш аппаратларининг габарити катта бўлгани учун улар кўп жойни эгаллайди. Бундан ташқари, газларни тозалаш даражаси анча кичик. Шунинг учун чангли газ аралашмаларни тозалаш учун саноатда циклонлар кенг ишлатилади. Циклон цилиндрик ва конуссимон қисмлардан иборат (3.14- расм). Аппаратда тозаланган газ чиқадиган ва чанг тушадиган патрубклар бор. Чангли газ циклонга тангенциал йўналишда 15 ... 20 м/с тезликда киради. Сўнгра пастга спиралсимон айланма ҳаракат билан йўналиди. Натижада марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар ўқдан циклоннинг ички девори томон ҳаракат қилади, сўнгра деворга урилиб ўз кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида пастга тушади. Циклоннинг пастки конуссимон қисмида газ оқими инерция бўйича айланма спиралсимон ҳаракатини давом эттиради ва юқорига йўналган оқим пайдо бўлади. Тозаланган газ марказий труба орқали аппаратдан чиқиб кетади. Циклондаги чангли газларнинг тозаланиш даражаси



3.14- расм. Циклон:

1 — цилиндрсимон қобиқ; 2 — тангенциал чангли газлар кирадиган штуцер; 3 — тозаланган газлар чиқадиған штуцер.

қаттиқ заррачаларнинг катталиги, газ оқимининг тезлиги ва аппаратнинг геометрик ўлчамларига ҳам боғлиқ. НИИО газ томонидан ишлаб чиқарилаётган циклонларнинг диаметри 100—1000 мм га, чангли газларнинг тозаланиш даражаси 30 ... 85% га тенг. Чангли газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачаларнинг диаметри катталашгани сари газларнинг тозаланиш даражаси 90 ... 95% гача ортиши мумкин.

Циклонларда газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси ажратиш коэффициентига боғлиқ:

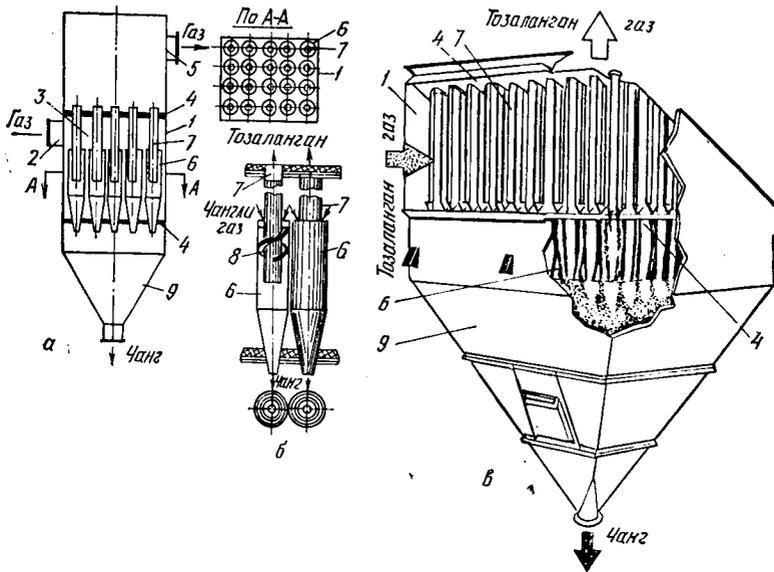
$$k_a = \frac{\omega^2}{rg} \quad (3.30)$$

бу ерда  $r$  — циклон радиуси, м,  $\omega$  — газ оқимининг тезлиги м/с.

Бу тенгликдан кўриниб турибдики, газларнинг тозаланиш даражасини ошириш учун газ оқими айланма ҳаракатининг радиусини,

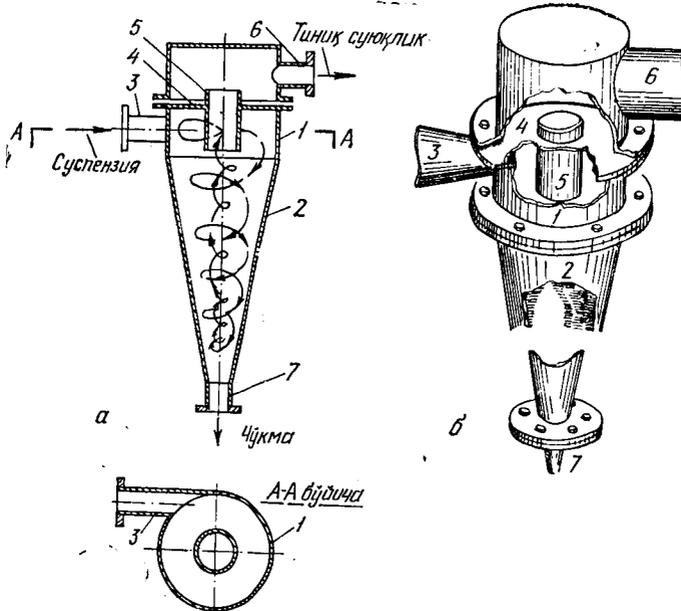
яъни циклоннинг радиусини камайтириш ёки газ оқимининг ҳаракат тезлигини ошириш керак. Газларнинг тезлиги ортиши натижасида циклонда кучли турбулент оқим ҳосил бўлиб, гидравлик қаршилик катталашади, чангли газлардаги қаттиқ заррачаларнинг нормал чўкиши бузилади ва газларни тозалаш қийинлашади. Циклонларнинг радиуси кичиклаштирилса, уларнинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун кўп миқдордаги чангли газларни тозалаш ва ажратиш интенсивлигини ошириш учун батареяли циклонлар ишлатилади. Батареяли циклон кичик диаметрли бир неча майда циклон элементлардан тузилган. Элемент марказий трубагининг ташқи кўриниши винтсимо шаклда бўлади. 3.15- расм, *a* да батареяли циклоннинг схемаси, 3.15- расм, *b* да ташқи кўриниши ва 3.15- расм, *b* да циклон элементларининг тузилиши кўрсатилган. Битта қобиқда бир неча циклон элементлари иккита тўсиқ ёрдамида жойлаштирилади. Аппаратга кирган чанг (газ) бир вақтнинг ўзида газ тақсимловчи камера орқали ҳамма элементларга бир хилда тарқалади ва улардан ўтиб тозаланиб, элементлардаги чиқариш трубалари орқали умумий камерага чиқарилади. Ҳамма элементлардан тушган чангли газ таркибидаги заррачалар аппаратнинг пастки қисмида йиғилади ва сўнгра ташқарига чиқарилади.

Циклон аппаратлар қуйидаги афзалликларга эга; тузилиши содда, ҳаракатлантирувчи қисмлари йўқ, фойдаланиш осон, ихчам ва арзон.



3.15- расм. Батереяли циклон:

а) батереяли циклон; б) циклон элементининг тузилиши; в) батереяли циклоннинг ташқи кўриниши; 1 — аппарат корпуси; 2 — чангли газ кичувчи штуцер; 3 — газ тақсимловчи камера; 4 — устки ва остки трубалар тўсиғи; 5 — тоза газ чиқувчи штуцер; 6 — айрим циклон элементларининг корпуси; 7 — циклон элементларидан тозаланган газ чиқувчи штуцерлар; 8 — винтлар; 9 — чанг тушадиган бункер.



3.16- расм. Гидроциклон (а) ва унинг ташқи (б) кўриниши:

1 — корпуснинг цилиндрсимон қисми; 2 — корпуснинг конуссимон қисми; 3 — тангенциал йўналишда кичувчи суспензия штуцери; 4 — тўсиқлар; 5 — штуцер; 6 — тозаланган суюқлик чиқувчи штуцер; 7 — чўкма чиқадиغان штуцер.

Бу циклонларни турли жинсли суюқлик системаларни ажратиш учун ҳам ишлатса бўлади. Бунда улар гидроциклонлар деб аталади. Гидроциклонларни суспензияларни қуйилтириш ва тозалаш учун, заррачаларни ўлчамига кўра фракцияларга ажратиш ва бошқа мақсадлар учун ҳам ишлатиш мумкин (3.16- расм).

Суспензия тангенциал йўналишда 2—3 ва ундан кўп атмосфера босими билан аппаратнинг цилиндр қисмига берилади. Суспензия пастга қараб винтсимон ҳаракат қилади. Суспензия айланма ҳаракат қилганда, қаттиқ заррачалар марказдан қочма куч таъсирида аппарат конус қисмининг ички юзасига улоқтирилади. Қуюқлаштирилган маҳсулот пастки патрубкка орқали чиқади. Циклон ўқи атрофида, девор яқинидаги оқимларнинг винтсимон ҳаракати таъсирида, тозаланган суюқлик оқими юқорига кўтарилиб, чиқариш штуцери орқали аппаратдан чиқиб кетади.

Кейинги вақтларда гидроциклонлар билан бир қаторда мультигидроциклонлар ва центриклонлар саноатда қўлланилмоқда. Мультигидроциклонларда кучли марказдан қочма кучлар майдони ҳосил қилинади, уларнинг диаметри 10—15 мм га тенг.

Центриклоннинг цилиндрсимон қисмига эса электр двигатель ёрдамида айланадиган ротор-паррак ўрнатилган бўлиб, у кучли марказдан қочма кучлар майдонини юзага келтиради.

### 3.11- §. Циклонларни ҳисоблаш

Циклонларни ҳисоблаш учун қуйидаги параметрлар маълум бўлиши керак:

— тозаланаётган газнинг нормал шароитда ҳисобланган ҳажми  $m^3/соат$ ;

— газнинг циклонга киришидаги температураси,  $^{\circ}C$ ;

— газнинг нормал шароитда олинган зичлиги,  $кг/м^3$ ;

— газдаги сув буғларининг миқдори,  $кг/кг$  ёки  $\%$ ;

— циклонга киришда газ таркибидаги чанг миқдори,  $г/м^3$  (нормал шароитда);

— чангнинг фракциялар бўйича дисперслик таркиби (массавий  $\%$ );

— чангнинг қовушоқлиги, зичлиги;  $H \cdot c/м^2$ ;

— циклонга киришдаги газнинг босими,  $H/м^2$ ;

— зарурий тозалаш коэффициенти,  $\%$ .

Циклонларни ҳисоблаш қуйидаги тартибда олиб борилади. Аввал унинг типи ва диаметри танланади. Сўнгра битта циклондан ёки батареяли циклоннинг битта элементидан ўтадиган газнинг иш ҳажми топилади:

$$V_c = 0,785 \cdot \omega_{\phi} \cdot D^2 = 3,48 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_t g \xi}}, \quad (3.31)$$

ёки

$$V_c = 5,8 \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta p (273 + t)}{\rho_0 g \rho_t \xi}}, \quad (3.32)$$

бу ерда  $\omega_\phi$  — газнинг мавҳум (шартли) тезлиги, м/с;  $D$  — циклоннинг ёки батареяли циклон элементининг ички диаметри, м;  $\rho_0$  ва  $\rho_t$  — газнинг нормал ва иш шароитдаги зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  — циклоннинг гидравлик қаршилик коэффициенти, унинг қиймати справочниклардан олинади ва у циклоннинг типига боғлиқ бўлади;  $\Delta p$  — газнинг циклонга киришдаги абсолют босими, Па;  $t$  — газнинг иш температураси, °С.

Циклонлар (ёки элементлар) сони қуйидагига тенг:

$$n = \frac{V}{V_c} = 0,287 \frac{V}{D^2} \sqrt{\frac{\rho_t g \xi}{\Delta p}} = 0,172 \frac{V}{D^2} \sqrt{\frac{\rho_0 g \rho_t \xi}{\Delta p (273 + t)}} \quad (3.33)$$

Бу усулда тозаланаётган газнинг иш шароитида олинган ҳажми м<sup>3</sup>/с ҳисобида бўлади.

Газнинг мавҳум тезлиги м/с да аниқланади:

$$\omega_\phi = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_t \xi}} \quad (3.34)$$

Циклонларнинг гидравлик қаршилиги  $\Delta p$  қуйидагича топилади:

$$\Delta p = \xi \frac{\rho_t \omega_\phi^2}{2} \quad (3.35)$$

Оддий ва батареяли циклонлар оптимал шароитда ишлаши учун қуйидаги шарт бажарилиши керак:

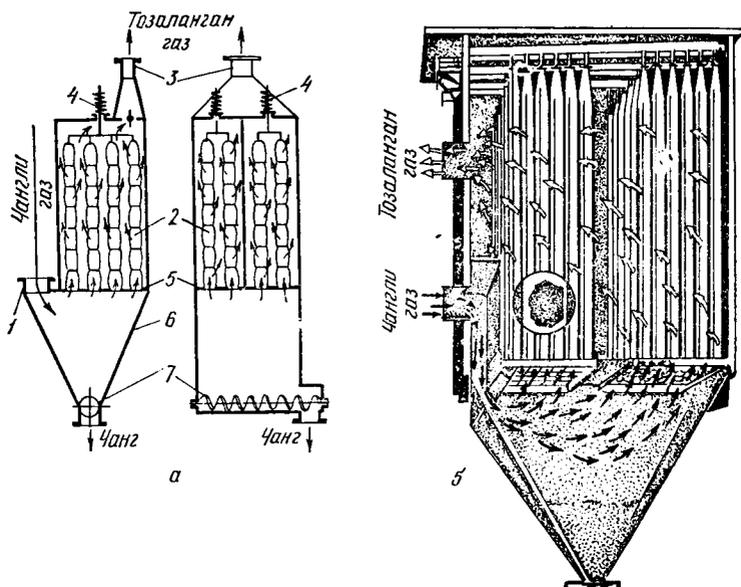
$$\frac{\Delta p}{\rho_t g} = 55 \dots 75.$$

Агар бу нисбат 55 ... 75 дан юқори бўлса, тозалаш коэффициенти бир хил бўлган ҳолда энергия ортиқча исроф бўлади. Агар кам бўлса, тозалаш коэффициенти анча камаяди.

### 3.12- §. Фильтрлар ёрдамида тозалаш

Циклонларда майда заррачали, узун толали ва енгил чангли газ аралашмаларини тозалаш қийин. Шунинг учун бундай газ аралашмаларини тозалаш учун фильтрлар ишлатилади. Фильтрларнинг тешиклари майда бўлганлиги учун газ ундан ўтиб, чанг эса ушланиб қолади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида пахтали ип ва шерсть материаллар, сочилувчан (қум, активланган кўмир) ва керамик материаллар ишлатилади. Газларни тозалаш учун енгли фильтрлар ишлатилади.

Тўқимали фильтрларда босим кучининг қаршилиги 60—120 мм сув устунига тенг. Енглр қобиқ остидаги трубади тўсиқларга маҳкамланади (3.17- расм). Чангли газ фильтрнинг пастки қисмидан кириб енгли тўқималарда чанглардан тозаланиб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Чанглр ва майда заррачалар фильтр енглрининг тешикларида қолади. Вақт ўтиши билан енглрда чанг қатлами кўпайиб фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ортиб кетади ва натижада аппаратнинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун вақт-вақти билан силкитувчи махсус қурилма ёрдамида фильтр енглри зарб билан силкитилиб, енглр устидаги чанглр тўкилади ва шнек орқали ташқарига чиқарилади. Баъзи фильтрлар механик силкитиш билан бирга, уларнинг енглари тозаланаётган газнинг йўналишига қарама-қарши йўналишда



3.17- расм. Енгли филтър (а) ва унинг ташқи кўриниши (б):

1,3 — газ кирадиган ва чиқадиган штуцерлар; 2 — мато (шерстудан тайёрланган енглр; 4 — тебрантирувчи қурилма; 5 — енглрнинг пастки қисми маҳкамланган труба тўсиқлари; 6 — чанглр тушадиган бункер; 7 — чанг узатадиган шнек.

ҳаво билан пуфлаб тозаланади. Бундай филтърда енглрнинг диаметри 20—25 см, узунлиги 2,5—4 м бўлиб, бир неча секциялардан иборат бўлади. Енгли филтърларда юқори температурали газ аралашмаларини тозалаш мумкин эмас. Агар филтърнинг енглари пахтали газламадан бўлса, у  $65^{\circ}\text{C}$  да, жунли газламадан бўлса  $80—90^{\circ}\text{C}$  гача ишлайди. Енгли филтърларда майда дисперс газ аралашмаларининг тозаланиш температураси  $60—70^{\circ}\text{C}$  га тенг.

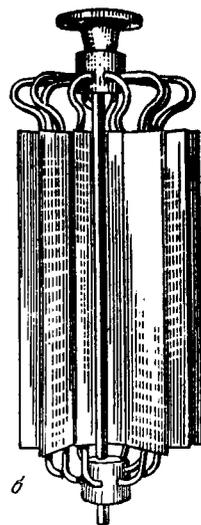
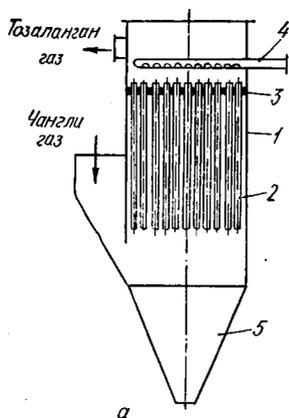
Қамчилиги: енглр тез ишдан чиқади ва тешиклари беркилиб қолади; юқори температурадаги ва нам газларни тозалаш мумкин эмас. Юқори температурали (қизиган) газларни тозалаш учун филтърнинг енглари жунли газламаларга капрон толаларидан қўшиб тайёрланади. Бундан ташқари, филтър енглари сифатида шиша толали газламалар ҳам ишлатилади.

Юқори температурадаги чангли газларни тозалаш учун ғоваксимон патронлари металлокерамикадан тайёрланган филтърлар ишлатилади.

3.18- расмда металлокерамик материалдан тайёрланган филтърловчи элементлар (патронлар) трубали тўсиққа маҳкамланган. Чангли газ филтърловчи элементлардан ўтиб, тозаланган газ аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади. Чанглр филтърловчи элементларнинг устки юзасида ва тешикларида ушланиб қолади. Филтърловчи элементларнинг ғоваклари тўлиб қолгандан кейин улар сиқилган ҳаво ёрдамида ёки тозаланган газ билан пуфлаб регенерация қилиниб, яна қайтадан тозалаш цикли давом эттирилади.

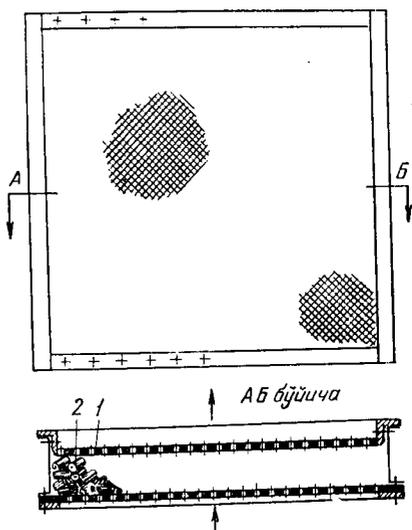
3.18- расм. Фоваксимон металл-керамикадан тайёрланган патронли филтър:

а — филтър; б) ташқи кўрinishи; 1 — корпус; 2 — филтър элементлари; 3 — трубаги тўсиқ; 4 — филтър элементларини қайта тиклаш учун сиқилган ҳаво ёки тоза газ кирувчи штуцер; 5 — чангли газ тушадиган қисм.



Саноатда кўпинча тоза ҳаво олиш учун мойли газ филтърлар қўлланилади. Бу филтърлар бир неча бир хил кассетали ячейкалардан тузилган. Филтърнинг ячейкаси металл қутичадан иборат бўлиб, унинг икки ён томони тўр билан беркитилган (3.19- расм). Қутича металл ҳалқачалар билан тўлдирилади. Ҳалқачаларнинг устки қисмига *висцин* ёғи (машина ёғи глицерин ва каустик соданинг аралашмаси) суртилади. Ячейкалар горизонтал ва вертикал ҳолатда бири-бирига жипслаштирилиб, филтър тўсиқлар ҳосил қилинади. Чангли газ тўр орқали берилганда чанглар ҳалқачаларнинг юзасига ёпишиб, тозаланган газ эса тўр орқали чиқиб кетади. Шунинг учун ҳар бир ячейка чангга тўлгандан кейин, улар ажратиб олинад ва ҳалқачаларни чангдан тозалаб уларга қайтадан *висцин* ёғи суртиб қўйилади. Мойли филтърларда ҳаво 99% гача тозаланади.

Булардан ташқари, ҳавони тозалаш учун королитли газ филтърлар ва сиқилган ҳавони ёғ томчиларидан, газларни синтез қилганда ҳосил бўлган чангларни тозалаш учун эса донадор қатламли филтърлар ишлатилади.



3.19- расм. Мойли филтърнинг ячейкаси:

1 — қутича; 2 — насадка.

### 3.13- §. Сууюқлик билан ювиб газларни тозалаш

Тоза газ олиш учун чангли газларни сув ёки бошқа сууюқликлар билан ювиб уларни чанг заррачаларидан тозаланади. Бу усул айниқса совиган газларни тозалаш учун қулай, чунки газлар совиганда сув буғлари конденсацияланиб, чанглар намланади ва уларнинг оғирлиги ортиб, чанг заррачалари газдан осон ажралади.

Оғирлик кучи (газнинг аппаратда тўғри чизиқли ҳаракати остида), инерция кучи (газ оқими йўналишининг бирдан ўзгариши натижасида) ва марказдан қочма куч таъсирида (газнинг аппаратга тангенциал йўналиши билан киришида) намли газларни тозалаш қийин, шунинг учун намли газларни тозалашда намлаш аппаратлари ишлатилади. Майда дисперс газ аралашмаларидаги заррачаларни ажратиш учун сув ёки бошқа сууюқлик ишлатилади. Бу процесслар бўш ёки насадкали скрубберларда олиб борилади. Скрубберлар цилиндрсимон ва тўғри тўртбурчакли колонналар кўринишида бўлади. Скрубберларда газ аралашмаси 0,8 ... 1,5 м/с тезликда, аппаратнинг пастки қисмидан юқорига қараб ҳаракат қилади. Скруббернинг юқориги қисмидан форсунка орқали сочилиб берилган сув аппаратнинг баландлиги бўйича девор юзаси бўйлаб ҳаракат қилиб, газ аралашмаларидаги заррачаларни ювиб пастга олиб тушади. Тозаланган газ эса аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади (3.20- расм).

Тозалаш процессининг интенсивлиги ва тезлигини ошириш учун насадкали скрубберлар кўп ишлатилади. Насадкалар газ фазаси билан сууюқлик фазалари орасидаги контакт юзасини оширади.

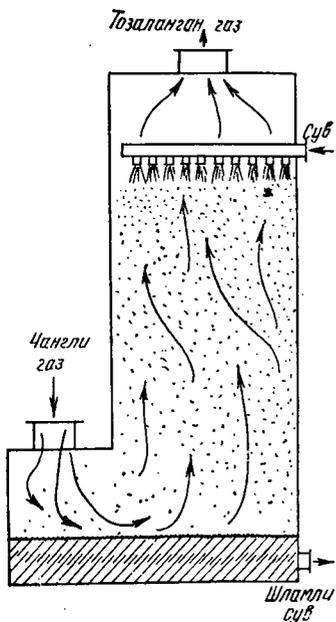
Насадкали скрубберларда корпуснинг ичига насадкалар тартибли ва тартибсиз жойлаштирилади (3.21- расм). Кўпинча кокс, кварц ва ҳалқасимон насадкалар ишлатилади.

Оддий скрубберларда газ аралашмасининг тозаланиш даражаси 60 ... 75% бўлса, насадкали скрубберларда 70 ... 85% бўлади. Бу аппаратларда тозалаш учун жуда ҳам кўп сууюқлик сарфланади.

**Марказдан қочма скрубберлар.** Газ аралашмаси тангенциал йўналишда аппарат корпусининг цилиндр қисмига кириб, марказдан қочма куч таъсирида айланма ҳаракат қилади. Корпус девори юзасидан сопло орқали берилган сув доим юпқа плёнкага ўхшаб оқиб туради. Газ оқимидаги винтсимон айланма ҳаракат қиладиган қаттиқ заррачалар марказдан қочма куч таъсирида скруббернинг деворларига урилиб, плёнка ҳолида оқаётган сув билан ювилиб тушиб кетади. Тозаланган ва совитилган газ аппаратнинг баландлиги бўйича юқорига кўтарилиб, патрубкка орқали чиқиб кетади (3.22- расм).

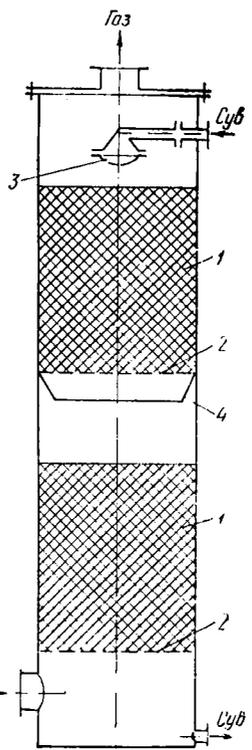
Марказдан қочма скрубберларда оддий ва насадкали скрубберларга нисбатан газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси юқори бўлиб, ўлчамлари 5—30 мкм заррачалар учун бу кўрсаткич 95% гача ва заррачаларнинг ўлчами 2—5 мкм бўлганда 85 ... 90% га тенг бўлади.

**Шарсимон чанг тозолагич.** Бу аппарат шар шаклида бўлиб, тозаланиши керак бўлган газ аралашмалари аппаратнинг юзаси бўйича бир хил тақсимланади. Аппарат шарсимон шаклда бўлгани учун унинг асосий элементлари аппарат юзаси бўйлаб ихчам ва қулай



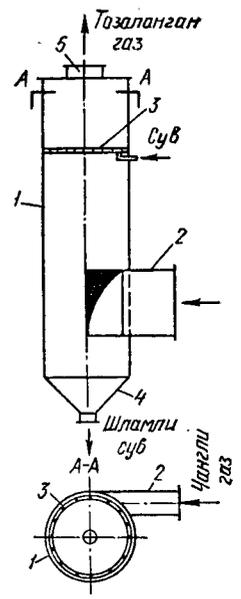
3.20- рasm. Скрubber:

1 — корпус; 2 — сувни сочиб берувчи форсункалар; 3 — тозаланган газ чиқиб кетадиган штуцер; 4 — чангли газ кирадиган штуцер; 5 — сув ва газ аралашмаларидаги заррачалар чиқиб кетадиган штуцер.



3.21- рasm. Насадкали скруббер:

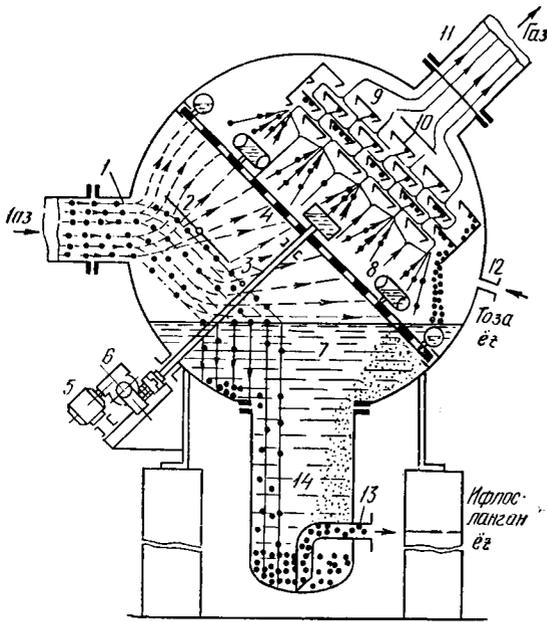
1 — насадка; 2 — тўсиқ; 3 — сочиб берувчи қурилма; 4 — йўналтирувчи конус.



3.22- рasm. Марказдан қочма скруббер:

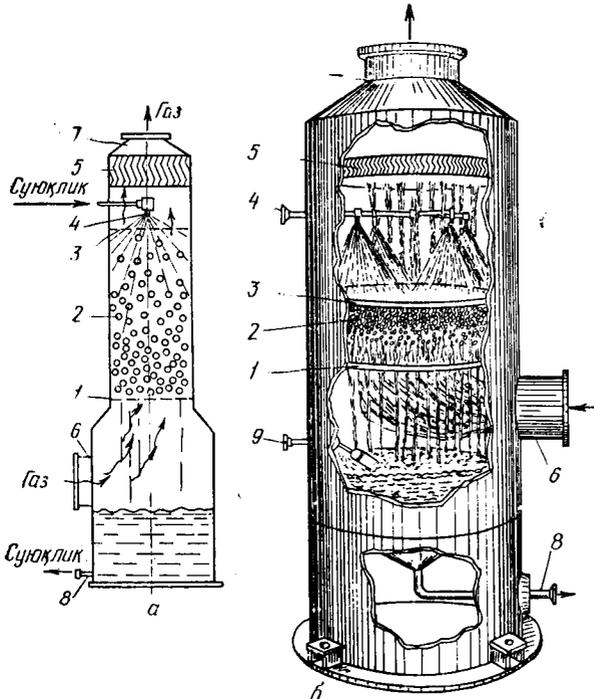
1 — цилиндрсимон корпус; 2 — тангенциал йўналишда газ кирадиган штуцер; 3 — сув тақсимлагич; 4 — сув ва шлам чиқариладиган аппаратнинг пастки конус қисми; 5 — тозаланган газ чиқиб кетувчи штуцер.

жойлашган. Таркибида майда дисперс қаттиқ заррачалар бўлган чангли газ оқими штуцер орқали чанг туткичга кириб, тўсиққа урилади ва натижада бир вақтнинг ўзида тезлиги камайиб, ўз ҳаракат йўналишини ўзгартиради. Бу вақтда чангли газ оқимидаги катта заррачалар пастга қараб ҳаракат қилиб, чанг туткичнинг ёғ билан тўлдирилган ваннасига тушади. Қисман тозаланган газ оқими аппаратнинг бўш юзаси бўйича бир хил тақсимланиб, айланма ҳаракат қилувчи тўрли дискка тушади. Диск редуктор орқали электр двигатель ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Дискнинг юқориги юза қисмига периметр бўйлаб жойлашган ковшлар орқали ёғ пурқаб турилади. Устки юзаси ёғ билан қопланган тўрли дискнинг тез айланиши натижасида газ оқимидаги ҳамма майда дисперс қаттиқ заррачалар ёғли юзада ушланиб қолади. Ушланиб қолган заррачалар дискдан ажратиб олиниб, устки юзасига яна ковшлар ёрдамида ёғ сочилиб берилади (3.23-рasm). Диск айланиши натижасида ёғнинг бир қисми ваннага тушиб, уни тўлдиради. Говаксимон дискдан ўтган тозаланаётган газ томчи



3.23- расм. Шарсимон чанг ушлагич:

1 — чангли газ кировчи штуцер; 2 — тўсиқ; 3 — вал; 4 — говаксимон диск; 5 — электр двигатель; 6 — редуктор; 7 — ёғ тўлдирилган ванна; 8 — ёғ солиб берувчи ковшлар; 9 — томчи ажраткич; 10 — чанг ушлагич; 11 — тоза газ чиқувчи штуцер; 12 — тоза газ ва ёғ кировчи штуцер; 13 — ифлосланган ёғ ва чуқма чиқиб кетувчи штуцер; 14 — ифлосланган чиқиндилар йиғиладиган қисм.



3.24- расм. Қайновчи қатламли насадкали скруббер:

а) шар насадкали скруббер; б) унинг ташқи кўриниши; 1 — таянч тарелка; 2 — шартли насадка; 3 — ажратувчи тарелка; 4 — суюқлик тақсимлагич; 5 — томчи ушлагич; 6, 7 — чангли ва тоза газ кирадиган ва чиқадиган штуцерлар; 8 — ифлосланган суюқлик чиқадиган штуцер; 9 — скруббернинг пастки суюқлигини бир хил баландликда ушлаб туриш учун қалқович туширилган стержень.

туткичга урилиб, унда ўз таркибига аралашган сув ва ёғ томчиларидан ажралиб, тозаланган газ штуцер орқали чанг туткичдан чиқиб кетади. Махсус қурилма орқали газлар томчи туткичларга бир хил тақсимланади. Томчи туткичада ушланган сув ва ёғ томчилари ёғ ванна-насига тушади. Процесс давомида ваннага тушган ҳамма қаттиқ заррачалар пастдаги махсус идишга йиғилиб, штуцер орқали ифлосланган ёғ билан вақт-вақти билан чиқарилиб турилади. Ваннадаги ёғнинг миқдори бир хил бўлиши учун ҳар доим штуцер орқали янги ёғ қуйиб турилади. Бу аппаратнинг афзалликлари; тайёрлаш учун кам металл сарфланади, аппарат зангламайди, ишлатиладиган ёғнинг миқдори оддий ва насадкали скруббердаги сувга нисбатан анча кам. Ҳозирги вақтда химия ва озиқ-овқат саноатида газ аралашмаларини тозалаш учун юқори унумдорли қайновчи қатламли насадкали скрубберлар кенг ишлатилмоқда (3.24- расм).

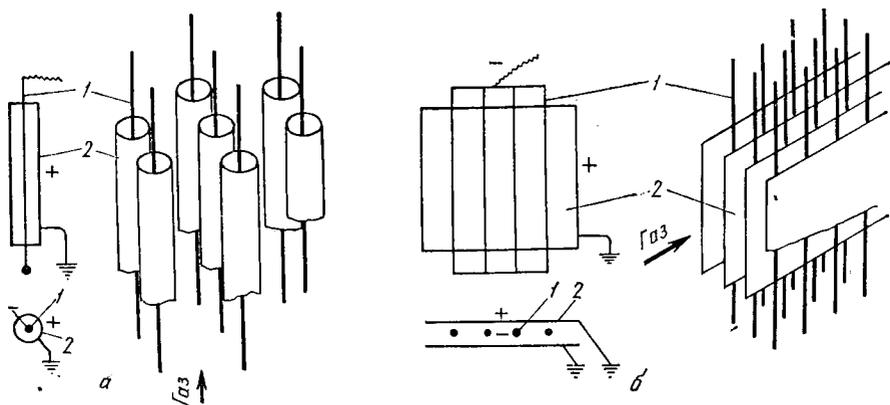
Қайновчи қатламли насадкали скрубберларда кўпинча паст унумли ва қимматбаҳо шар шаклидаги насадкалар ишлатилади.

Тошкент политехника институтининг «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасида қайновчи қатламли насадкали скрубберлар учун насадкаларнинг аэродинамик хусусиятларидан фойдаланиб, юқори унумли насадкалар турини танлаш усули ишлаб чиқилди. Танланган насадканинг турли хиллари — кублар, ҳалқа-чалар, ҳар хил қаршилиқ коэффицентига эга бўлган шарлар ишлаб чиқаришга жорий қилинди ва натижада аппаратнинг самарадорлиги 2 марта ортди.

### 3.14- §. Электр майдон таъсирида чўктириш

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдон таъсирида чўктириш бошқа чўктириш усулларига қараганда кўп афзалликларга эга. Чўктириш аппаратлари — циклонларда, англи фильтрларда, скрубберларда оғирлик кучи ва марказдан қочма кучлар таъсирида майда заррачаларни чўктириш мумкин эмас.

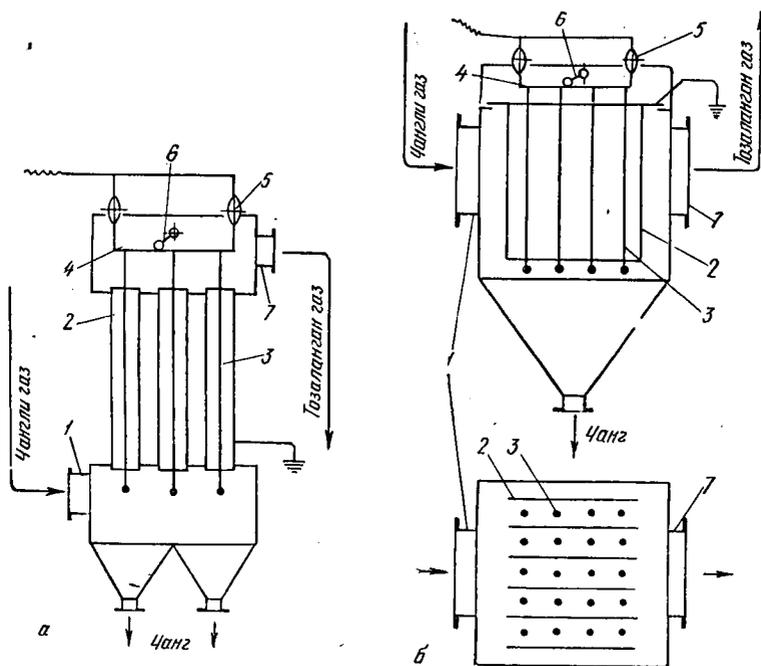
Таркибида қаттиқ заррачалари бўлган газ оқими юқори кучлианишли электр майдондан ўтганда ионизация ҳодисасига учрайди, яъни унинг молекулалари мусбат ва манфий зарядланган заррачаларга ажралади. Бунда бутунлай ионлашган газ қатлами чўғланиб, нур ва чарсиллаган овоз чиқаради. Бу сим нурланувчи электрод деб аталади. Манфий зарядланган чангнинг электронлари нурланувчи электроддан мусбат зарядланган чўктириш электродларига томон ҳаракат қилганда ўз йўлида қаттиқ заррачаларга учрайди ва уларни зарядлайди. Зарядланган заррачалар чўктириш электродига яқинлашганда ўзининг зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади. Бу чўктириш процесси электрофильтрларда олиб борилади. Электрофильтрларда нурланувчи электродлар ҳам доим ток манбаининг манфий қутбига, чўктириш электродлари эса мусбат қутбига уланади. Чўктириш ҳамда нурланувчи электродлар ва уларнинг электрофильтрда жойлашиш тартиби 3.25- расмда кўрсатилган. Чўктириш электродининг тайёрланишига қараб трубали ва пластинали электрофильтрлар бўлади. Электрофильтрлар ўзгармас токда ишлайди, чунки ток



3.25- расм. Электрофилтрларда электродларнинг жойлашиши ва шакли:  
 а) трубапи; б) пластинапи; 1 — нурланувчи электрод; 2 — чўктирувчи электрод.

ўзгарувчи бўлганда зарядланган заррачалар ўз ҳаракат йўналишини ўзгартириб чўктириш электродларида чўкишга улгуролмай, газ билан электрофилтрдан чиқиб кетиши мумкин. Электр чўктириш аппаратлари юқори кучланишли (90 минг вольтгача) ўзгармас ток билан таъминланади. Ўзгармас ток кучланиши 220—500 В бўлган ўзгарувчан токдан кучайтирувчи трансформатор ва тўғрилагич ёрдамида олинади. Ўзгармас токни олиш ва труба типидagi электр чўктириш аппаратининг схемаси 3.26- расмда кўрсатилган. Трубаларнинг диаметри 150—300 мм бўлиб, уларнинг ўртасидан 2 мм ли симлар тортилган, улар нурланувчи электрод вазифасини бажаради. Тозаланиши керак бўлган газ аппаратнинг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг ичидан пастдан юқорига қараб ҳаракат қилади ва тозалангандан сўнг юқоридан чиқиб кетади. Манфий электродлар (яъни симлар) умумий рамага осилган бўлиб, рамалар эса изоляторларнинг устига ўрнатилган. Электродларга ўтириб қолган чанглар махсус механизмлар ёрдамида тебрантирилиб, аппаратнинг пастки конус қисмига туширилади. Электр чўктириш аппаратларининг конструкциялари содда бўлса ҳам, бироқ бу аппаратда олиб бориладиган процесслар анча мураккаб ҳисобланади. Шу сабабли электр чўктириш аппаратларини умумий ҳисоблаш усули ишлаб чиқилмаган. Ҳисоблаш пайтида тажрибадан олинган маълумотлардан фойдаланилади. Масалан, труба типидagi аппаратлар учун ток кучи  $J = 0,3 \dots 0,5 \text{ mA/m}$ , пластинапи аппаратлар учун  $J = 0,1 \dots 0,3 \text{ mA/m}$  олинади; майдон кучланганлиги 450 кВ/м, иш кучланиши 35—70 кВт (киловатт), труба типидagi аппаратлар учун газнинг тезлиги  $\omega = 0,8 \dots 1,5 \text{ м/с}$ , пластинапи аппаратлар учун  $\omega = 0,5 \dots 10 \text{ м/с}$  олинади.

Электр чўктириш аппаратининг ишлаш принципи чангли газларнинг хусусияти, таркиби ва температурасига боғлиқ. Температура ва ҳавонинг молекуляр оғирлиги ортиши билан системадан ўтаётган токнинг миқдори кўпайиб боради. Чанг заррачаларининг катталиги камайиши билан аппаратнинг фойдали иш коэффициентини камаяди.



3.26- расм. Трубалы электрофильтр: а) трубалы, б) пластиналы.

1,7 — чангли ва тоза газ кирадиган, чиқадиган штуцерлар; 2 — трубасимон чўктирувчи электродлар; 3 — нурланувчи электродлар; 4 — рама; 5 — изоляторлар; 6 — силкитувчи қурилма.

Электр чўктириш аппаратларининг фойдали иш коэффициенти 90 ... 99% га ва гидравлик қаршилиги жуда кам бўлиб, 10 ... 15 мм сув устунига тенг. Шунинг учун электр чўктириш аппаратлари энг юқори самарали аппарат ҳисобланади ва катта ҳажмдаги чангли газларни ажратиш учун қўлланилади. Бунда 1000 м<sup>3</sup> чангли газни тозалаш учун жуда кам электр энергияси сарфланиб, унинг миқдори 0,8 В га тенг.

Электр чўктириш аппаратлари электродларнинг ўрнатилишига қараб горизонтал ва вертикал ҳолда бўлади. Худди шунингдек, чангли газларнинг тозаланишига қараб қуруқ ва нам аппаратлар бўлиши мумкин.

## 4- боб. СУЮҚЛИҚ ВА ГАЗЛАРНИ УЗАТИШ

### А. СУЮҚЛИКЛАРНИ УЗАТИШ

#### 4.1- §. Умумий тушунча

Химия саноатининг барча тармоқларида суюқликлар горизонтал ва вертикал трубалар орқали узатилади. Сув, нефть, бензин, керосин, мойлар ва бошқа суюқликларни узатиш учун мўлжалланган машина-

лар (қурилмалар) *насослар* дейилади. Трубаларнинг бошланғич ва охириги нуқталаридаги босимлар фарқи трубалардан суюқликнинг оқиши учун ҳаракатлантирувчи куч ҳисобланади. Суюқлик оқимининг трубалардаги ҳаракатлантирувчи кучи гидравлик машиналар ёки насослар орқали ҳосил қилинади. Насос электр двигателдан механик энергия олиб, уни суюқликнинг ҳаракатланаётган оқим энергиясига айлантириб, босимни оширади.

Насослар халқ хўжалигининг барча соҳаларида: машинасозликда, металлургияда, химия саноатида, ер ишларини гидромеханизациялаштиришда ва кўпчилик бошқа тармоқларда кенг қўлланилади.

#### 4.2- §. Насосларнинг турлари ва асосий параметрлари

Насослар асосан икки турга: динамик ва ҳажмий насосларга бўлинади.

Динамик насосларда суюқлик ташқи куч таъсирида ҳаракатга келтирилади. Насос ичидаги суюқлик насосга кириш ва ундан чиқиш трубалари билан узлуксиз боғланган бўлади. Суюқликка таъсир қиладиган кучнинг турига кўра, динамик насослар парракли ва ишқаланиш кучи ёрдамида ишлайдиган насосларга бўлинади.

Парракли насослар ўз навбатида марказдан қочма ва пропеллерли (ўқли) насосларга бўлинади. Марказдан қочма насосларда суюқлик иш ғилдиракларнинг марказидан унинг четига қараб ҳаракат қилса, пропеллерли насосларда эса суюқлик ғилдиракнинг ўқи йўналишида ҳаракат қилади.

Ишқаланиш кучига асосланган насослар икки хил (уюрмавий ва оқимли) бўлади. Уюрмавий ва оқимли насосларда суюқлик асосан ишқаланиш кучи таъсирида ҳаракатга келади.

Ҳажмий насосларнинг ишлаш принципи суюқликнинг маълум бир ҳажмини ёпиқ камерадан итариб чиқаришга асосланган. Ҳажмий насослар жумласига поршенли, плунжерли, диафрагмали, шестерняли, пластинали ва винтсимон насослар киради.

Саноатда суюқликларни сиқилган газ (ёки ҳаво) ёрдамида узатиш учун *газлифтлар* ва *монтежюлар* ҳам ишлатилади.

#### Насоснинг асосий параметрлари

Насослардан фойдаланиш иш унумдорлиги, напор ва қувват каби катталиклар билан белгиланади.

Насоснинг вақт бирлиги ичида узатиб берадиган суюқлик миқдори иш унумдорлиги (ёки сарфи) дейилади ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с).

Насоснинг масса бирлигига эга бўлган суюқликка берган солиштирма энергияси *напор* деб юритилади ( $H$ , м). Насоснинг напори оқимнинг насосга кириш ва чиқишдаги солиштирма энергиялари айирмасига тенг.

Суюқликка энергия бериш учун сарфланган насоснинг фойдали қуввати  $N_{\phi}$  суюқлик сарфи миқдори  $\gamma \cdot Q$  нинг солиштирма энергияга кўпайтирилганига тенг:

$$N_{\phi} = \gamma QH = \rho gQH. \quad (4.1)$$

Насоснинг ўқидаги қуввати фойдали қувватдан каттароқ бўлади, чунки насосда энергиянинг бир қисми йўқолади. Энергиянинг йўқолиши насоснинг фойдали иш коэффициентини (ФИК)  $\eta_n$  билан белгиланади. Демак, насоснинг ўқидаги қувват қўйидаги тенглама билан топилади:

$$N_e = \frac{N_{\phi}}{\eta_n} = \frac{\rho gQH}{\eta_n}. \quad (4.2)$$

Фойдали иш коэффициентини  $\eta_n$  насосдаги қувватнинг нисбий йўқолишини, насоснинг мукамаллигини ва уни ишлатишнинг арзонлигини ифодалайди ҳамда қўйидаги кўпайтма орқали топилади:

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m, \quad (4.3)$$

бу ерда  $\eta_v$  — ҳажмий ФИК;  $\eta_r$  — гидравлик ФИК;  $\eta_m$  — механик ФИК.

Ҳажмий ФИК насоснинг ҳақиқий иш унумдорлигининг назарий иш унумдорлигига нисбатига тенг бўлиб, насос конструкциясининг зич бўлмаган жойларидан сизиб чиққан суюқликнинг миқдорини белгилайди.

Гидравлик ФИК суюқликнинг насосдан ўтишида гидравлик ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун сарф бўлган напорнинг йўқолишини ифодалайди.

Механик ФИК насос механизмларидаги ишқаланишни енгишга сарфланган қувватнинг йўқолишини белгилайди.

Двигатель истеъмол қиладиган қувват (ёки двигателнинг номинал қуввати) насос ўқидаги қувватдан ортиқроқ бўлади, чунки қувватнинг бир қисми электр двигателнинг ўқида ва электр двигателдан механик энергия насосга берилаётганда сарф бўлади, яъни:

$$N_{гв} = \frac{N_e}{\eta_y \cdot \eta_{гв}} = \frac{N_{\phi}}{\eta_n \cdot \eta_y \cdot \eta_{дв}}. \quad (4.4)$$

Кўпайтма  $\eta_n \eta_y \eta_{дв}$  насос қурилмасининг тўла ФИК деб юритилади ва  $\eta$  билан белгиланади.

Насос қурилмаларини ўрнатиш учун зарур бўлган қувват қўйидагига тенг:

$$N_n = \beta N_{дв}; \quad (4.4a)$$

бу ерда  $\beta$  — қувватнинг запас коэффициентини, бу коэффициентнинг қиймати двигателнинг номинал қувватига нисбатан топилади (4.1- жадвал),

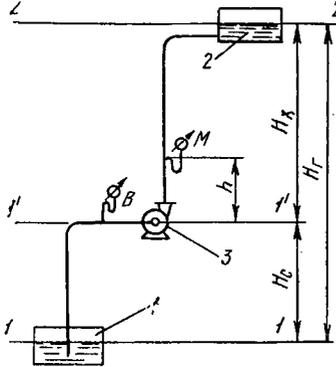
4.1- жадвал

$N_{гв}$ кВт	1 дан кам	1—5	5—50	50 дан кўп
$\beta$	2—1,5	1,5—1,2	1,2—1,15	1,1

#### 4.3- §. Насосларнинг умумий напори ва сўриш баландлиги

Суюқликни пастки идишдан (4.1- расм) сўриш ва ҳайдаш трубалари орқали ҳайдаш учун двигатель насосга зарур энергия бериши, яъни насос босими (напор) ҳосил қилиши лозим.

Насоснинг умумий напорини 4.1- расмдаги насос қурилмасидан аниқлаш учун сўриш ва ҳайдаш трубалари учун Бернулли тенгламасининг ўзгаришидан фойдаланамиз. Бунинг учун сўриш ва ҳайдаш вақтидаги параметрларнинг ўзгаришини қуйидаги тартибда аниқлаймиз:



$p_1$  — суюқлик сўриб олинаётган идишдаги босим;  $p$  — юқорида жойлашган идишдаги босим;  $p_c, p_x$  — суюқликнинг насосга киришидаги ва чиқишидаги босими;  $H_c$  — сўриш баландлиги;  $H_x$  — ҳайдаш баландлиги;  $H_g$  — суюқликнинг геометрик кўтарилиш баландлиги;  $h$  — вакуумметр ва манометр ўрнатилган нуқталар орасидаги вертикал масофа.

4.1- расм. Насоснинг умумий напорини аниқлаш:

1 — пастки суюқлик узатиладиган резервуар; 2 — босим баки; 3 — насос; M — манометр; B — вакуумметр

Насоснинг напорини аниқлаш учун пастки идишдаги суюқлик баландлигининг текислигига нисбатан сўриш вақтидаги 1—1 ва 1'—1' кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = H_c + \frac{\omega_c}{2g} + \frac{p}{\rho g} + h_c. \quad (4.5)$$

Худди шунингдек, насос ўқидан ўтувчи текисликка нисбатан ҳайдаш вақтидаги 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{p_x}{\rho g} + \frac{\omega_x^2}{2g} = H_x + \frac{\omega_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_x; \quad (4.6)$$

бу тенгламаларда:  $\omega_1, \omega_2$  — пастки ва юқори идишлардаги суюқликнинг тезлиги;  $\omega_c, \omega_x$  — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги суюқлик тезлиги;  $h_c, h_x$  — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган напор миқдори.

Сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқори идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлиб, у нолга тенг ( $\omega_1 = 0; \omega_2 = 0$ ).

Насоснинг напори оқимнинг насосга кириш ва чиқишдаги солиштирма энергиялари айирмасига тенг:

$$H = \frac{p_c - p_x}{\rho g} \quad (4.7)$$

(4.5) ва (4.6) тенгламалардан айирмалар фарқини аниқласак:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{\omega_c^2 - \omega_x^2}{2g} + H_c + H_x + h_c + h_x. \quad (4.8)$$

Бунда  $\omega_c = \omega_x$ , чунки ҳайдаш ва сўриш трубаларининг диаметри бир хил.  $h_y = h_c + h_x$  трубанинг умумий гидравлик қаршилиги. Бундан ташқари, 4.1- расмдан:  $H_c + H_x = H_r$ . Бу ҳолда (4.8) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = H_r + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + h_y. \quad (4.9)$$

Демак, насоснинг умумий напори суюқликни геометрик баландлик  $H_r$  га кўтариш учун, пастки ва юқориги идишлардаги босимлар орасидаги фарқни ҳамда сўриш ва узатиш трубаларидаги гидравлик қаршиликни енгшиш учун сарфланади.

Агар пастки ва юқориги идишлардаги босим ўзаро тенг бўлса, у ҳолда насоснинг умумий напори:

$$H = H_r + h_y. \quad (4.10)$$

Суюқлик горизонтал трубалар орқали узатилса ( $H_r = 0$ ):

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + h_y. \quad (4.11)$$

Худди шунингдек, насоснинг умумий напорини манометр ва вакуумметрнинг кўрсатиши бўйича ҳам аниқлаш мумкин:

$$H = \frac{p_m + p_{\text{вак}}}{\rho g} + h. \quad (4.12)$$

Шундай қилиб, насоснинг умумий напори манометр ва вакуумметрлар (узатилаётган суюқлик устуни метр ҳисобида) кўрсатишларининг йиғиндиси билан бу приборлар уланган нуқталар орасидаги вертикал масофанинг ( $h$ ) йиғиндисига тенг.

**Сўриш баландлиги.** Пастки идишдаги суюқликнинг эркин сиртига (4.1- расм) атмосферга босими  $p_0$  таъсир этади. Суюқлик сўриш трубаши орқали баландликка кўтарилиб, насоснинг иш камерасини тўлдириш учун бу камерада сийракланиш (яъни вакуум) вужудга келтириш керак. Бунда иш камерасига қолдиқ абсолют босим  $p_c < p_0$  таъсир этади. Босимлар фарқи  $p_0 - p_c$  ҳосил бўлганлиги сабабли суюқлик устунининг метрларда ифодаланган напори  $p_0 - p_c / \rho g$  ҳосил бўлади. Бу босимнинг бир қисми суюқликни сўриш трубашида  $H$  баландликка кўтариш учун, қолган қисми эса суюқликнинг трубада  $\omega$  тезлик билан ҳаракатланишига ёки тезлик напорини ҳосил қилиш учун ва сўрилаётган суюқлик йўлида учрайдиган барча қаршиликларни енгшишга сарфланади. У ҳолда:

$$\frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_c}{\rho g} = H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c. \quad (4.13)$$

Узатилаётган суюқликнинг қайнаб кетишини ҳисобга олган ҳолда (у доим сўрилиши учун) сўрилиш трубаларидаги босим шу температурадаги суюқликнинг тўйинган буғ босими  $p_t$  дан юқори бўлиши керак. Бунда насоснинг нормал ишлаши учун тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{p_c}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} - \left( H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{p_t}{\rho g}.$$

$$H_c \leq \frac{p_0}{\rho g} - \left( \frac{p_t}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right). \quad (4.14)$$

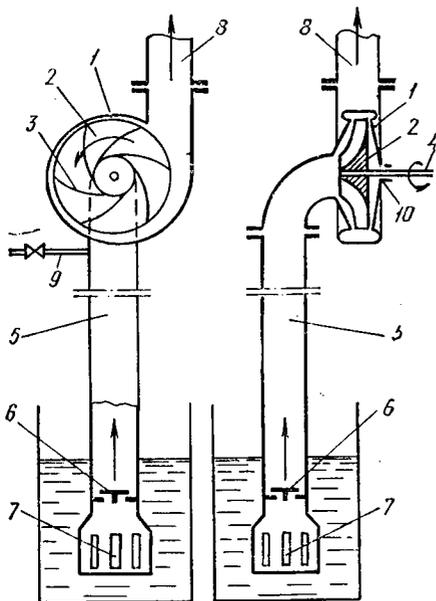
Температура ортиши билан суюқликнинг тўйинган буғ босими ҳам ортиб, у қайнаш температурасида ташқи атмосфера босимига тенглашади, бу вақтда сўриш баландлиги нолга тенг бўлади. Шунинг учун қовушоқлиги юқори ва иссиқ суюқликларни узатаётганда насос қабул қилувчи идишга нисбатан пастроқ ўрнатилиши зарур.

Худди шунингдек, сўриш баландлигини ҳисоблашда гидравлик ва маҳаллий қаршиликларни энгиш учун кетган сарфлардан ташқари, марказдан қочма насосларда кавитация ҳодисаси, поршенли насосларда эса инерцион куч таъсирида бўладиган босим йўқолишлари инобатга олиниши лозим.

#### 4.4- §. Марказдан қочма типдаги насослар

Марказдан қочма насосларда спиралсимон қобиқ ичида парракли иш ғилдирак жойлашган бўлади. Иш ғилдиракнинг айланишида марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида суюқликнинг сўрилиши ва уни ҳайдаш бир меъёردа узлуксиз боради. 4.2- расмда марказдан қочма насос схемаси кўрсатилган.

Насос ишга туширилишидан олдин сўриш трубази, иш ғилдираги ва қобиқ суюқлик билан тўлдирилади. Шундан кейин двигатель ток манбаига уланади: иш ғилдираги ҳаракатга келтирилади. Суюқлик ғилдирак билан бирга айланиб, марказдан қочма куч таъсирида парраклар воситасида ғилдиракнинг марказидан чеккасига отилиб, спиралсимон қўзғалмас камерани тўлдиради ва ҳайдаш трубази орқали баландликка кўтарилади. Бунда иш ғилдирагига кириш олдида сийракланиш вужудга келади. Суюқлик атмосфера босими таъсирида йиғич резервуардан кириш клапани орқали сўриш трубазидан насосга кириб, иш ғилдиракнинг марказий қисмини тўлдиради ҳамда ғилдиракнинг чеккаларига чиқариб ташланади ва ҳоказо. Шундай қилиб, узлуксиз марказдан қочма куч таъсирида



4.2- расм. Марказдан қочма насос:

- 1 — спиралсимон қўзғалмас камера; 2 — иш ғилдираги; 3 — парраклар; 4 — вал; 5 — сўрувчи труба; 6 — кириш клапани; 7 — тўрли филтър; 8 — узатувчи труба; 9 — суюқлик қўйиладиган труба; 10 — сальник.

суyoқликнинг насос орқали ўтадиган уз-  
луксиз оқими вужудга келади.

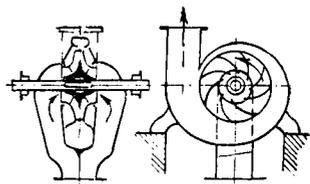
Суyoқлик иш ғилдираги орқали оқиб  
ўтишида двигателнинг механик энергияси  
суyoқлик оқими энергиясига айланади.  
Бунда иш ғилдирагидан чиқиш олдида  
суyoқликнинг босими ортади.

Марказдан қочма насосларнинг унум-  
дорлигини ошириш учун икки ёқлама сўра-  
диган насослар ҳам ишлатилади (4.3- расм).

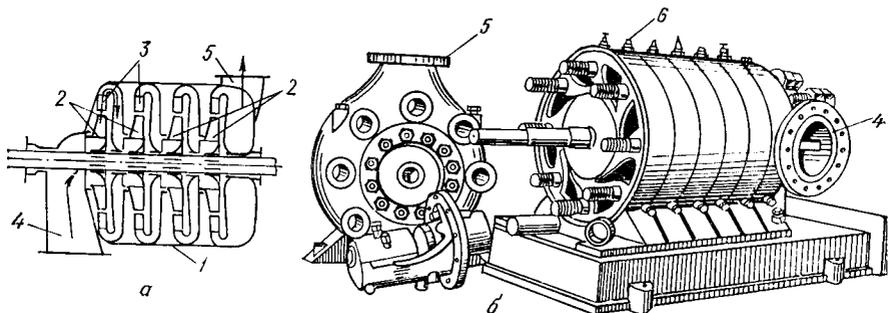
Паррақлар орасидаги каналлардан суyoқлик бир текисда ҳайдаш  
трубасига берилиши ва суyoқлик тезлигини аста-секин камайтириб  
суyoқлик босимини ошириш учун қўзғалмас қобиқ спиралсимон шакл-  
да тайёрланади.

Насоснинг ишлашини текшириб кўриш учун сўриш линиясига  
вакуумметр ва ҳайдаш трубасига эса манометр ўрнатилади. Бундан  
ташқари, насосда узатилаётган суyoқликнинг миқдорини ростлаб  
туриш учун ҳайдаш трубасига кран-вентиль ёки задвижка ўрнати-  
лади.

Ғилдиракларнинг сонига қараб марказдан қочма насослар бир ва  
кўп босқичли бўлади. Кўп босқичли насосларда суyoқлик кетма-кет



4.3- расм. Икки ёқлама сўра-  
диган насос.



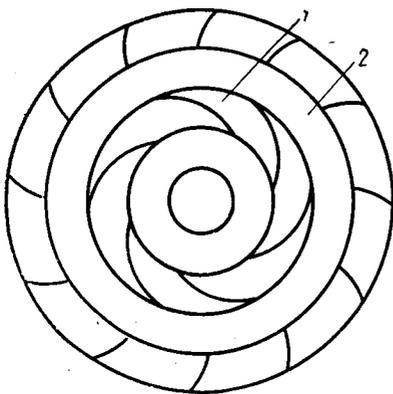
4.4- расм. Кўп босқичли марказдан қочма насос:

а) насоснинг тузилиши; б) унинг ташқи кўриниши; 1 — қобиқ; 2 — иш ғилдираги; 3 — узатиш  
каналлари; 4 — сўрувчи труба; 5 — узатувчи труба; 6 — ҳаво чиқади ган кран.

уланган иш ғилдираклар орқали ўтади (4.4- расм). Бундай ғилди-  
ракларда босим белгиланган миқдоргача аста-секин ортиб боради  
(ғилдираклар сони 5 тагача бўлади).

Насос қисқа муддатга тўхтатилганда, шунингдек, иш ғилдираги  
суyoқлик билан тўлдирилганда, суyoқликнинг тушиб кетмаслиги учун  
сўриш трубасига клапан ўрнатилади.

Марказдан қочма насослар қуйидаги афзалликларга эга: суyoқлик  
вақт ўтиши билан бир меъёрда узатилади, тузилиши содда, ихчам,  
вазни енгил ва ўлчамлари кичкина, ҳамма қисмлари қуйма шаклда  
оддий тайёрланган, унумдорлигини ҳайдаш трубасидаги силжитувчи  
механизм ёрдамида ўзгартириш мумкин, силжитувчи механизм ёпиқ  
бўлганда ҳам ишлайди.



4.5- расм. Диффузор: 1 — иш ғилдираги; 2 — диффузор.

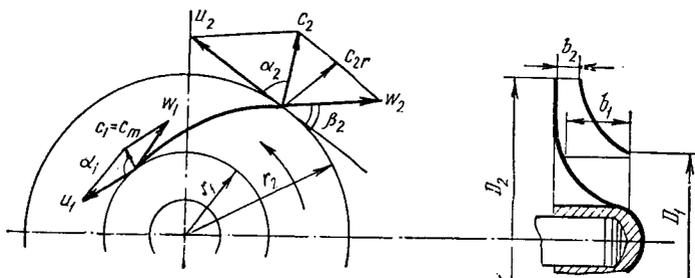
Камчилиги: насосни ишлатиш учун олдидан иш ғилдираklarини суюқлик билан тўлдириш керак, фойдали иш коэффициентини юқори эмас  $\eta = 0,6 \dots 0,7$ ).

Насосларнинг фойдали иш коэффициентини ошириш учун иш ғилдираги билан қобиқ ўртасига диффузорлар ўрнатилади (4.5- расм).

Марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламаси. Насоснинг ишлашини таҳлил қилиш учун суюқликни иш ғилдирагининг икки парраги орасидаги канал бўйлаб ҳаракат қилишини кўрамиз. Насос ишлаганида суюқликнинг ҳар бир заррачалари бир вақтнинг ўзида каналда  $\omega$  нисбий тезликда паррак бўйлаб ҳамда

иш ғилдираги билан биргаликда насос ўқи атрофида  $u$  тезликда айланма ҳаракат қилади. Каналдаги суюқлик заррачаларининг абсолют тезлиги иккала  $\omega$  ва  $u$  тезликларнинг геометрик йиғиндисига тенг.

Механика қонунларига асосан, вақт бирлигидаги ўзгарувчан ҳаракат миқдори системага тенг таъсир қилувчи ташқи кучларнинг



4.6- расм. Марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламасини аниқлаш.

моментиغا тенг. Агар суюқлик массасини  $G$  десак, вақт бирлигида насос ғилдирагидан ўтаётган суюқлик миқдори:

$$G(R_2 c_2 \cos \alpha_2 - R c_1 \cos \alpha_1) = M, \quad (4.15)$$

бу ерда  $R_1$  ва  $R_2$  — ғилдиракнинг ички ва ташқи радиуси (4.6- расм);  $M$  — ғилдиракнинг айланиш momenti.

Айланиш momentiда суюқликнинг сарфи бўлмаса ва ғилдирак айланиш momentининг бурчак частотаси  $\omega$  бўлса, ғилдирак парраklarининг суюқликка берадиган қуввати қуйидагича бўлади:

$$M \omega = Gg H_n, \quad (4.16)$$

бу ерда  $H_n$  — насос ғилдираги ҳосил қиладиган назарий напор.

Шундай қилиб:

$$G \omega = (R_2 c_2 \cos \alpha_2 - R c_1 \cos \alpha_1) = G g H_n \quad (4.17)$$

$\omega R = u_1$  ва  $\omega R_2 = u_2$  бўлгани учун (4.16) тенгламадан назарий напорни аниқласак, у ҳолда:

$$H_n = 1/g (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1). \quad (4.18)$$

Бу тенглик марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламаси бўлиб, назарий напорни аниқлаш учун ишлатилади.

Насосларда напорнинг максимал қийматига эришиш учун иш ғилдираги паррақларга суюқлик радиал йўналишида кирадиган қилиб тайёрланади. Насос ҳосил қиладиган ҳақиқий напор назарий напордан кам бўлади, чунки напорнинг бир қисми гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарф бўлади. Бундан ташқари, суюқликнинг ҳамма заррачалари икки паррақ орасидаги каналда бир хил траектория бўйлаб ҳаракат қилмайди, шунинг учун ғилдиракдаги суюқлик оқимлари учун уларнинг бурчак тезликлари ҳам турлича бўлади.

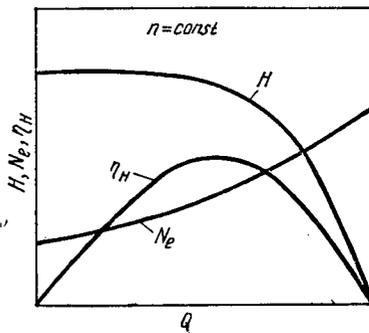
Йўқотилган напорларнинг миқдори гидравлик фойдали ҳаракат коэффициенти  $\eta_r$  ва ҳажмий коэффициент  $\eta_v$  билан ҳисобга олинади. Шундай қилиб, насоснинг ҳақиқий напори қуйидагича аниқланади:

$$H_x = \eta_r \eta_v (u_2 c_2 \cos \alpha_2 / g). \quad (4.19)$$

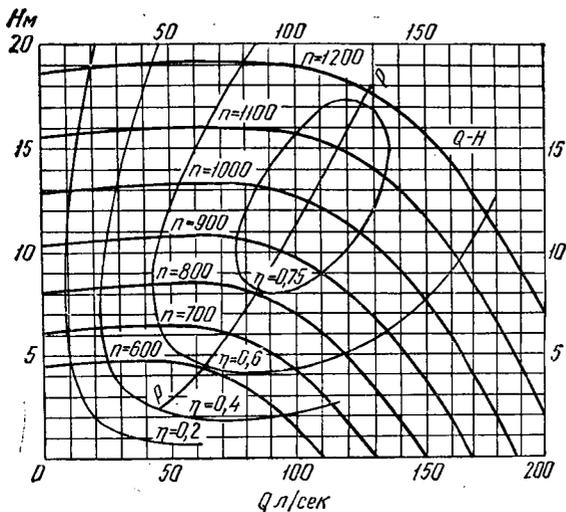
$\eta_r$  нинг қиймати насос конструкцияси, катталиги ва тайёрланиш сифатига боғлиқ бўлиб  $\eta_r = 0,7 \dots 0,9$ ;  $\eta_v = 0,8$ .

#### 4.5- §. Паррақли насосларнинг иш ва умумий характеристикалари. Пропорционаллик қонун

**Насосларнинг характеристикалари.** Иш ғилдиракнинг айланишлар частотаси  $n$  ўзгармас бўлганда насос иш унумдорлиги  $Q$  нинг напор  $H$ , насоснинг ўз қуввати  $N_e$  ва фойдали иш коэффициенти  $\eta_n$  билан график усулдаги боғлиқлиги насосларнинг характеристикалари деб юритилади (4.7- расм). Бундай график боғлиқликлар марказдан қочма насосларни текшириш пайтида олинади. Бунда ҳайдаш линиясидаги зад-вижканинг очилиши ҳар хил қилиб олинади. Бу вақтда насос оладиган минимал қувват насоснинг салт ишлашига (яъни  $Q = 0$ ) мос келади. Бундай шароитда фойдали иш коэффициенти ҳам  $\eta_n = 0$  бўлади, чунки насос суюқликни узатишга онд фойдали иш бажармайди, салт ишлаш қуввати эса насосдаги барча ишқаланишлар (подшипниклардаги ва ўқ зичлагичларидagi ишқаланишлар, насос қобиғини тўлдирувчи суюқликнинг насос паррагига ишқаланиши ва бошқалар) вужудга келадиган механик исрофларни қоплашга сарфланади.



4.7- расм. Паррақли насоснинг иш характеристикаси.



4.8- расм. Пэрракли насоснинг универсал характеристикаси.

Иш унумдорлигини задвижкани очиш билан кўпайтирсак, насоснинг напори камайиб, насос оладиган қувват ортиб боради ва фойдали иш коэффициентини максимал қийматга эга бўлади. Бу ҳол шуни кўрсатадики, айланиш ғилдирагининг тезлиги ўзгармас бўлганда, насоснинг характеристикасидан фойдаланиб энергиядан энг тежамли фойдаланиш режимини топиш мумкин.

Насоснинг турли режимда ишлаш қобилиятини универсал характеристикадан аниқлаш қулай. Иш ғилдиракнинг айланиш сони ҳар хил бўлганда напор, фойдали иш коэффициентини ва иш унумдорлиги ўртасидаги боғлиқлик насоснинг универсал характеристикаси деб аталади (4.8- расм). Универсал характеристика ёрдамида насоснинг фойдали иш коэффициентининг максимал қийматига тўғри келадиган иш режимларининг чегараларини ва энг қулай иш режимини аниқлаш мумкин. Насосларнинг характеристикалари тегишли каталогларда келтирилади.

**Пропорционаллик қонуни.** Ғилдиракнинг айланишлар частотаси ўзгарганда насоснинг иш унумдорлиги, напори ва насос истеъмол қиладиган қувват ўзгаради. Ғилдиракнинг бир минутдаги максимал айланишлар частотаси  $n_1$  дан  $n_2$  га қадар оширилса, насоснинг иш унумдорлиги  $Q_2$  ҳам  $Q_1$  иш унумдорлигига нисбатан пропорционал равишда ортади:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (4.20)$$

Суюқликнинг тегишли  $H_1$  ва  $H_2$  напорлари айланишлар частотасининг квадратлари нисбатига пропорционал:

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2. \quad (4.21)$$

Насос истеъмол қиладиган қувват  $N_1$  суyoқлик сарфи  $Q$  нинг суyoқлик босими  $H$  га кўпайтмасига пропорционал бўлганлиги сабабли, ғилдиракнинг бир минутдаги айланишлар частотаси турлича бўлгандаги насоснинг оладиган қуввати  $N_2$  ва  $N_1$  бир минутдаги айланишлар частотасининг кублари нисбатига пропорционал бўлади:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (4.22)$$

Демак, насос ғилдирагининг айланишлар частотаси ортиши билан унинг иш унумдорлиги биринчи даражада, напори иккинчи даражада, талаб қилинадиган қувват эса учинчи даражада ошади. Аммо амалда пропорционаллик қонуни ғилдирак айланишлар частотасининг икки мартадан кам ўзгарган шароитдагина ўз кучини сақлайди.

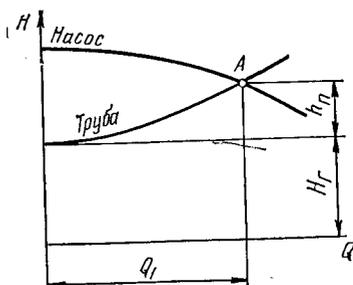
#### 4.6- §. Насосларнинг иш нуқталарини аниқлаш. Кавитация ҳодисаси

Насосни танлашда суyoқлик узатилаётган трубаларнинг ёки система тармоқларининг характеристикалари эътиборга олинади. Трубаларнинг характеристикаси суyoқлик сарфи билан унинг трубаларидаги ҳаракати учун керак бўладиган напор орасидаги боғланишни ифодалайди. Суyoқликни узатиш учун зарур бўлган напор уни сўриш  $H_c$  ва ҳайдаш  $H_x$  баландлигига кўтариш, ҳар хил босимларни енгшиш ( $P_2 - P_1/\rho g$ ) ва трубалардаги гидравлик қаршиликларни ( $kQ^2$ ) енгшиш учун сарфланади. Турбулент оқимдаги напор:

$$\left. \begin{aligned} H &= H_r + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + kQ^2, \\ H_r &= H_c + H_x. \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

Насос ва трубанинг ўзаро боғланиш характеристикаси 4.9- расмда кўрсатилган. Иккала характеристиканинг кесишган нуқтаси  $A$  насоснинг иш нуқтаси дейилади. Бу нуқтада насос шу труба тармоғида энг юқори унумдорликка эга бўлади. Бундан ҳам юқорироқ унумдорликка эришиш учун ғилдиракларнинг айланишлар частотасини кўпайтириш ёки трубадаги гидравлик қаршиликларни камайтириш керак. Бу вақтда насоснинг иш нуқтаси насос характеристикасининг графигида ўнг томонга сурилади. Танланган насоснинг иш нуқтаси талаб қилинадиган унумдорлик ва напорга мос бўлиши зарур.

**Кавитация ҳодисаси.** Насос ғилдирагининг тез айланишида ва иссиқ суyoқликлар марказда қочма насослар ёрдамида узатилганда кавитация ҳодисаси юз беради. Бу вақтда насосдаги суyoқлик тез буғланади. Ҳосил бўлган буғ суyoқлик билан юқори босимли зонага ўтиб тезда конденсацияланади. Натижада насос қобигида катта бўш-



4.9- расм. Насос ва трубанинг ўзаро боғланиш характеристикаси.

лиқ ҳосил бўлади, насос қаттиқ силкинади ва тақиллаб ишлайди. Насос кавитация режимида кўпроқ ишласа у тезда бузилади. Шунинг учун температураси юқори бўлган сууюқликларни узатаётганда бу ҳодиса қўшимча кавитацион коэффициент билан ҳисобга олиниши керак.

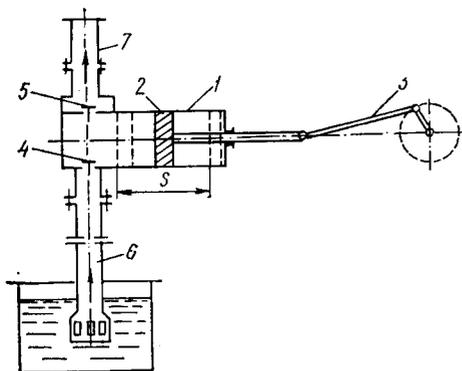
#### 4.7- §. Поршенли насослар

**Поршенли насосларнинг тузилиши ва ишлаш принципи.** Поршенли насосларда сууюқлик ҳайдаш труба­сига илгарилама-қайтма ҳаракат қилувчи механизмлар орқали узатилади. Поршенли насослар воситасида ҳар қандай қовушоқликдаги сууюқликларни узатиш мумкин. Поршенли насослардан оз миқдордаги сууюқликларни юқори босимда узатишда ва сууюқлик сарфи ўзгармас бўлиб, босим кескин ўзгарадиган ҳолларда фойдаланиш қулай. Бу насосларда поршень насос қобиғида горизонтал ва вертикал ҳолатда жойлашган бўлиши мумкин. Ишлаш принци­пига кўра поршенли насослар оддий икки босқичли ва кўп босқичли бўлади.

Поршень сууюқликни фақат олд томони билан сиқиб чиқарадиган насос оддий бир томонлама ишлайдиган насос дейилади.

Агар насос цилиндрида поршеннинг иккала томонида жойлашган иш камераси бўлса ва поршень улардан сууюқликни кетма-кет сиқиб чиқарса, бундай насос икки босқичли ёки икки томонлама ишлайдиган насос дейилади.

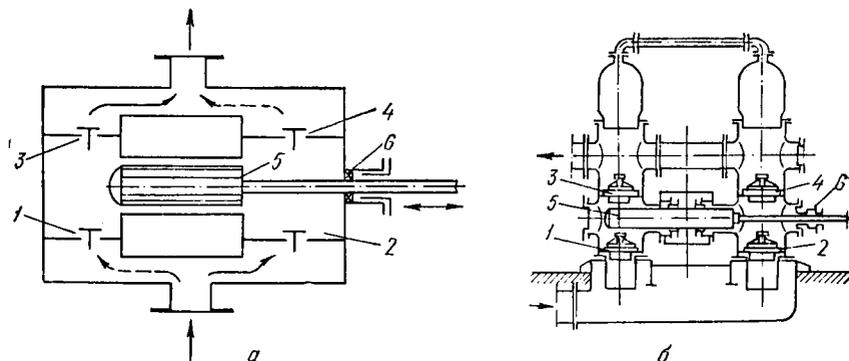
Оддий поршенли насоснинг ишлаш принци­пини кўриб чиқамиз (4.10- расм). Насос поршени сўриш процессида ўнг томонга ҳаракат қилганда иш камерасининг ҳажми катталашади. Ундаги босим эса кама­яди ва атмосфера босимидан кичик бўлиб қолади, яъни камерада сийракланиш ҳосил бўлади. Пастки резервуардаги (насос сууюқликни сўриб оладиган бассейндаги) сууюқликнинг эркин сирти атмосфера



4.10- расм. Оддий горизонтал ҳолатдаги поршенли насос:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — қайтма-илгарилама ҳаракат қилувчи механизм; 4,5 — сўрувчи ва ҳайдовчи клапанлар; 6, 7 — сўрувчи ва узатувчи трубалар.

босими  $p$  таъсирида бўлади. Атмосфера босими билан пасайтирилган босим  $p_c$  орасидаги фарқ таъсирида цилиндрининг иш камерасида сийракланиш вужудга келади ва сууюқлик резервуардан сўриш труба­си бўйлаб цилиндрга кўтарилади ҳамда сўриш клапанини очиб, насоснинг иш камераси бўшлиғини тўлдиради. Поршень ўнг чекка ҳолатни эгаллагач, сууюқлик иш камерасини тўлдиради ва сўриш клапанини беркитади. Поршеннинг чапдан ўнгга томон тескари ҳаракатида (ҳайдаш йўли) поршень цилиндр ва иш камераси бўшлиғини тўлдирувчи сууюқликка босим беради ва уни



4.11- расм. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос:

*a* — насоснинг тузилиши; *b* — ташқи кўриниши. 1, 2 сўрувчи клапанлар; 3, 4 — узатувчи клапанлар; 5 — плунжер; 6 — сальник.

ҳайдаш клапани орқали узатиш трубасига чиқариб беради.

Суyoқликнинг ҳаракат тезлиги ва босимларининг пульсацияланишини тенглаштириш ҳамда суyoқликнинг сўриш ва ҳайдаш трубаларида бир меъёردа текис оқишини таъминлаш учун насосга махсус қурилма (ҳаво қалпоқчалари) ўрнатилади.

4.11-расмда икки томонлама ишлайдиган горизонтал плунжерли насоснинг схемаси кўрсатилган. Бундай насос цилиндрининг иккала томонида тегишлича сўриш ҳамда ҳайдаш клапанлари бўлган иккита мустақил иш камераси бор. Плунжер ўнг томонга қараб ҳаракатланганида суyoқлик клапан орқали чап камерага сўрилади. Бир вақтнинг ўзида плунжер иккинчи ўнг камерада суyoқликни клапан орқали сиқиб чиқаради. Плунжер чап томонга қараб ҳаракатланганида ўнг камерада сўрилиш, чап камерада эса ҳайдалиш процесслари юз беради. Поршень насосларда цилиндр орасидан суyoқлик сизиб чиқмаслиги учун поршеннинг ён сиртига металл ёки резинадан ишланган зичлаш ҳалқалари ўрнатилади: улар цилиндрининг ички деворига зич ёпишиб туради. Демак, кривошип-шатунли механизм бир марта айланганида икки босқичли поршенли насосларда суyoқлик икки марта сўрилади ва икки марта узатилади. Поршенли насосларда суyoқлик навбатма-навбат узатилганлиги сабабли, уларнинг унумдорлиги икки босқичли поршенли насосларда ўзгарувчан бўлади. Бу насосларда оддий насосларга nisбатан суyoқлик бир меъёردа узатилганлиги учун, унумдорликнинг ўзгариши ҳам камроқ бўлади. Шунинг учун бир меъёردаги унумдорлик олиш учун кўп босқичли насослардан фойдаланилади.

Юқори босим ҳосил қилувчи насосларда поршенлар ўрнига цилиндрсимон плунжерлар ишлатилади. Бундай насослар плунжерли насослар дейилади.

**Насоснинг иш унумдорлиги.** Поршеннинг бир марта бориб келиш вақти бирлиги ичида насос узатиб берган суyoқлик миқдори поршенли насоснинг иш унумдорлиги ёки, бошқача айтганда, узатилиши дейилади.

Насоснинг ўртача иш унумдорлиги  $Q$  бир секундда ёки соатда тақсимланган ҳажм бирликларида ( $л/с$ ,  $м^3/с$ ,  $м^3/соат$ ) ўлчанади.

Бир томонлама ишлайдиган поршенли насоснинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$Q = \frac{F \cdot Sn}{60} \eta; \quad (4.24)$$

бу ерда  $F$  — поршеннинг кўндаланг кесим юзаси;  $\eta$  — узатиш коэффициентини;  $S$  — поршень йўли — цилиндрда поршеннинг бирор туриш нуқтасидан иккинчи туриш нуқтасигача силжиш масофаси;  $n$  — кривошип-шатунли механизмнинг бир минутдаги айланишлар частотаси.

Узатиш коэффициентини суюқликнинг насосдан клапанлар ва бошқа зичмас жойлар орқали сизиб чиқишини, шунингдек, камерага ҳайдалаётган суюқлик билан ҳаво ўтиб, унинг тўлдирилишини камайтиришни ҳисобга олади. Икки томонлама ишлайдиган насосларда цилиндрда шток бўлганлиги учун уларнинг ҳажми бир оз камаяди. Насоснинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланилади:

$$Q = \frac{\eta (2F - f) nS}{60}; \quad (4.25)$$

бу ерда  $f$  — штокнинг кўндаланг кесим юзаси.

Поршенли насослар қуйидаги афзалликларга эга: юқори босим остида ишлаши мумкин, фойдали иш коэффициенти юқори, қовушоқлиги юқори бўлган ва тез алангаланувчан суюқликларни узатиш мумкин.

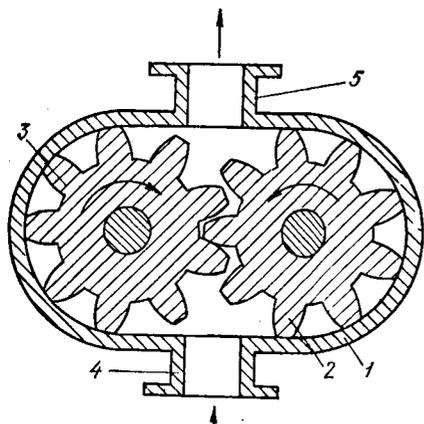
Шу билан бирга поршенли насослар айрим камчиликларга ҳам эга: бир неча клапанларнинг бўлишлиги, унумдорлиги юқори эмас суюқликларни бир меъёردа узатмайди.

#### 4.8- §. Махсус насослар

Ишлаб чиқаришда суюқликларни узатиш учун марказдан қочма ва поршенли насослардан ташқари махсус насослар ҳам ишлатилади. Махсус насослар қовушоқлиги юқори бўлган, жуда ифлосланган, чуқур қудуқдаги суюқликларни узатиш учун қўлланилади. Махсус насослар сифатида роторли (шестерняли, пластинали), винтли, оқимли, пропеллерли газлифт, эрлифтлар ва монтежюлар ишлатилади.

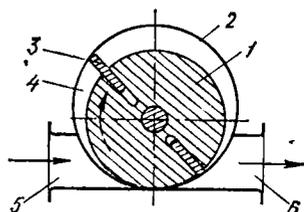
**Роторли насослар.** Қовушоқлиги жуда юқори, ифлосланган ва узатилиши қийин бўлган суюқликларни узатиш учун роторли насослардан фойдаланилади. Бу насосларда суюқлик айланувчи механизмлар ҳаракати воситасида узатилади. Роторли насослар поршенли насослардан клапан ва ҳаво қалпоқчаларининг йўқлиги билан фарқланади.

Роторли насослар ўз навбатида пластинали ва шестерняли насосларга бўлинади. Саноатда кўпинча шестерняли (тишли) насослар ишлатилади. Насос қобиғида ўзаро илашган ҳолатдаги узлуксиз айланиб турувчи шестернялар жуфти жойлашган (4.12- расм). Шестернялар айланганида бир шестернянинг ҳар қайси тиши илашган ҳолатдан чиқиб, иккинчи шестернянинг чуқурчасидаги тегишли ҳажм-



4.12- расм. Шестерняли насос:

1 — қобик; 2, 3 — бир-бирига илашган тишли шестернялар; 4 — сўрувчи патрубк; 5 — ҳайдаш патрубкиси.



4.13- расм. Пластинали насос:

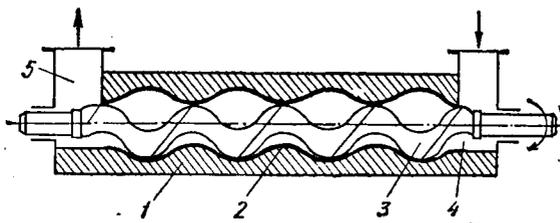
1 — ротор; 2 — корпус; 3 — пластиналар; 4 — бўшлиқ; 5 — сўрувчи патрубк; 6 — узатувчи патрубк.

ни бўшатади. Йиғич резервуаридаги атмосфера босими таъсирида суюқлик бўшаган ҳажм сўрилади. Шестерняларнинг кейинги айланишида тишлар орасидаги суюқлик тишлар билан биргаликда сўриш соҳасидан ҳайдаш соҳасига ўтади.

Шестерняларнинг тишлари яна қайтадан илашган пайтда иккала шестернянинг тишлари орасидаги чуқурчаларни тўлдирган суюқлик сиқиб чиқарилади ва ҳайдаш трубасига ўтади. Шестерняли насослар катта айланишлар частотасида (3000 айл/мин гача) ишлай олади, шунинг учун уларни тез айланадиган двигателнинг валига бевосита улаш мумкин. Улар конструкциясининг соддалиги, ишончли ишлаши, ўлчамларининг кичиклиги ва арзонлиги билан бошқа насослардан ажралиб туради. Шунинг учун шестерняли насослар амалда кенг ишлатилади.

**Пластинали роторли насослар.** Бу насосларнинг ҳам ишлаш принципи поршенли насослар каби иш бўшлиғи ҳажмининг камайишига асосланган. Бу насос катта цилиндрдан иборат бўлиб, унинг кенглиги бўйича эксцентрик равишда ротор жойлашган (4.13- расм). Цилиндрнинг ичидаги корпусга тўғри бурчакли пластиналар ўрнатилган. Роторнинг айланиши натижасида бу пластиналар марказдан қочма куч таъсирида цилиндрнинг ички юзасига маҳкам зичланиб, ўроқсимон иш бўшлиғини корпус ва ротор орасидаги камераларга ажратиб туради.

Пластиналар сўрувчи патрубкadan насоснинг вертикал ўқиға томон ҳаракатланганда ҳар бир камеранинг ҳажми кенгайди, натижада камерада сийракланиш ҳосил бўлиб, сўриш патрубкиси орқали суюқлик сўрилади. Пластиналар вертикал ўқдан ротор йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилганда камераларнинг ҳажми кичиклашади ва суюқлик насосдан сиқиб чиқарилиб, узатиш трубасига берилади. Ротор айланиши натижасида пластиналар вертикал ўққа томон ҳаракатланганда процесс яна такрорланади.



4.14- расм. Винтлы насос:

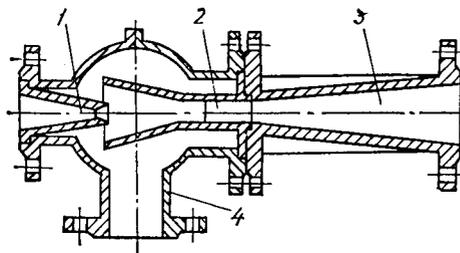
1 — қобік; 2 — цилиндр; 3 —  
винт; 4 — сұриш соҳаси; 5 —  
хайдаш патрубкәси.

Пластинали роторли насослар тоза ҳолдаги, қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.

**Винтлы насослар.** Бу насослар шестерняли насослар сингари ишлайди. Суюқлик сұриш соҳасидан винт ўйиқларининг ўлчамлари ўртасидаги оралиққа киради ва винтларнинг айланиш ўқи йўналиши бўйича ҳайдаш соҳасига ўтади (4.14- расм). Винтлы насос суюқликни бир меъёрда узатади. Насоснинг вали бевосита двигателнинг валига бириктирилади.

Узатилаётган суюқлик миқдорини ошириш учун икки ва уч винтлы насослар ишлатилади. Бу насослар ҳам қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.

**Оқимли насослар.** Оқимли насоснинг ишлаши иш суюқлигининг кинетик энергиясидан фойдаланишга асосланган. Бу суюқлик насос ҳайдаётган суюқлик билан аралашиб, ўзининг кинетик энергиясининг бир қисмини унга беради ва ҳосил бўлган аралашма тармоққа ҳайдалади. Иш суюқлик сифатида буғ ёки сув ишлатилади.



4.15- расм. Оқимчали насос:

1 — сопло; 2 — аралашш камерәси; 3 — диффузор; 4 — сұриш патрубкәси.

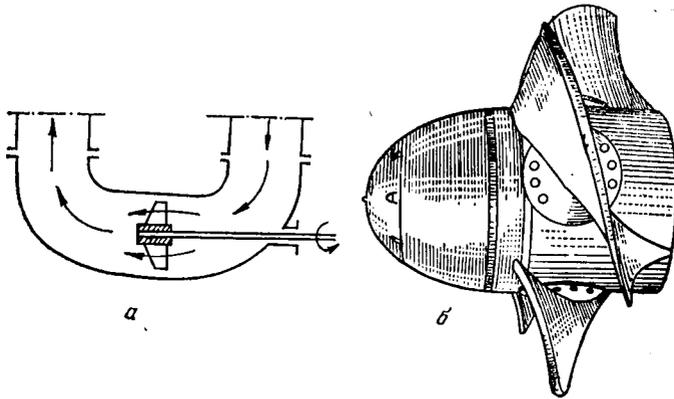
Соплога босими насос ҳосил қиладиган босимдан анча катта бўлган иш суюқлиги берилади (4.15- расм). Иш суюқлиги тора-йиб борувчи соплодан ўтаётганида босимнинг бир қисмини йўқотади ва натижада тезлиги ортади. Соплодан чиқиш олдида иш суюқлигининг оқими атрофида сийраклашган босим вужудга келади, труба орқали ҳайдалаётган суюқлик сұриш

трубәси ёрдамида аралаштиргич камерәсига сўрилади ва иш суюқлиги билан аралашади. Шу йўсинда олинган аралашма диффузорга юборилади. У ерда суюқликнинг тезлиги камаяди, босим ортиб ҳайдаш трубәсига ўтади.

Оқимли насосларнинг конструкцияси содда, уларда ҳаракатланувчи деталларнинг йўқлиги билан бошқа насослардан фарқ қилади.

Оқимли насосларнинг ФИК юқори эмас, улар тез ишдан чиқади, шу сабабли қиммат турадиган насосларни ишлатиш номақбул бўлган жойларда улардан фойдаланилади.

**Пропеллерли насослар.** Бу насослар кам напорли кўп миқдордаги суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Пропеллерли насослар



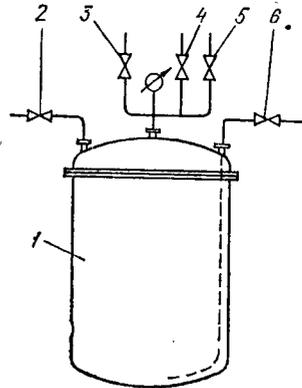
4.16- расм. Пропеллерли насос:  
 а) насос иш ғилдирагининг тузилиши; б) ташқи кўриниши.

кўпинча буғлатиш аппаратларида суюқликларни циркуляция қилиш учун қўлланилади. Бу насосларнинг иш ғилдираклари пропеллер парраклари шаклидаги бир неча винтсимон куракчалардан иборат (4.16- расм). Бу насосларни баъзан ўқли насослар ҳам дейилади, чунки суюқлик иш ғилдирагидаги винтсимон куракчалари билан қамраб олиниб, ғилдирак ўқининг йўналиши бўйлаб айланма ҳаракат қилади.

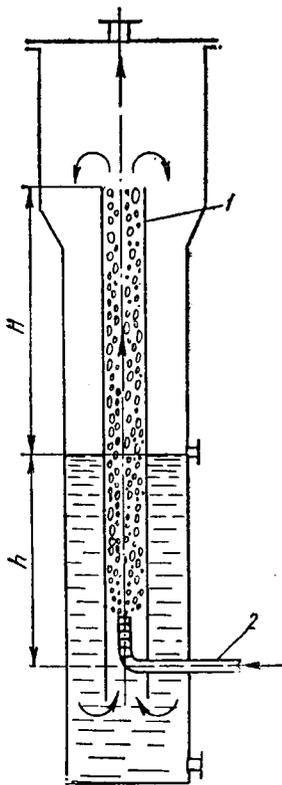
Пропеллерли насослар ҳосил қиладиган босим унчалик катта эмас ва уларнинг сўрилиш баландлиги ҳам кичик (3 метргача), лекин иш унумдорлиги юқори бўлади. Уларнинг тузилиши оддий, ихчам, вазни енгил, ФИК марказдан қочма насосларнинг ФИК ига нисбатан бирмунча юқори. Бундай насослар ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади.

**Монтежю.** Ифлосланган, агрессив ва радиоактив суюқликларни сиқилган ҳаво ёки инерт газларнинг энергияси ёрдамида унча юқори бўлмаган баландликка узатиш учун монтежю ишлатилади. Монтежю горизонтал ёки вертикал цилиндрсимон қопқоқ ёрдамида зич ёпилган бўлиб (4.17- расм), қопқоққа учта патрубкка ўрнатилади. Бу патрубклар ёрдамида монтежюга узатилаётган суюқлик, сиқилган ҳаво берилади. Учинчи патрубкка эса монтежю ичидаги узатувчи труба билан бириктирилади.

Монтежюга суюқлик труба орқали краннинг очиқ ҳолатида атмосфера босими остида берилса, ҳаво крани очиқ бўлиши ке-



4.17.- расм. Монтежю:  
 1 — идиш; 2 — суюқлик кирадиган кран; 3 — сиқилган газ берилладиган кран; 4 — атмосфера билан боғланадиган кран; 5 — вакуум билан боғланувчи кран; 6 — узатиш трубагининг крани.



4.18- расм. Газлифт:

1 — вертикал труба; 2 — сиқилган газ кирувчи сопло.

рак. Агар монтежюга суюқлик вакуум остида берилса, бунда монтежюдаги вакуум кра ни очик бўлиши керак. Монтежю суюқлик билан тўлдирилгандан кейин, суюқлик тушаётган ҳамда ҳаво ва вакуум линиялари билан уланган кранлар беркитилади. Суюқликни узатиш учун монтежюга кран орқали сиқилган ҳаво берилади ва унинг босими манометр орқали кузатиб турилади. Сиқилган ҳаво босими таъсирида суюқлик оралиқ ҳайдаш трубаси орқали юқорига кўтарилиб, очик кран орқали узатилади. Монтежюдаги суюқликни узатиб бўлгандан кейин сиқилган ҳаво берувчи ва узатувчи кранлар беркитилиб, ҳаво крани очилади ва процесс такрорланади.

Агар узатилаётган суюқликнинг буғлари ҳаво билан портловчан, алангаланувчан аралашмалар ҳосил қилса, бунда сиқилган ҳаво ўрнига инерт газлар ишлатилади.

Монтежю кўпинча суюқликларни филтр аппаратларга узатиш учун ишлатилади; чунки суюқликлар бир хил меъёрда ва гидравлик турткисиз узатилади.

Монтежюнинг тузилиши оддий, яшаш осон, ҳаракатланувчи қисмларининг йўқлиги сабабли коррозияга учрамайди, аппарат тез едирилиб ишдан чиқмайди.

**Газлифт.** Газлифт чуқур қудуқлардаги суюқликларни юқорига кўтариш ҳамда химия саноатидаги баъзи процессларда газ билан суюқлик ўзаро таъсир қилганида, уларнинг аралашуви циркуляциясини тезлаштириш учун ишлатилади.

Агар газлифт суюқликни циркуляция қилиш учун ишлатилса, у ҳолда аппаратнинг ичига унинг ўқи бўйлаб икки томони очик бўлган вертикал труба туширилади (4.18- расм). Трубанинг суюқликка ботирилган пастки қисмидан сопло орқали сиқилган газ берилди.

Трубада юқорига узатилиши керак бўлган газ массаси пуфакчалар ҳолида суюқликни ҳам ўзи билан илаштиради. Труба узунлиги бўйича ҳосил бўлган газ — суюқлик эмульсияси оқимлари юқорига қараб кўтарилади. Трубанинг юқориги қисмида газ суюқликдан ажралиб, аппаратдан чиқиб кетади. Суюқлик трубанинг юқориги қисмидан аппаратга қайтиб тушади ва яна газ оқими билан трубада юқорига қараб кўтарилади.

Шу йўсинда бу системада суюқликни керакли миқдоргача циркуляция қилиш мумкин.

Нормал шароитда сарфланган газнинг солиштирма миқдори қуйидагича аниқланади ( $m^3/m^3$  суюқликка);

$$V_c = [H_m(h + 10)] / 10h, \quad (4.26)$$

бу ерда  $h$  — идишга туширилган суюқлик ичидаги вертикал трубанинг баландлиги,  $H_m = H + h_{гк}$ ; бу ерда  $H$  — газ ва суюқлик эмульсияларининг кўтарилиш баландлиги;  $h_{гк}$  — кўтарилиш трубасининг гидравлик қаршилиги.

Газнинг солиштирма сарфланиш миқдори  $3-7 \text{ м}^3/\text{м}^3$  бўлади. Идиш ичидаги суюқликка туширилган вертикал трубанинг баландлиги  $(H + h)$  баландликлари йиғиндисининг улуши билан ёки уларнинг нисбатлари  $h/(H + h)$  билан аниқланади.

Амалда кўпинча бу нисбатларнинг қиймати  $0,3-0,7$  бўлади. Кўтарилиш баландлиги  $H$  қанча юқори бўлса,  $h/(H + h)$  нисбат ҳам катта бўлади.

Газ ва суюқлик аралашмаси кўтарилиш трубасида  $7 \text{ м/с}$  тезлик билан ҳаракат қилади. Кўтарилиш трубасининг максимал баландлиги  $30-35 \text{ м}$ .

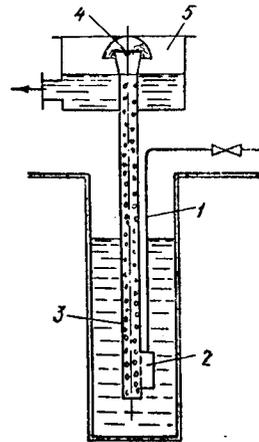
Газлифтнинг ФИК юқори эмас,  $\eta = 0,15 \dots 30$ .

**Эрлифт.** Эрлифтларнинг ишлаши туташ идишларнинг ишлаш принципига асосланган. Эрлифт кўтариш трубасидан, сиқилган ҳаво берувчи труба ва аралаштиргичдан иборат (4.19- расм). Труба орқали берилган сиқилган ҳаво аралаштиргичда суюқлик билан аралашиб, ҳосил бўлган суюқлик ва газ аралашмасининг солиштирма оғирлиги идиш ичидаги суюқликка нисбатан паст бўлгани учун, кўтариш трубасида юқорига қараб кўтарилади.

Суюқлик ва газ аралашмаси кўтариш трубасидан чиқаётганда ажраткичга урилиб, газ ажралиб чиқиб кетади ва суюқлик йиғичга тушади.

Эрлифтлар ҳар хил суюқликларни, шу жумладан, кислота, ишқорларни юқорига кўтариш учун ишлатилади. Эрлифтларнинг тузилиши оддий, ортиқча механизми ва ҳаракатланувчи қисмлари йўқ. Бундан ташқари, эрлифтлар юқори температурада ҳам ишлайверади.

Эрлифтларнинг ФИК кичик ( $\eta = 0,25 \dots 0,35$ ), унумдорлиги ҳам кам, сиқилган ҳаво бериш учун ортиқча компрессор қурилмалари талаб қилинади.



4.19- расм. Эрлифт:

1 — ҳаво ёки газ беиладиган труба; 2 — газ тақсимлагич; 3 — кўтариш трубаси; 4 — томчи ушлагич; 5 — суюқлик йиғиладиган идиш.

## Б. ГАЗЛАРНИ СИҚИШ ВА УЗАТИШ

### 4.9- §. Умумий тушунчалар

Химия саноатида газларни трубалар орқали узатиш ва сийрак-лантириш учун улар сиқилади. Сиқилган газлар суюқликларни аралаштириш, сочиб (пуркаб) бериш учун ва бошқа мақсадларда ишлатилади. Газларни сиқиш ва узатиш учун компрессор машиналар-

дан фойдаланилади. Худди суюқликлар каби, газлар ҳам босимлар фарқи бўлгандагина узатилади.

Сиқилган газ босими  $p_2$  нинг сиқилмаган газ босими  $p_1$  га нисбати *сиқиш даражаси* дейилади. Сиқиш даражасининг катталигига қараб компрессор машиналар қуйидаги типларга бўлинади:

1. Вентиляторлар ( $p_2/p_1 < 1,1$ ) — кўп миқдордаги газларни узатиш учун фойдаланилади.

2. Газодувкалар ( $1,1 < p_2/p_1 < 3$ ) — газ трубаларида катта қаршилиқ бўлганда ишлатилади.

3. Компрессорлар ( $p_2/p_1 > 3$ ) — юқори босим ҳосил қилиш учун ишлатилади.

4. Вакуум насослар — босими атмосфера босимидан паст бўлган газларни сўриш учун ишлатилади.

Ишлаш принципига кўра компрессорлар ҳажмий ва парракли(қанотли) бўлади.

Ҳажмий компрессорларда газ босими унинг ҳажмини мажбурий камайтириш ҳисобига кўпаяди. Ҳажмий компрессорлар жумласига поршенли, ротацион ва винтли компрессорлар киради.

Парракли компрессорларда газ босими компрессорнинг ғилдираклари айланганида вужудга келадиган инерция кучлари таъсирида кўпаяди. Улар трубокомпрессорлар ҳам дейилади ҳамда марказдан қочма куч таъсирида ишлайдиган вентилятор ва трубогазодувкаларга бўлинади.

Поршенли компрессорлар кам миқдордаги газларни катта босимларгача (0,5; 1; 5; 10; 20 МПа ва ундан юқори) сиқишда ишлатилади. Турбокомпрессорлар эса аксинча, катта миқдордаги газларни нисбатан паст босимларда (0,15 ... 1,5 ПМа атрофида) узатиб беришга мўлжалланган.

#### 4.10- §. Газ сиқишнинг термодинамик асослари

Газ ҳолатининг тенгламаси ва термодинамик диаграммалар. Газ сиқилиш процессида унинг ҳажми, босими ва температураси ўзгаради. Бу учала катталикларнинг ўзаро боғланиши газнинг босими 1 МПа гача бўлган идеал газларнинг ҳолат тенгламаси билан ифодаланади. Юқори босимли газнинг ҳажми, босими ва температураси ўртасидаги боғланиш Ван-дер-Ваальс тенгламаси билан аниқланади:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad (4.27)$$

бу ерда:  $p$  — газнинг босими, Н/м<sup>2</sup>;  $v$  — газнинг солиштирма ҳажми, м<sup>3</sup>/кг;  $R = 8314/M$  — газларнинг универсал константаси, Ж/(кг.°С);  $M$  — молекуллар масса, кг/кмоль;  $T$  — температура, К.

$a$  ва  $b$  коэффицентларнинг миқдори махсус қўлланмаларда берилмаса, у критик температура  $T_{кр}$ , критик босим  $p_{кр}$  орқали қуйидагича топилади:

$$a = \frac{27R^2 \cdot T_{кр}^2}{64 \cdot p_{кр}}; \quad b = \frac{RT}{8p_{кр}}$$

Аmmo амалий ҳисоблашларда термодинамик диаграмма, яъни тажрибалар асосида қурилган  $T-S$  диаграмма жуда қулай ва ишончлидир. Диаграммада ордината ўқига абсолют температура ва абсцисса ўқига энтропиянинг қийматлари қўйилади.

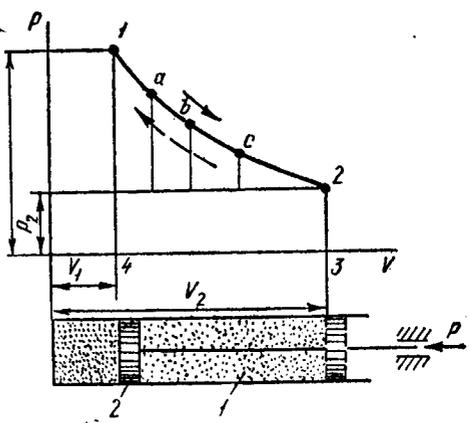
Газ ҳолатининг вақтнинг ҳар қайси пайтида ўзгариши  $pV$  диаграммада узлуксиз келадиган кетма-кет нуқталар билан ифодаланади, бу нуқталар босим ва ҳажмнинг вақтнинг тегишли моментларидаги ўртача қийматларини кўрсатади (4.20-расм). Бу нуқталарни бирлаштирувчи эгри чизиқ газнинг процесс бошланишидаги ва охиридаги мувозанат ҳолатини аниқ характерлайди. Эгри чизиқнинг кўриниши процесснинг кетиш характерига боғлиқ. Бундай эгри чизиқ термодинамик процесс эгри чизиғи дейилади.

**Газларни сиқиш.** Газларни сиқиш натижасида унинг ҳажми, босими ўзгариши билан температураси кўтарилиб, иссиқлик ажралиб чиқади. Назарий жиҳатдан газ икки хил прорессда сиқилади. Сиқиш вақтида ажралиб чиққан иссиқлик ташқи муҳитга тортиб олинса изотермик, агар фақат газни иситиш учун сарфланса адиабатик процесс дейилади.

Изотермик процессда иссиқлик ажратиб олиниб турилгани учун, газнинг ва процесснинг температураси ўзгармас бўлади. Адиабатик процессда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинмайди. Ҳақиқатда эса сиқиш вақтида ажралган иссиқликнинг бир қисми ташқи муҳитга тарқалади ва қолган қисми газни иситишга сарфланади. Газ политропик процессда сиқилади.

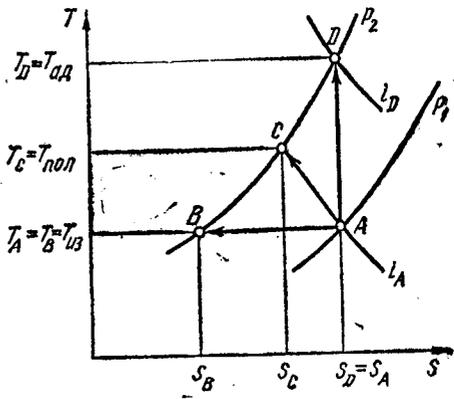
Газларни компрессорларда сиқиш процессларида бажарилган солиштирма ишнинг миқдори  $T-S$  диаграмма орқали аниқланади.  $T-S$  диаграммада ўзгармас босим ва температурага тўғри келган қийматлар горизонтал чизиқлар билан тасвирланган.

Агар диаграммада изотермик процессни кўрадиган



4.20-расм. Термодинамик процесснинг  $P-V$  диаграммада тасвирланиши:

1 — цилиндр; 2 — поршень.



4.21-расм. Газларни сиқиш процессининг  $T-S$  диаграммада тасвирланиши.

бўлсак, сиқиш давомида газнинг температураси ўзгармас бўлиб, босимнинг  $p_1$  дан  $p_2$  гача ўзгариши  $AB$  чизиқ орқали ифодаланади (4.21- расм). Диаграмманинг изотермик қисмидаги солиштирма ишнинг миқдори қуйидагича топилади:

$$q_{из} = l_{из} = T_A (S_A - S_B). \quad (4.28)$$

Адиабатик процессда сиқиш давомида газ билан атроф-муҳит орасида иссиқлик алмашмимайди ва  $dQ = 0$ ;  $dS = 0$ . Процессда газ температураси кўтарилиб  $AD$  вертикал чизиқ билан ифодаланади. Адиабатик сиқишдаги солиштирма ишнинг миқдори:

$$q_{ад} = l_{ад} = c_p (T_D - T_A). \quad (4.29)$$

Политропик процессда газ  $p_1$  босимдан  $p_2$  гача сиқилганда  $T-S$  диаграммада  $AC$  чизиқ билан ифодаланади. Бунда солиштирма ишнинг миқдори политропик процессда 1 кг газни сиқишда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг бўлади:

$$q_{пол} = l_{пол} = (S_A - S_C) \frac{T_A + T_C}{2} + e_p (T_C - T_A) \quad (4.30)$$

Газларни сиқишдаги талаб қилинадиган қувват сиқишдаги иш миқдорини унинг унумдорлигига кўпайтмасига тенг бўлади. Изотермик процесс учун:

$$N_{из} = \frac{l_{из} \cdot Q_c \cdot \rho}{1000 \eta_{из} \cdot \eta_{мех}}. \quad (4.31)$$

бу ерда  $\eta_{из}$  — изотермик процессдаги фойдали иш коэффициенти,  $\eta_{из} = 0,64 \dots 0,78$ .

Адиабатик процесс учун

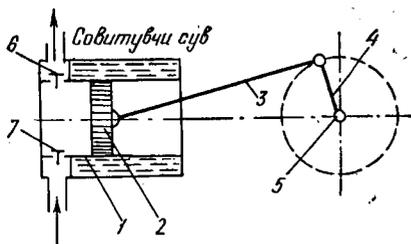
$$N_{ад} = \frac{l_{ад} \cdot Q_c \cdot \rho}{1000 \cdot \eta_{ад} \cdot \eta_{мех}}. \quad (4.32)$$

$\eta_{ад}$  — адиабатик процессдаги фойдали иш коэффициенти. Компрессор механизмларида ишқаланишдан ҳосил бўладиган исрофлар механик ФИК  $\eta_{мех}$  билан ҳисобга олинади.

#### 4.11- §. Поршенли компрессорлар

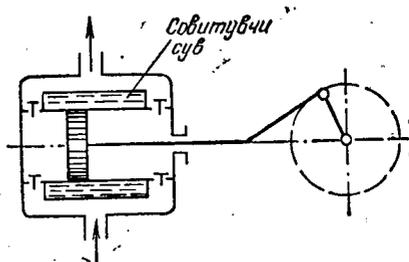
Поршенли компрессорлар сиқиш даражасига қараб бир ва кўп босқичли, шунингдек, ишлаш принцигига кўра бир ва икки томонлама ҳаракат қилувчи бўлади.

Бир босқичли поршенли компрессорнинг тузилиши худди поршенли насоснинг тузилишига ўхшаш (4.22- расм). Поршень цилиндрда ўннга ва чапга кривошип механизми ёрдамида қайтар-илғарилама ҳаракат қилади. Поршень цилиндрнинг ички деворига зич қилиб ўрнатилади ва цилиндр бўшлиғини икки қисмга бўлиб туради. Поршень чапдан ўннга томон илғарилама ҳаракат қилганида сўриш клапани очилиб цилиндр газга тўлади, орқага қайтганида эса цилиндрдаги газнинг сиқилиши натижасида босим орта бориб, узатилиш линиясидаги бо-



4.22- расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндрли компрессор:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — шатуни; 4 — кривошип; 5 — вал; 6 — ҳайдаш клапани; 7 — сўриш клапани.

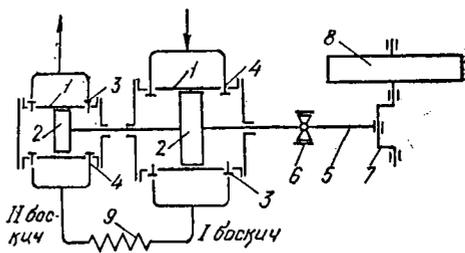


4.23- расм. Икки томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндрли компрессор.

симга тенг бўлганда, узатувчи клапан очилиб газ узатила бошланади. Газ сиқилганда унинг температураси кўтарилади, қизиган газ ёғлаб турувчи мойни куйдириб юбормаслиги учун цилиндрнинг девори узлуксиз сув билан совитиб турилади.

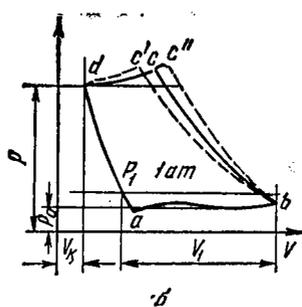
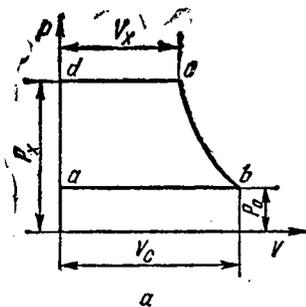
Бир босқичли компрессорнинг унумдорлиги кам бўлганлиги учун икки томонлама ҳаракатланувчи поршенли компрессорлар кўп ишлатилади. Бу компрессорларда цилиндрдаги газ поршеннинг иккала қисмида (чап ва ўнг) сиқилади; уларда иккита сўриш ва иккита узатиш клапани бор (4.23- расм). Поршень илгарилама ҳаракат қилади. Вал бир марта айланганида цилиндрга газ икки марта сўрилади ва икки марта узатилади. Компрессорнинг унумдорлиги бир томонлама ишлайдиган компрессорникига қараганда деярли икки марта кўп.

Бир босқичли компрессорларнинг унумдорлигини ошириш ҳамда газларнинг сиқилиш даражаси 0,4 ... 0,6 МПа бўлиши учун кўп цилиндрли бир ва икки томонлама сиқадиган компрессорлар ишлатилади. Бу компрессорда газ биринчи цилиндрдан кейинги цилиндрга ўтгани сари босими кўтарилиб боради. Компрессорларнинг поршени умумий бир иш валига ўрнатилган. Газнинг сиқилиши натижасида унинг температураси бир цилиндрдан иккинчи цилиндрга ўтганида ортиб боради. Шу сабабли иккита цилиндр орасига совиткичлар ўрнатилади. 4.24- расмда икки цилиндрли газни бир томонлама сиқадиган компрессорнинг ишлаш принципи кўрсатилган. Бу компрессорларда поршенлар параллел ишлайди ва цилиндр кетма-кет ёки параллел битта ўққа ўрнатилади.



4.24- расм. Икки цилиндрли бир томонлама ҳаракатланувчи компрессор:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3, 4 — сўрувчи ва узатувчи клапанлар; 5 — шатуни; 6 — крејскопфи; 7 — кривошип; 8 — маховик; 9 — совиткич.



4.25- расм, Индикатор диаграмма:

а) идеал компрессорнинг назарий характеристиккаси; б) реал компрессорнинг иш процесси.

Газ  $T_1$  температура билан  $p_1$  босимда суриш трубаси орқали биринчи цилиндрга кириб, поршень ёрдамида  $p_2$  босимгача сиқилади, ўртадаги совиткичда совитилган газ иккинчи цилиндрга кириб, поршень ёрдамида  $p_2$  ёки керакли босимгача сиқилади ва узатиш клапани орқали узатилади.

Поршенли компрессорларнинг ишлашини текшириб туриш ҳамда поршень бир марта айланганда газларнинг сўрилиш ва узатилиш вақтидаги босими билан ҳажмининг ўзаро боғлиғини индикатор диаграммасида қайд қилинади. Идеал компрессорнинг ишлашини 4.25-расмда тасвирланган  $p-V$  диаграмма ёрдамида кўриб чиқамиз.

Газлар бир босқичли идеал компрессорда сиқилганида процесснинг назарий характеристикаси — босим билан ҳажмининг боғлиғини индикатор диаграммасида  $abcd$  юза билан тасвирланади;  $ab$  — сўриш процесси;  $bc$  — сиқиш процесси;  $dc$  — ҳайдаш процесси.

Назарий процессда компрессорнинг поршени чап чекка ҳолатида цилиндр қопқоғига тақалиб келиб, қолдиқ ҳажм ҳосил қилмайди. Қолдиқ ҳажм бўлмагани учун газ узатилгандан сўнг, шу вақтдаёқ газ сўрилади ( $b, d$  нуқталар). Реал компрессорларда бирор ҳолатни эгаллаган поршень билан цилиндр қопқоғи орасида доимо муайян ҳажм қолади ва у қолдиқ ҳажм дейилади. Қолдиқ ҳажм цилиндр ҳажмининг 3—5% ини ташкил қилади ва у ортиши билан компрессорнинг унуми пасаяди. Газ узатилгандан кейин у яна сўрилиши учун ва қолдиқ ҳажмда қолган сиқилган газнинг босими сўриш вақтидаги сиқилмаган газнинг босимига тенг бўлиши учун у кенгайиши керак. Диаграммада қолдиқ ҳажмнинг миқдори  $V_k$  билан ифодаланган (4.25- расм, б).

Поршень цилиндрда чапдан ўнгга ҳаракат қилганида қолдиқ ҳажмдаги газ кенгайди, унинг ҳажми катталашиб босими сўриш вақтидаги босимга нисбатан камроқ бўлгунча пасаяди, бу процесс графикда  $ad$  чизик билан тасвирланган.  $a$  нуқтада босимлар фарқи борлиги туфайли сўриш клапани очилиб газ цилиндрга кира бошлайди, поршень цилиндрнинг ўнг томонининг охирига боргунча  $ab$  чизикда сўриш процесси кетади. Поршень цилиндрнинг ўнг томонидан чапга ҳаракат қилганда сўриш клапани ёпилиб газ политропик процессда сиқилади, бу процесс диаграммада  $bc$  чизик орқали тасвирланган. Бунда газнинг босими узатиш трубасидаги босимга нисбатан юқори бўлгани учун узатиш клапани очилади ( $c$  нуқта). Узатиш процесси  $cd$  чизик билан ифодаланган.

Худди шунингдек, диаграммада пунктир чизиқ билан газларни сиқишдаги назарий изотермик процесс  $bc'$  чизиқ ва адиабатик процесс  $bc''$  чизиқ билан тасвирланган.

Газлар сиқилганда бажарилган ишнинг қиймати шу диаграммада тасвирланган процессларнинг юзаси билан ўлчанади. Газлар изотермик процесда сиқилганда энг кам, адиабатик процесда сиқилганда эса энг кўп иш бажарилиши диаграммадан кўриниб турибди. Демак, бу диаграмма орқали компрессорларнинг иш унумдорлигини ҳам аниқлаш мумкин.

Поршенли компрессорларнинг унумдорлиги вақт бирлиги ичида узатилган газ ҳажмига тенг:

$$V_c = \lambda \cdot V_n, \quad (4.33)$$

бу ерда  $V_n$  — сўрилаётган газнинг ҳажми. Бу ҳажм  $ab$  кесмага пропорционал бўлиб, иш цилиндр ҳажмининг улушига тенг;  $\lambda$  — узатиш коэффициенти, компрессорнинг иш унумдорлигидаги барча сарфларни ҳисобга олади:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \lambda_r \cdot \lambda_T,$$

$\lambda_0$  — қолдиқ ҳажмдаги газнинг кенгайиши натижасида цилиндр фойдали ҳажмининг камайишини ҳисобга олувчи коэффициент;  $\lambda_r$  — узатилаётган газнинг зич ёпилмаган поршень клапанлари ва сальниклар орқали сарфланишидаги унумдорликнинг камайишини ҳисобга олувчи герметиклик коэффициент;  $\lambda_T$  — термик коэффициент, сўрилаётган газнинг цилиндрнинг иссиқ деворларига тегиши натижасида ва қолдиқ ҳажмдаги иссиқ газ билан аралашиб кенгайиши ҳисобига унумдорликнинг камайишини кўрсатади.

Поршенли компрессорлар юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлиб, улар ёрдамида газларни кенг интервалда 100 МПа босимгача сиқиш мумкин.

Газларнинг бир меъёрда узатилмаслиги, унумдорлигининг пастлиги ва клапанларининг кўплиги поршенли компрессорларнинг камчилигидир.

#### 4.12- §. Роторли компрессорлар

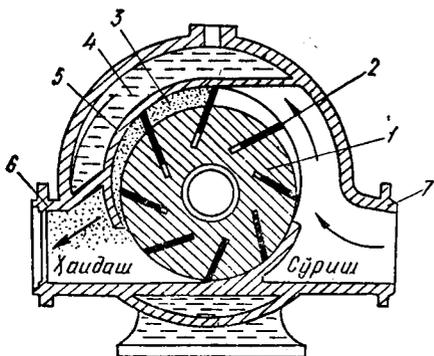
Бу компрессорлар ҳам поршенли компрессорлар сингари, иш бўшлиғи ҳажмининг камайиши принципада ишлайди. Роторли компрессорлар конструктив белгиларига кўра пластинали, юмалайдиган роторли, сув ҳалқали, газодувка ва икки роторли компрессорларга бўлинади.

Пластинали роторли компрессор. Бу компрессор худди пластинали насослар каби ишлайди, улар бир босқичли ва икки босқичли бўлади.

Пластинали роторли компрессорнинг сўриш вақтидаги унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$V = 2 \cdot l \cdot e \cdot n \cdot \lambda (\pi \cdot D - \delta z), \quad (4.34)$$

бу ерда  $l$  — пластинанинг узунлиги, м;  $e$  — роторнинг эксцентриситети, м;  $n$  — роторнинг айланишлар частотаси,  $1/s$  ёки  $s^{-1}$ ;  $D$  — қобиқнинг ички диаметри, м;  $\delta$  — пластина қалинлиги, м;  $z$  — пластиналар сони,  $z = 30 - 40$  тагача бўлади;  $\lambda$  — узатиш-коэффициенти.



4.26- расм. Пластинали роторли компрессор:

1 — ротор; 2 — сирпанадиган пластиналар; 3 — орасидаги ҳажм; 4 — совитувчи сув бўшлиғи; 5 — қобик; 6 — ҳайдаш патрубкиси; 7 — сўриш патрубкиси.

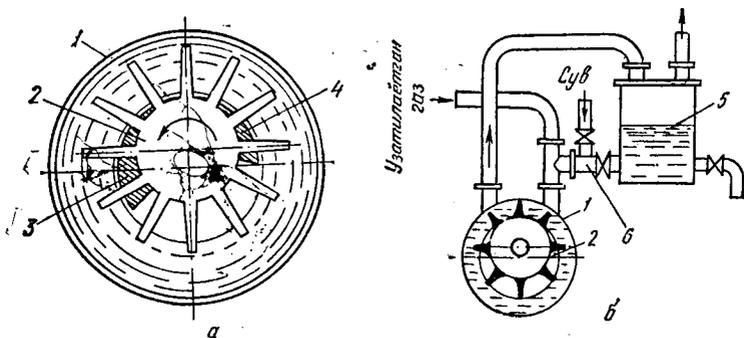
ерда пластиналар марказдан қочма куч таъсирида ротор пазларидан чиқади ва газ кириши учун икки пластина орасидаги ҳажм бўшайди. Ротор парракнинг юқориги ҳолатигача бурилган сари ҳажм аста-секин орта боради. Ротор яна бурилганида пластиналар пазларга кира бошлайди ва пластиналар орасидаги ҳажм кичраяди. Ҳажмни тўлдирувчи газнинг босими ҳам тегишлича кўпаяди. Ротор бурилиши давомида бўш ҳажм ҳайдаш патрубкиси бўшлиғи билан бирлашади ва бу ердан сиқилган газ труба орқали газ йиғичга ҳамда истеъмолчига ўтади.

Ротор яна бурилганида процесс такрорланади. Компрессорнинг ишлаши вақтида қобиғининг деворлари қизиб кетмаслиги учун у сув билан совитиб турилади.

Роторли компрессорларнинг поршенли компрессорларга нисбатан

Бир босқичли роторли пластинали компрессорларда газлар 0,25 ... 0,5 МПа босимгача, икки босқичлиларида эса 0,8 ... 1,5 МПа босимгача сиқилади. Бундай компрессорлардан паст босим ва катта унумдорлик олиш мақсадида фойдаланилади.

4.26- расмда пластинали роторли компрессорнинг схемаси кўрсатилган. Қобикда эксцентрик равишда ротор жойлашган, унинг пазларида радиал йўналишда осон сирпанадиган пластиналар бўлиб, улар ротор билан корпус орасидаги ўроқсимон бўшлиқни бир неча қисмга бўлиб туради. Сўриш патрубкиси шундай жойлашганки, бу



4.27- расм. Сув ҳалқачали компрессор:

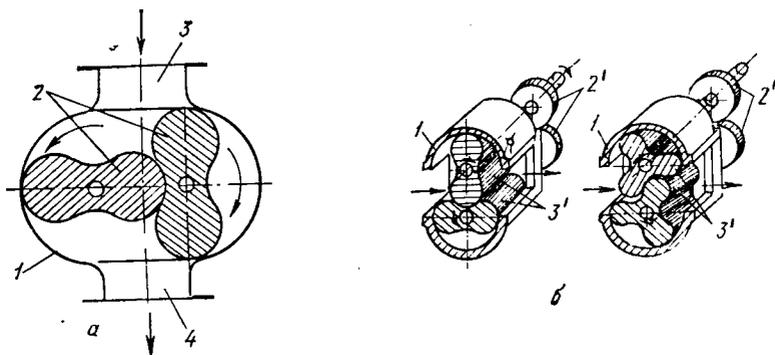
а — компрессорнинг тузилиши; б) газларни узатиш қурилмаси; 1 — қобик; 2 — ротор; 3 — узатувчи тешик; 4 — сўриш тешиги; 5 — идиш, 6 — вакуум-насосни суюқлик билан тўлдирувчи қуйилиш трубаси.

қуйидаги афзалликлари бор: 1) ўлчамлари ва оғирлиги кичик, поршенли компрессорга нисбатан кам жой эгаллайди; 2) кривошип-шатунли механизми бўлмагани учун, анча раво ишлайди; 3) айланишлар частотаси катта, компрессорни ҳаракатга келтириш учун уни бевосита электр двигателига улаш мумкин; 4) конструкцияси оддий, деталлари сони кам ва арзон.

Лекин роторли компрессорларнинг поршенли компрессорларга нисбатан муҳим камчиликлари ҳам бор: 1) ФИҚ кичик; 2) деталлари ниҳоятда аниқ ишланиши туфайли уларни тайёрлаш технологияси анча мураккаб; 3) сиқилган газнинг босими катта эмас; 4) бир ремонтдан кейинги ремонтгача ишлаш муддати қисқа.

**Сув ҳалқачали компрессорлар.** Компрессорнинг қобиғида эксцентрик ҳолда яси куракчалари бўлган ротор жойлашган (4.27- расм). Компрессорни ишга туширишдан олдин унинг ярмигача сув қуйилади. Ротор айланганида сув атрофга сочилиб, компрессорнинг қобиғи билан роторга нисбатан эксцентрик сув ҳалқачалари ҳосил қилади. Ҳажмдаги куракчаларнинг пастки қисми сув ҳалқачаларидаги сууюқликка ботирилгунча компрессорга сув қуйилади.

Ротор куракчалари билан сув ҳалқачалари орасида ячейкалар ҳосил бўлади. Ячейкаларнинг ҳажми роторнинг биринчи ярим айланишида кенгайди, иккинчи ярим айланишида эса торайди. Ячейкаларнинг ҳажми кенгайганида газ сўрилади ва роторнинг кейинги айланишида ячейканинг ҳажми торайиши натижасида газ сиқилиб узатиш патрубкиси орқали узатилади. Бу компрессорда сув ҳалқачалари поршень вазифасини бажаради, чунки ҳалқачалар воситасида иш камерасининг ҳажми ўзгаради. Шунинг учун бундай компрессорларни сууюқлик поршенли компрессорлар ҳам дейилади. Сууюқлик поршенли компрессорлар газ ҳолатдаги хлорни узатиш учун кенг ишлатилади. Бунда эллипс шаклдаги қобиқнинг ярмисигача иш сууюқлик сифатида концентрланган сульфат кислота қуйилади. Роторли сув ҳалқачали компрессорлар жуда кам ортиқча босим ҳосил қилгани (0,25 МПа гача) сабабли улар газодувкалар ва вакуум насослар сифатида ишлатилади.



4.28- расм. Газодувка:

а — газодувканинг тузилиши; б) ташқи кўриниши; 1 — корпус; 2 — ротор; 2' — шестернялар; 3' — роторлар; 3, 4 — сўриш ва узатиш патрубкчалари.

**Газодувкалар.** Газодувканинг қобиғида иккита параллел валда барабанлар ёки поршенлар жуфти айланма ҳаракат қилади. Барабанларнинг биттаси электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракат, иккинчиси эса унга тишлари билан илашиб ҳаракат қилади (4.28-расм). Барабанлар бир-бирига қарама-қарши йўналишда айланма ҳаракатда бўлади. Барабанлар айланганида бир-бирига ва қобиқ деворига зич жойлашиб, иккита бир-биридан ажратилган камера ҳосил қилади. Пастки камерада вакуум ҳосил бўлиб унга газ сўрилади, юқори камерада газ сиқиб чиқарилади.

Газодувкалар минутига 2 ... 800 м<sup>3</sup> гача ҳаво узатади. Узатиш коэффициенти 0,8; умумий фойдали иш коэффициенти 0,6 — 0,7. Газодувкаларнинг тузилиши содда, ихчам, клапанлари бўлмагани учун уларда газ бир меъёрда узатилади. Лекин юқори босим ҳосил қилмагани сабабли кам ишлатилади.

#### 4.13- §. Марказдан қочма принципда ишловчи машиналар

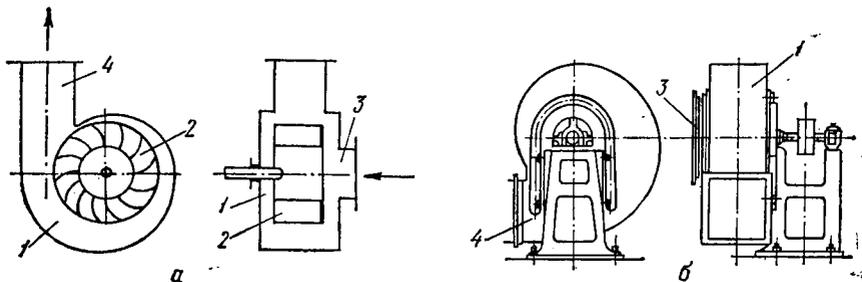
Марказдан қочма машиналар вентиляторлар, турбогазодувкалар ва турбокомпрессорларга бўлинади.

**Вентиляторлар.** Газни паст босимда узатиш учун мўлжалланган машиналар вентиляторлар дейилади. Вентиляторлар ишлаш принципа кўра марказдан қочма ва ўқли бўлади. Марказдан қочма вентиляторлар газни нисбатан юқори босимларда узатиб бериш учун, ўқли вентиляторлар эса кичик босимларда, лекин кўп миқдордаги газни узатиш учун мўлжалланган. Саноатда ўқли вентиляторлар жуда кам ишлатилади, улардан фақат биноларни совитишда фойдаланилади.

Саноатда газларни узатиш учун марказдан қочма вентиляторлар кенг қўлланилади. Бу вентиляторлар босимининг катталигига қараб уч группага бўлинади:

1. Паст босимли ( $p < 10^3$  Н/м<sup>2</sup>).
2. Ўрта босимли ( $p = 10 - 3 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup>).
3. Юқори босимли ( $p = 3 \cdot 10^3 - 10^4$  Н/м<sup>2</sup>).

Марказдан қочма вентиляторнинг асосий қисми паррақлар ва спиралсимон қобиқ ичига жойлаштирилган иш паррақлари бор филдиракдир (4.29-расм). Марказдан қочма вентиляторлар марказдан қочма насосларга ўхшаш ишлайди. Иш филдираги айланганда венти-



4.29- расм, Марказдан қочма вентиляторлар:

а) вентиляторларнинг тузилиши; б) умумий кўриниши; 1 — қобиқ; 2 — иш филдираги; 3, 4 — сўрувчи ва узатувчи патрубкарлар.

ляторнинг иш бўшлиғидаги ҳаво ёки газ ғилдирак билан бирга айланади ва марказдан қочма куч таъсирида ғилдиракнинг чеккаларига ҳайдалади. Газ ғилдирак парракларидан спиралсимон камерага ва ундан ҳайдаш трубасига ўтади. Газ ғилдирак парракларидан ўтганида ғилдиракнинг марказий қисмида сийраклашган босим вужудга келади ва газнинг янги порцияси атмосфера босими таъсирида вентилятор қобиғидаги сўриш тешиги орқали ўтиб, парракли ғилдиракнинг марказий қисмига киради. Сўнгра газ ғилдирак парракларига урилади ва процесс шу тарзда давом этаверади.

Паст босимда ишлайдиган вентиляторларда иш ғилдирагидаги парраklar орқа томонга эгилган, юқори босимда ишлайдиганларида эса олд томонга эгилган бўлади. Иш ғилдирагидаги парраklar сонини ўзгартириб паст босимли вентиляторлардан ўрта босимли вентиляторлар ҳосил қилиш мумкин.

Марказдан қочма вентиляторларнинг характеристикалари худди марказдан қочма насосларникига ўхшаш бўлади, шунингдек, булар насослар каби пропорционаллик қонунига бўйсунди:

$$N = \frac{Q \rho g H}{\eta_b} = \frac{Q \Delta p}{\eta_b} \quad (4.35)$$

бу ерда  $\eta_b$  — вентиляторнинг фойдали иш коэффициенти, узатиш линиясидаги барча сарфларни ҳисобга олади;  $\Delta p$  — босимлар фарқи.

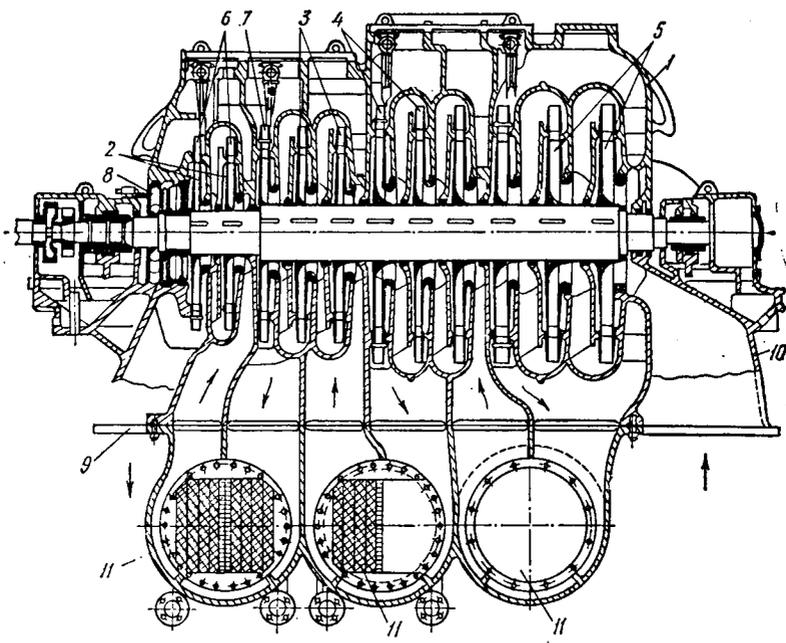
Вентиляторлар газларни бир меъёрда узатади, аммо фойдали иш коэффициенти поршенли насосларга нисбатан кам.

Газларни юқори даражада сиқиш учун турбокомпрессор ва турбогазодувкалар ишлатилади. Буларнинг ишлаш принципи марказдан қочма насосларнинг ишлаш принциpidан принципиал фарқ қилмайди. Турбокомпрессорларда сиқиш процесси совитиш билан борса, турбогазодувкаларда совитиш процесси ишлатилмайди.

**Турбокомпрессорлар.** Турбокомпрессорларнинг конструкцияси турбиналарнинг конструкциясига ўхшаш. Газни сиқиш процесси компрессор ғилдиракларининг парраklarаро каналларида ва сўнгра, қўзғалмас каналларда (диффузорларда) содир бўлади. Иш ғилдирагининг парраklarарида газнинг олган кинетик энергияси қўзғалмас каналларда тормозланиши натижасида сиқилган газнинг потенциал энергиясига айланади.

Ўқли турбинадаги каби ўқли турбокомпрессорда ҳам газнинг ҳаракат йўналиши ўқнинг айланиши билан мос тушади. Марказдан қочма компрессорларда газ иш ғилдирагида машина ўқиға перпендикуляр равишда марказдан четға қараб ҳаракатланади ва бу ерда марказдан қочма кучлар таъсирига учрайди. Бунинг натижасида мараказдан қочма компрессор ҳосил қилган босимнинг кўтарилиш даражаси ўқли компрессордагига қараганда юқори бўлади.

Турбокомпрессор ғилдираги айланишлар тезлигининг ортиши билан унинг сиқиш даражаси ҳам ортади. Лекин иш ғилдираги айланишлар тезлигининг миқдори ғилдирак материалининг мустаҳкамлиги туфайли чекланган бўлади ва шунга мувофиқ равишда бир босқичда сиқиш босимининг кўтарилиши ҳам чекланган. Шу сабабли газнинг юқори босимларини ҳосил қилиш учун айланишлар частотаси йўл қўйилган



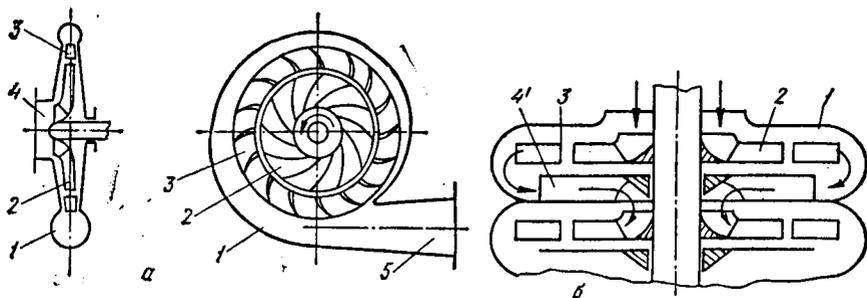
4.30- расм. Кўп босқичли трубокомпрессор:

1 — қобик; 2, 3, 4, 5 — тўртинчидан то биринчи поғонагача бўлган иш ғилдираклари группаси; 6 — қўзғалмас йўналтирувчи аппаратлар; 7 — ҳаракатчан йўналтирувчан аппаратлар; 8 — поршень; 9, 10 — узатиш ва сўриш патрубккалари; 11 — кўп поғонали совиткичлар.

қийматидан ортмайди, бунда кўп босқичли сиқиш усулидан фойдаланилади.

Кўп босқичли компрессорларда босқичлар сони ва шунга мувофиқ равишда иш ғилдираклари сони газнинг берилган босими билан белгиланади. Сиқилган газнинг босими қанчалик юқори бўлса, босқичлар сони ва компрессорлар валига тўғри келадиган иш ғилдираклари сони ҳам тегишлича кўп бўлади. Турбокомпрессорларда газлар юқори босимгача сиқилганда унинг температураси кўтарилиб, кўп миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Газнинг ҳамда турбокомпрессор қобиғи ва иш ғилдирақларининг ўта қизиб кетишининг олдини олиш мақсадида қобиқ деворлари сув билан совитилади ва босқичлар орасига совиткичлар ўрнатилади (4.30- расм). Оралиқ совиткичларда сиқилган газ турбокомпрессорнинг бир босқичидан иккинчи босқичига ўтишида қўшимча совийди. Кўп босқичли насосларда ғилдирақларнинг катталиги бир хил бўлса, турбокомпрессорларда сиқилган газ босимининг кўтарилиши билан ғилдирақларнинг катталиги кичиклашиб боради (4.30- расм). Кўп босқичли турбокомпрессорлар ёрдамида 1,5 ... 1,6 МПа гача босим ҳосил қилинади.

Эйлернинг асосий тенгламаси турбокомпрессорлар учун ҳам тааллуқлидир, ammo пропорционаллик қонунини булар учун қўллаб



4.31- расм. Турбогазодувкалар:

*a* — бир босқичли; *б*) кўп босқичли; 1 — қобик; 2 — иш ғилдираги; 3 — йўналтирувчи аппарат; 4, 5 — сўрувчи ва узатувчи патрубккалар; 4' — қайтма канал.

бўлмайди, чунки сиқилиши натижасида газнинг босими ва зичлиги ўзгаради.

Турбокомпрессорларда газлар бир меъёрда узатилади, аммо фойдали иш коэффициенти поршенли компрессорларга нисбатан камроқ.

**Турбогазодувкалар.** Босими камроқ бўлган кўп миқдордаги мойли, ёр аралашган газларни узатиш учун турбогазодувкалар ишлатилади. Валдаги иш ғилдиракларининг сонига қараб турбогазодувкалар бир ва кўп босқичли бўлади (4.31- расм, *a* ва *б*). Турбогазодувкаларнинг корпусидаги парракли иш ғилдираклари худди марказдан қочма насосларникига ўхшаш айланма ҳаракат қилади.

Иш ғилдираги йўналтирувчи аппаратнинг ичида жойлашиб, бунда газнинг кинетик энергияси потенциал энергияга айланади. Йўналтирувчи аппарат иккита дискдан иборат бўлиб, ўзаро бир-бири билан ғилдирак парракларига қарама-қарши йўналган парраклар ёрдамида бириктирилган.

Газ турбогазодувкаларга сўриш патрубкasi орқали кириб, сиқилган газ ҳайдаш патрубкasi орқали узатилади.

Кўп босқичли турбогазодувкаларда иш ғилдиракларининг сони 3—4 та бўлади. Буларда газ биринчи иш ғилдирагидан йўналтирувчи аппарат ва қайтма канал орқали кейинги иш ғилдирагига ўтади (4.31- расм, *б*). Қайтма каналда бир қанча қўзғалмас йўналтирувчи қирралар бўлиб, улар ёрдамида ўтаётган газ берилган тезликда ва йўналишда ҳаракат қилади. Турбогазодувкаларда газ 0,3 ... 0,35 МПа босимгача сиқилади, шунинг учун газ совитилмайди.

Турбогазодувкаларда ҳам роторли ва турбокомпрессорлар каби газнинг босими билан ҳажм орасидаги боғланишни индикатор диаграмма орқали тасвирлаб бўлмайди.

#### 4.14- §. Вакуум насослар

Химия технологиясининг кўпчилик процесслари атмосфера босимида ва сийраклиниш (вакуум) муҳитида олиб борилади. Бу шароитларнинг қўлланилиши химиявий реакцияларни олиб бориш шароитига боғлиқ. Қайнаш процессини паст температурада олиб бориш учун

вакуум ишлатилади. Вакуум ҳосил қилувчи машиналар вакуум насослар дейилади. Уларнинг ишлаш принципи ва тузилиши худди компрессорларга ўхшаш.

Вакуум насосларда газлар жуда паст атмосфера босимида сўрилади ва атмосфера босимига нисбатан каттароқ қийматда узатилади.

Конструктив жиҳатдан компрессорлардан вакуум насослар сиқилиш даражасининг катталиги билан фарқ қилади. Вакуум насосларда газларнинг сиқилиш даражаси жуда юқори бўлади. Сиқилиш даражасининг жуда юқори бўлиши сабабли, вакуум насоснинг ҳажмий коэффициентини ва унумдорлиги бирдан камаяди. Насоснинг иш ҳажмидан тўлиқ фойдаланиш учун қолдиқ ҳажми камайтиришга ҳаракат қилинади. Шунинг учун вакуум насоснинг бир неча турларида; поршенли, роторли, буғ оқимли вакуум насосларда босимларни тенглаштириш усулидан фойдаланиб узатиш коэффициентининг қиймати  $\lambda < 0,8 \dots 0,9$  гача кўпайтирилади.

**Поршенли вакуум насослар.** Булар қуруқ ва суюқлик насосларига бўлинади. Қуруқ вакуум насослар газларни сўриб ташқарига чиқариб ташлаш учун, суюқлик вакуум насослари эса бир вақтнинг ўзида газ ва суюқликларни сўриб чиқариб ташлаш учун ишлатилади.

Қуруқ вакуум насосларнинг тузилиши конструктив жиҳатдан худди поршенли компрессорларга ўхшаш.

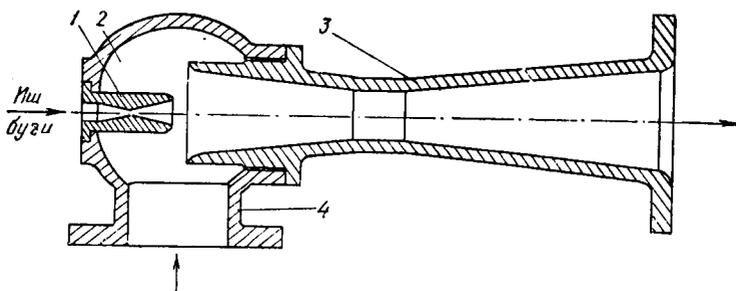
Ҳажмий коэффициентини ошириш учун бу вакуум насосларнинг баъзиларига золотниклар, яъни тақсимловчи механизмлар ўрнатилади. Золотник ёрдамида сиқилиш процессининг охиридаги қолдиқ ҳажм сўриш камераси билан бирлаштирилади. Бунда қолдиқ ҳажмда босими  $p_2$  бўлган газ сўриш камерасида босими  $p_1$  бўлган газ билан аралашиб, газнинг босими тенглашади. Натижада газни сўриш процесси вакуум насосларда аввалги ҳолатдагидек, поршеннинг ҳаракати билан цилиндрга сўрилади ва унумдорлик ортади.

Суюқлик вакуум насосларида ортиқча миқдордаги суюқликни чиқариб ташлаш мақсадида (клапандан чиқаётган суюқликнинг тезлиги газнинг ҳаракат тезлигидан кам бўлишлиги учун) сўриш ва ҳайдаш клапанлари каттароқ бўлади. Шунинг учун суюқлик вакуум насосларида қолдиқ ҳажм эгаллаган қисми катта бўлиб, улар қуруқ вакуум насосларга нисбатан кам сийракланиш беради. Суюқлик вакуум насосларида золотниклар бўлмайди.

**Ротор пластинали ва сув ҳалқачали вакуум насослар.** Бу насослар конструктив жиҳатдан худди 4.26- ва 4.27- расмлардаги компрессорларга ўхшаш. Роторли вакуум насосларда қолдиқ ҳажм махсус канал ёрдамида паст босимли камера билан бирлаштирилиб, газнинг босими тенглаштирилади. Бунда вакуум насоснинг ҳажмий коэффициенти ва унумдорлиги ортади.

Сув ҳалқачали вакуум насосларда ҳосил бўлган сийракланиш миқдори насосга қўйиладиган иш суюқлигининг парциал босимига ва температурасига боғлиқ. Суюқлик температураси ортиши билан сийракланиш миқдори камаяди. Шу сабабли сув ҳалқачали вакуум насосларга паст температурали суюқликлар қўйилади.

**Оқимли вакуум насослар.** Буларнинг ишлаш принципи худди суюқлик узатувчи оқимли насосларникига ўхшаш. Оқимли вакуум насос-



4.32- расм. Оқимли буғ вакуум-насоси:

1 — буғ соплоси; 2 — аралаш камераси; 3 — диффузор; 4 — патрубкаи.

ларда иш суюқлиги сифатида буғ ишлатилади (4.32- расм). Булар кислота буғларини сўриб олиш учун ишлатилади.

Катта ёки чуқур вакуум олиш учун кўп босқичли оқимли вакуум насослардан фойдаланилади.

#### 4.15- §. Насос ва компрессорларни танлаш

**Насосларни танлаш.** Саноатнинг барча ишлаб чиқариш тармоқларида суюқликларни узатиш учун марказдан қочма насослар ишлатилади. Чунки бу насослар бошқа насосларга nisbatan қуйидаги афзалликларга эга; а) массаси енгил, ихчам, тайёрлаш учун кам металл сарфланади; б) унумдорлиги юқори, ҳаво қалпоқчаларисиз суюқликларни бир меъёрга узатади; в) бошқариш ва тузатиш осон ҳамда тўғридан-тўғри ёрдамчи механизмларсиз электр двигателга уланади; г) сўриш ва ҳайдаш клапанлари бўлмагани учун ифлосроқ суюқликларни ҳам узатиш мумкин; д) узоқ муддат давомида ишончли ишлайди.

Марказдан қочма насосларнинг иш унумдорлиги камайганда фойдали иш коэффициенти ҳам бирдан пасаяди ва берадиган босими бошқа насосларга nisbatan кам бўлади.

Юқори босимли кам миқдордаги суюқликлар ҳамда қовушоқлиги юқори, осон алангаланувчан суюқликларни узатиш учун поршенли насослар ишлатилади.

Паст босимли кўп миқдордаги суюқликларни узатиш учун пропеллерли насослар танланади. Чунки бу насосларнинг фойдали иш коэффициенти юқори, гидравлик қаршилиги кам ва ишланиши ихчам. Бу насослар воситасида ифлосланган, кристалланувчи суюқликлар узатилади. Қовушоқлиги юқори, майда қаттиқ заррачалар аралашмаган кам миқдордаги суюқликларни катта босимда узатиш учун шестерняли (тишли) насослар қўлланилади.

Унумдорлиги паст ва кам напорли тоза суюқликларни узатиш учун пластинали насослар ишлатилади. Қовушоқлиги юқори, нефть маҳсулотларини, агрессив ҳамда ифлосланган суюқликларни узатиш учун винтли насослар қўлланилади. Винтли насослар қуйидаги афзалликларга эга: ишланиши ихчам, тез айланади ва шовқинсиз иш-

лайди. Босимнинг ўзгариши билан винтли насосларнинг унумдорлиги ўзгармайди.

Узатилиш процессига ҳаракатланувчи ва силкинувчи қисмларнинг салбий таъсири бўлса, оқимли насослар, газлифтлар ва эрлифтлар ишлатилади, лекин бу насосларнинг ФИК жуда паст.

**Компрессорларни танлаш.** Химия саноатининг барча тармоқларида кенг миқёсда поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналари ишлатилади.

Турбокомпрессор ва турбогазодувкалар тузилишининг соддалиги, ихчамлиги ва газларни бир меъёрда узатиши билан бошқа компрессорлардан фарқланади. Буларнинг энг катта афзаллиги шундаки, улар газларни тоза ҳолда узатади. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларда тезуорар ва инерцион кучланишлар бўлмагани учун уларни энгил фундаментларга ҳам ўрнатиш ҳамда тўғридан-тўғри электр двигателга улаш мумкин.

Турбокомпрессорлар кўп миқдордаги газларни 10000 ... 20000 м<sup>3</sup>/соат, 3,0 МПа гача босимда узатади. Ҳозирги вақтда кўп босқичли турбокомпрессорларда газларни 30 МПа гача босимда узатиш мумкин.

Турбокомпрессорларнинг ФИК поршенли компрессорларга нисбатан камроқ.

Кам миқдордаги (10000 м<sup>3</sup>/соат гача) газларни юқори босимда (100 МПа гача) узатиш учун поршенли компрессорлар ишлатилади.

Роторли компрессорнинг ФИК марказдан қочма ва турбокомпрессорларга нисбатан юқори бўлиб, улар босими 1,5 МПа гача, унумдорлиги 6000 м<sup>3</sup>/соат гача бўлган газларни узатиш учун мўлжалланган.

Роторли компрессорларни тайёрлаш қийин, ротордаги пластиналар тез едирилиб, иш камераларининг зич ёпилмаслиги натижасида газларни сиқиш даражаси камаяди.

Химия саноатида сув ҳалқачали вакуум насослар кенг миқёсда, агрессив, портловчан ва нам газлар ҳамда буғларни узатиш, ўртача (90—95%) вакуум олиш учун ишлатилади. Улар поршенли вакуум насосларга нисбатан бирмунча афзалликларга эга, лекин уларнинг ФИК кам.

Кўп босқичли буғ оқимли вакуум насосларда 95—99,8 процент сийракланиш мумкин. Бу аппаратларнинг тузилиши оддий, ҳаракатланувчи қисмлари йўқ. Шу сабабли булар химиявий актив газларни сўриб олиш учун кенг ишлатилади. Буғ оқимли вакуум насосларни ўрнатиш учун сим ва фундаментларнинг ҳожати йўқ, уларни исталган ерга ўрнатиш мумкин.

Буғ оқимли вакуум насосларда кўпроқ буғ сарфланади ва сўриб олинаётган газ буғ билан аралашishi мумкин.

# ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ПРОЦЕССЛАРИ

## 5- БОБ. ХИМИЯВИЙ АППАРАТЛАРДА ИССИҚЛИК ЎТҚАЗИШ АСОСЛАРИ

### 5.1- §. Умумий тушунчалар

Ҳар хил температурага эга бўлган жисмларда иссиқлик энергиясининг биридан иккинчисига ўтиши *иссиқлик алмашилиш процесси* деб аталади. «Иссиқ» ва «совуқ» жисмларнинг температуралари ўртасидаги фарқ иссиқлик алмашилишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади. Температуралар фарқи бўлганда термодинамиканинг иккинчи қонунига кўра иссиқлик энергияси температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст бўлган жисмга ўз-ўзидан ўтади. Жисмлар ўртасидаги иссиқлик алмашилиши эркин электрон, атом ва молекулаларнинг ўзаро энергия алмашилиши ҳисобига содир бўлади. Иссиқлик алмашилишида қатнашадиган жисмлар иссиқлик ташувчилар деб аталади.

Иссиқлик ўтказиш — иссиқлик энергиясининг тарқалиш қонуниятларини ўрганувчи фандир. Иссиқлик ўтказиш процесслари (иситиш, совитиш, буғларни конденсациялаш, буғлатиш) химия саноатида кенг тарқалган. Иссиқлик тарқалишининг учта принципиал тури бор: иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва иссиқликнинг нурланиши.

Бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг тартибсиз ҳаракати натижасида юз берадиган иссиқликнинг ўтиш процесси *иссиқлик ўтказувчанлик* (ёки *кондукция*) дейилади. Газ ва томчили суюқликларда молекулаларнинг ҳаракати натижасида ёки қаттиқ жисмларда кристалл панжарадаги атомларнинг тебраниши таъсирида ёхуд металлларда эркин электронларнинг диффузияси оқибатида иссиқлик ўтказувчанлик процесси содир бўлади. Қаттиқ жисмларда ва газ ёки суюқликларнинг юпқа қатламларида иссиқлик асосан иссиқлик ўтказувчанлик орқали тарқалади.

Газ ёки суюқликларда макроскопик ҳажмларнинг ҳаракати ва уларни аралаштириш натижасида юз берадиган иссиқликнинг тарқалиши *конвекция* деб аталади. Конвекция икки хил (эркин ва мажбурий) бўлади. Газ ёки суюқлик айрим қисмларидаги зичликларнинг фарқи натижасида ҳосил бўладиган иссиқликнинг алмашилиши *табиий* ёки *эркин конвекция* дейилади. Ташқи кучлар таъсирида (масалан, суюқликларни насослар ёрдамида узатиш ёки уларни механик аралаштиргичлар билан аралаштириш пайтида) *мажбурий конвекция* пайдо бўлади.

Иссиқлик энергиясининг электромагнит тўлқинлар ёрдамида тарқалиши *иссиқликнинг нурланиши* деб юритилади. Ҳар қандай жисм ўзидан энергияни нурлатиш қобилиятига эга. Нурланган энергия бошқа жисмга ютилади ва қайтадан иссиқликка айланади. Натижада нур билан иссиқлик алмашилиш процесси содир бўлиб, у ўз навбатида нур чиқариш ва нур ютиш процессларидан ташкил топади.

Реал шароитларда иссиқлик алмашилиш алоҳида олинган бирор усул билан эмас, балки бир неча усуллар ёрдамида юзага келади, яъни мураккаб иссиқлик ўтказиш процесслари амалга оширилади.

Аппаратларнинг ишлаш режимига кўра процесслар икки хил (турғун ва нотурғун) бўлади. Узлуксиз ишлайдиган аппаратларнинг турли нуқталаридаги температура вақт давомида ўзгармайди, бундай аппаратларда кетаётган процесс турғун бўлади. Нотурғун процессларда (даврий ишлайдиган иссиқлик алмашилиш аппаратларида) температура вақт давомида ўзгариб туради (масалан, иситиш ёки совитиш пайтида).

## 5.2- §. Иссиқлик ўтказувчанлик

**Температура майдони ва градиенти.** Бирор жисм (ёки суяқлик) нинг ичида температура ҳар хил бўлганида иссиқлик энергияси иссиқлик ўтказувчанлик орқали тарқалади. Температура майдони умумий ҳолатда қуйидаги функционал боғлиқлик билан ифодаланади:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (5.1)$$

бу ерда  $t$  — текширилаётган нуқтадаги температура;  $x, y, z$  — текширилаётган нуқтанинг координаталари;  $\tau$  — вақт.

Агар температура вақт давомида ўзгармаса, температура майдони турғун бўлади. Агарда температура вақт ўтиши билан ўзгарса, ундай майдон нотурғун температура майдони деб юритилади. Координаталарнинг сонига кўра, температура майдони бир ўлчамли, икки ўлчамли ва уч ўлчамли бўлиши мумкин.

Бир хил температурага эга бўлган нуқталарнинг геометрик ўрни изотермик юза деб юритилади. Температура бир изотермик юзадан иккинчи изотермик юза йўналишига қараб ўзгаради. Температураларнинг энг кўп ўзгариши изотермик юзаларга ўтказилган нормал чизиқлар бўйича юз беради. Температуралар фарқи  $\Delta t$  нинг изотермик юзалар оралиғидаги нормал бўйича олинган масофа ( $\Delta n$ ) га нисбати температура градиенти (*grad t*) деб аталади:

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (5.2)$$

Температура градиенти нолга тенг бўлмаган тақдирда (*grad t* ≠ 0) иссиқлик оқими юзага келади. Бунда иссиқлик оқимининг йўналиши температура градиенти чизиғи бўйича боради, ammo температура градиентига қарама-қарши йўналган бўлади;

$$q \sim \left( - \frac{\partial t}{\partial n} \right).$$

**Фурье қонуни.** Бу қонунга кўра, иссиқлик ўтказувчанлик орқали ўтган иссиқлик миқдори  $dQ$  температура градиентига  $\left(\frac{dt}{dn}\right)$ , вақтга  $(d\tau)$  ва иссиқлик оқими йўналишига перпендикуляр бўлган майдон кесимига  $(dF)$  пропорционалдир, яъни:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau. \quad (5.3)$$

Агар  $\frac{Q}{F \cdot \tau} = q$  деб олинса, у ҳолда:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}, \quad (5.4)$$

бу ерда  $q$  — иссиқлик оқими зичлиги;  $\lambda$  — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини.

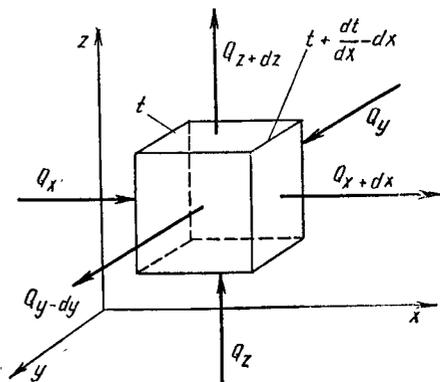
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[\lambda] = \left[ \frac{dQ \cdot \partial n}{\partial t \cdot dF \cdot d\tau} \right] = \left[ \frac{\text{Ж} \cdot \text{м}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[ \frac{\text{Втм}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right] = \left[ \frac{\text{Втм}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right].$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини иссиқлик алмашилиш юзаси бирлигидан (1 м) вақт бирлиги давомида ( $\tau$ ) изотермик юзага нормал бўлган 1 м узунликка тўғри келган температураларнинг  $1^\circ \text{C}$  га пасайиши вақтида иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан берилган иссиқлик миқдорини белгилайди.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати модданинг тузилиши ва унинг физик-химиявий хоссаларига, температура ва бошқа бир қатор катталикларга боғлиқ. Оддий (нормал) температура ва босимда металллар иссиқликни жуда яхши, газлар эса жуда ёмон ўтказишади. Масалан, айрим моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини қуйидаги қийматларга эга: тоза мис — 394; СТЗ маркали пўлат — 52, ҳаво — 0,027; томчили суюқликлар — 0,1—0,7; газлар — 0,006—0,165; иссиқликни ҳимоя қилувчи материаллар — 0,006—0,175. Булар ҳаммаси Вт/(м·К) ёки Вт/(м·С) ҳисобида ўлчанади.

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси. Ушбу дифференциал тенгламани келтириб чиқаришда иссиқлик тарқатаётган жисм ёки муҳитнинг физик хоссалари (зичлик  $\rho$ , иссиқлик сифими  $c$  ва иссиқлик ўтказувчанлик  $\lambda$ ) ва йўналишлари вақт бўйича ўзгармайди деб қаралади. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш учун



5.1- расм. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини аниқлаш.

жисм ичида қирралари  $dx$ ,  $dy$ , ва  $dz$  бўлган элементар параллелепид пед олинади (5.1- расм).

Параллелепиднинг чап, орқа ва пастки томонларидан  $d\tau$  вақт ичида  $Q_x$ ,  $Q_y$ , ва  $Q_z$  миқдорда иссиқлик киради, қарама-қарши (ўнг, олд ва юқориги) томонларидан эса ўз навбатида  $Q_{x+dx}$ ,  $Q_{y+dy}$  ва  $Q_{z+dz}$  миқдорида иссиқлик чиқади.

Маълум  $d\tau$  вақт давомида параллелепидга кирган ва ундан чиққан иссиқлик айирмаси қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}).$$

Иссиқлик ўтказувчанликнинг Фурье қонунига кўра, қуйидагини ёзиш мумкин:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau;$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx)}{\partial x} dydzd\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau.$$

Ўз навбатида

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau.$$

Худди шу йўл билан:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dx dydzd\tau,$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dx dydzd\tau.$$

Охириг учта тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини қўшиш натижасида қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$dQ = \lambda \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dx dydzd\tau. \quad (5.5)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра, иссиқлик миқдорининг фарқи параллелепид энтальпиясининг ўзгаришига сарфланаётган иссиқлик миқдорига тенг, яъни:

$$dQ = c\rho dx dydz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau, \quad (5.6)$$

бу ерда  $c$  — параллелепид материалнинг иссиқлик сифими.

(5.5) ва (5.6) ифодаларни солиштириш орқали иссиқликни ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (5.7)$$

(5.7) тенгламадаги пропорционаллик коэффициенти  $\lambda/c\rho$  ни  $a$  орқали белгилаймиз. Температура ўтказувчанлик коэффициенти жисмнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини белгилайди. Унинг ўлчов бирлиги  $m^2/s$ .

Демак, Фурьенинг қўзғалмас муҳит учун иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (5.8)$$

ёки

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \Delta^2 t. \quad (5.9)$$

Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги. Қалинлиги  $\delta$  ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\lambda$  бўлган, бир жинсли материалдан тайёрланган текис деворнинг иссиқлик ўтказишини текшираимиз. Деворнинг қарама-қарши томонларидаги температуралар  $t_{d1}$  ва  $t_{d2}$  га тенг, бироқ  $t_{d1} > t_{d2}$ .

Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқариш учун (5.8) дифференциал тенгламадан фойдаланиб, турғун иссиқлик режимида деворнинг турли нуқталаридаги температура вақт давомида ўзгармайди деб оламиз. Бундан ташқари, температура майдони бир ўлчамлидир, натижада температура бир йўналиш, яъни  $x$  ўқ бўйича ўзгаради. Бунда;

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0.$$

Шундай қилиб, текис девор учун турғун иссиқлик режимида иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади;

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0. \quad (5.10)$$

Бу тенгламани интеграллаш натижасида қуйидаги ифодаларга эга бўламиз;

$$\frac{dt}{dx} = c_1; \quad t = c_1 x + c_2.$$

Интеграллаш доимийлари  $c_1$  ва  $c_2$  ни чегара шартлари ( $x = 0$  ва  $x = \delta$ ) орқали топамиз:

$$c_2 = t_{d1}; \quad c_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{d2} - t_{d1}}{\delta}$$

Натижада қуйидаги тенгламани оламиз:

$$t = \frac{t_{d2} - t_{d1}}{\delta} x + t_{d1}$$

(5.11) тенгламадан кўриниб турибдики, режимида текис деворнинг қалинлиги бўйича кўринишида ўзгаради, температура градиентига эга бўлади.

Температура градиентининг топилган кўйиб турғун иссиқлик режими учун текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасига эришамиз:

$$dQ = \lambda \frac{t_{d1} - t_{d2}}{\delta} dF \cdot d\tau$$

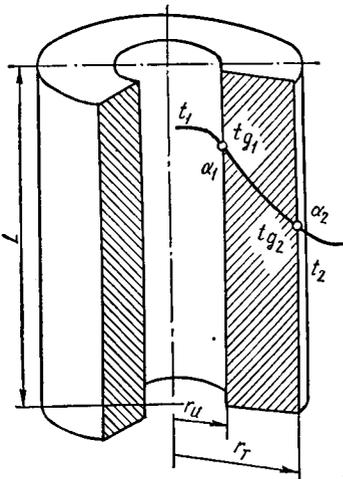
ёки

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{d1} - t_{d2}) \cdot F \cdot \tau; \quad (5.12)$$

бу ерда  $\lambda/\delta$  нисбат деворнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини, тескари қиймат  $\frac{\delta}{\lambda}$  эса деворнинг термик қаршилигини ифодалайди.

Айрим ҳолларда иссиқлик алмашилиш аппаратларининг деворлари ҳар хил қалинликка эга бўлган бир неча қатламлардан иборат бўлади. Қатламлар турли материаллардан ташкил топган бўлиши ҳам мумкин. Бу ҳолда мураккаб девор учун иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси (5.12) ифода орқали топилади.

Тургун иссиқлик режимида кўп қатламли текис девор учун қуйидаги иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ёзиш мумкин;



5.2-расм. Цилиндрсимон юзанинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини аниқлаш

$$Q = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} F (t_{d1} - t_{d2}) \tau, \quad (5.13)$$

бу ерда  $i$  — қатламнинг тартиб сони,  $n$  — қатламлар сони.

**Цилиндрсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси.** Узунлиги  $L$ , ички радиуси  $r_n$  ва ташқи радиуси  $r_r$  га тенг бўлган цилиндрсимон деворнинг (5.2-расм) иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз. Ички ва ташқи девордаги температураларни ўзгармас ҳамда улар  $t_{d1}$  ва  $t_{d2}$  га тенг деб олинади ( $t_{d1} > t_{d2}$ ).

Бирор кесим учун цилиндрсимон деворнинг юзаси  $F = 2\pi rL$ .  $F$  нинг қийматини Фурье тенгламаси (5.3) га қўйиб, бир ўлчамли майдон учун қуйидаги ифодани оламиз:

$$Q = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \tau \cdot \frac{dt}{d\delta}$$

бу ерда  $\delta = r_r - r_n$ ;  $d\delta$  ўрнига  $dr$  ни қўйиш мумкин:

$$Q = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \tau \cdot \frac{dt}{dr}$$

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi \cdot L \cdot \tau}{Q} dt \quad (5.14)$$

Бу (5.14) тенгламани  $r_n$  дан  $r_r$  гача ва  $t_{d1}$  дан  $t_{d2}$  гача чегаралар бўйича интеграллаймиз:

$$\int_{r_n}^{r_r} \frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi \cdot L \cdot \tau}{Q} \int_{t_{d1}}^{t_{d2}} dt,$$

бундан

$$\ln \frac{r_r}{r_n} = -\frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \tau}{Q} (t_{d1} - t_{d2})$$

ёки  $r_r/r_n = d_r/d_n$  ҳисобга олинса:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \tau (t_{d1} - t_{d2})}{\frac{1}{\lambda} 2,3 \lg d_r / d_n}, \quad (5.15)$$

бу ерда  $d_r/d_n$  — цилиндрсимон деворнинг ташқи ва ички диаметрларининг нисбати.

(5.15) тенгламадан кўриниб турибдики, цилиндрсимон деворнинг қалинлиги бўйича температура эгри чизиқ бўйича ўзгаради, бу тенглама турғун иссиқлик режими учун цилиндрсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ифодалайди.

Бир неча қатламдан иборат бўлган цилиндрсимон девордан иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан берилган иссиқлик миқдорини қуйидаги тенглама орқали ҳисоблаш мумкин.

$$Q = \frac{2 \pi \cdot L \tau (t_{d1} - t_{d2})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2,3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (5.16)$$

### 5.3-§. Иссиқликнинг нурланиши

Агар жисмнинг юзасига  $Q_n$  миқдорида нурланган иссиқлик тушса, унинг фақат бир улуши  $Q_A$  жисм томонидан ютилади ва иссиқлик энергиясига айланади, бошқа улуши  $Q_R$  жисмнинг юзасидан қайтарилади, энергиянинг қолган улуши  $Q_D$  эса жисм орқали ўтиб кетади. Демак:

$$Q_n = Q_A + Q_R + Q_D \quad (5.17)$$

ёки

$$\frac{Q_A}{Q_n} + \frac{Q_R}{Q_n} + \frac{Q_D}{Q_n} = 1. \quad (5.18)$$

(5.18) тенгламадаги биринчи бўлинма жисмнинг нурланган иссиқликни ютиш қобилиятини, иккинчи бўлинма қайтариш қобилиятини, учинчи бўлинма эса жисмнинг ўзидан нурланган иссиқликни ўтказиб юбориш қобилиятини билдиради. Агар

$$\frac{Q_A}{Q_H} = A, \quad \frac{Q_R}{Q_H} = R \quad \text{ва} \quad \frac{Q_D}{Q_H} = D$$

десак, қуйидагига эга бўламыз;

$$A + R + D = 1. \quad (5.19)$$

$A$ ,  $R$  ва  $D$  нинг сон қийматларига кўра жисмлар қуйидаги турларга бўлинади;

1) агар  $A = 1$  ( $R = D = 0$ ) бўлса, у ҳолда жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ютилади. Бундай жисм абсолют қора жисм деб аталади.

2) агар  $R = 1$  ( $A = D = 0$ ) бўлса, жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси қайтарилади. Бундай жисм абсолют оқ жисм деб юритилади.

3) агар  $D = 1$  ( $A = R = 0$ ) бўлса, жисмнинг юзасига тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси жисмдан ўтиб кетади. Бундай жисм диатермик жисм деб аталади.

Табиатда абсолют қора ёки диатермик жисмлар йўқ.  $A$ ,  $R$  ва  $D$  ўртасидаги боғлиқлик жисмнинг табиатига, юзасининг характери ва унинг температурасига боғлиқ. Одатда қаттиқ жисмлар ва суюқликлар учун  $D = 0$  ва  $A + R = 1$  бўлади. Газлар эса асосан диатермик жисмлар қаторига киради. Реал шароитда жисмлар юзасига нур ҳолида тушган энергиянинг бир улуши ютилади, яна бир улуши қайтарилади, қолган қисмини эса жисм ўзидан ўтказиб юборади. Бундай жисмлар одатда кулранг жисмлар деб юритилади.

**Стефан-Больцман қонуни.** Бирор жисмнинг юза бирлиги  $F$  дан вақт бирлиги  $\tau$  давомида тўлқин узунлигининг ҳамма интервали бўйича ( $\lambda = 0$  дан  $\lambda = \infty$  гача) нурланган энергиянинг миқдори жисмнинг нур чиқариш қобилияти  $E$  деб аталади:

$$E = \frac{Q_H}{F \cdot \tau},$$

бу ерда  $Q_H$  — жисм томонидан нурланган энергия.

Жисмнинг нур чиқариш хусусиятининг тўлқин узунлиги интервалига нисбати нурланиш интенсивлиги дейилади;

$$J = \frac{dE}{d\lambda}.$$

Охирги тенгламани интеграллаш натижасида жисмнинг нур чиқариш хусусияти ва нурланиш интервали ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш мумкин:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J d\lambda.$$

Нурланиш умумий энергиясининг абсолют температура ва тўлқин узунлигига боғлиқлигини Планк назарий йўл билан кашф этган;

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{C_2 e^{\lambda T} - 1} \quad (5.22)$$

(5.22) тенгламадаги доимийлар ушбу қийматларга эга:  $C_1 = 3,22 \cdot 10^{-16} \text{Вт/м}^2$  ва  $C_2 = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{Вт/м}^2$ .

Охирги тенгламани ихчамлаштириб қуйидаги боғлиқликни оламиз:

$$E_0 = K_0 \cdot T^4, \quad (5.23)$$

бу ерда  $T$  — жисм юзасининг абсолют температураси;  $K_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{к}^4}$  — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш доимийси.

(5.23) тенглама Стефан-Больцман қонуни деб аталади. Бу қонун Планк тенгламасининг ҳосиласи ҳисобланади. Бу қонунга кўра, абсолют қора жисмнинг нур чиқариш хусусияти юза абсолют температурасининг тўртинчи даражасига пропорционалдир. Стефан-Больцман қонуни кулранг жисмлар учун қуйидаги кўринишга эга;

$$E = \varepsilon C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4, \quad (5.24)$$

бу ерда  $\varepsilon$  — кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти;  $C_0$  — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш коэффициенти.

Кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти материалнинг табиати, унинг ранги, температураси, юзасининг ҳолатига боғлиқ бўлиб, унинг қиймати I дан кичик бўлади ва 0,055—0,95 чегарада ўзгаради.

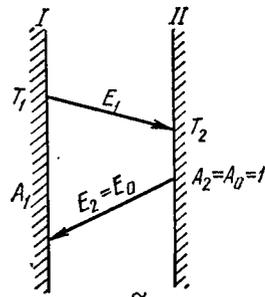
**Кирхгоф қонуни.** Бу қонун кулранг жисмнинг нур чиқариш ва нурни ютиш хусусиятлари ўртасидаги боғлиқликни ифода қилади. Ўзаро параллел жойлашган кулранг I ва абсолют қора II жисмларни олиб кўрамиз (5.3-расм). Бир жисм юзасидан чиқарилган нур иккинчи жисмнинг юзасига тушади. Кулранг жисмнинг ютиш қобилиятини  $A_1$  билан белгилаймиз. Абсолют қора жисм учун  $A_2 = A_0 = 1$ . Кулранг жисм температурасини абсолют қора жисм температурасидан юқори деб оламиз, яъни  $T_1 < T_2$ .

Бунда кулранг жисмнинг юза бирлигидан (вақт бирлигида) нурланиш орқали берилган иссиқликнинг миқдори қуйидагича топилади:

$$q = E_1 - E_0 \cdot A_1.$$

Иккала жисмнинг температураси бир хил бўлганда иссиқлик мувозанати юзага келади ( $q = 0$ ):

$$E_1 = E_0 A_1 = 0. \text{ Бундан } \frac{E_1}{A_1} = E_0.$$



5.3- расм. Кирхгоф қонунини аниқлашга доир схема.

Натижада ўзаро параллел жойлашган бир қатор жисмлар учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} = f(T). \quad (5.25)$$

(5.25) тенглама Кирхгоф қонунини ифодалайди. Бу қонунга асосан, маълум температура учун ихтиёрый бир жисмнинг нур чиқариш қобилиятини унинг нур ютиш қобилиятига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, бу миқдор абсолют қора жимснинг нур чиқариш қобилиятига тенг.

**Нур чиқариш орқали иссиқлик алмашиниш.** Температураси абсолют нолдан юқори бўлган жисмлар нур орқали ўзаро энергия алмашиниши мумкин. Бундай энергиянинг алмашиниши оқибатида температураси паст бўлган жисм температураси юқори бўлган жисмдан қўшимча энергия (иссиқлик) олади. Температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст бўлган жисмга ўтган иссиқлик миқдори энергетик баланс орқали аниқланади. Масалан, ўзаро параллел жойлашган текис қаттиқ жисмлар ўртасидаги нурланиш орқали ўтган иссиқлик миқдори қуйидагича топилади:

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \quad (5.26)$$

бу ерда  $Q_{1-2}$  — биринчи жисмдан иккинчи жисмга нурланиш орқали берилган иссиқлик миқдори;  $F = F_1 = F_2$  — жисмнинг нур чиқараётган юзаси;  $C_{1-2}$  — жисмлар системасининг келтирилган нур чиқариш коэффициенти.

Келтирилган нур чиқариш коэффициенти қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланилади:

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}. \quad (5.27)$$

Қаттиқ жисм ва суюқликлар нур энергиясининг ҳамма тўлқин узунлиги интервалида нурни ютиши ва чиқариши мумкин, газлар эса нур энергиясининг айрим тўлқин узунликларинигина ютиш ва чиқариш хусусиятига эга. Газлар нурни бутун ҳажми бўйича ютиши ёки чиқариши мумкин, шу сабабли нурланиш процесси газ қатламининг қалинлигига ва газ аралашмаси таркибидаги нур чиқариш қобилиятига эга бўлган газнинг миқдорига боғлиқдир.

Газнинг нурланиш иссиқлигини қуйидаги тенглама орқали топиш мумкин:

$$Q_r = \varepsilon_r \cdot C_0 \cdot \left( \frac{T_r}{100} \right)^4; \quad (5.28)$$

бу ерда  $\varepsilon_r$  — газнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти;  $T_r$  — газнинг абсолют температураси.

Газларнинг нисбий нур чиқариш коэффициентлари қиймати справочник ва махсус адабиётларда келтирилади.

## 5.4- §. Конвектив иссиқлик алмашиниш

Иссиқликнинг қаттиқ жисм юзасидан суюқлик (ёки газ) муҳитига бир йўла конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида тарқалиши, ёки аксинча, иссиқликнинг суюқлик муҳитидан қаттиқ жисм юзасига ўтиши *конвектив иссиқлик алмашиниш* деб юритилади (5.4- расм). Иссиқликнинг бундай йўл билан тарқалиши баъзан иссиқликнинг берилиши деб аталади.

Суюқлик муҳити икки қатламдан иборат бўлади; чегара қатлами ва оқимнинг маркази.

Қаттиқ жисм юзасидан чегара қатлам орқали энергия иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан ўтади. Чегара қатламдан муҳитнинг марказига иссиқлик асосан конвекция орқали тарқалади. Иссиқликнинг қаттиқ жисм юзасидан суюқлик муҳитига берилиш процессига оқимнинг ҳаракат режими катта таъсир кўрсатади.

Конвекция икки турга бўлинади (табiiй ва мажбурий). Суюқликнинг «иссиқ» ва «совуқ» қисмларидаги зичликлар фарқи таъсирида табиий конвекция юзага келади. Мажбурий конвекция ташқи кучлар (насос, вентилятор, аралаштиргич) таъсирида ҳосил бўлади.

Суюқлик турбулент режим билан ҳаракат қилганида иссиқлик алмашиниш процесси анча тез боради, ламинар режимда эса сскин кетади. Натижада иссиқлик алмашинишнинг тезлигига конвекция катта таъсир кўрсатадиган бўлиб қолади.

**Ньютон қонуни.** Қонвектив иссиқлик алмашинишнинг асосий қонуни бўлиб Ньютоннинг совитиш қонуни ҳисобланади. Бу қонунга кўра, иссиқлик алмашиниш юзадан атроф-муҳитда (ёки, аксинча бирор муҳитдан қаттиқ жисм юзасига) берилган иссиқлик миқдори  $dQ$  деворнинг юзасига ( $dF$ ), юза ва муҳит температураларининг фарқига ( $t_w - t_f$ ) ҳамда процесснинг давомлилигига ( $d\tau$ ) тўғри пропорционалдир яъни:

$$dQ = \alpha(t_w - t_f) \cdot dF \cdot d\tau, \quad (5.29)$$

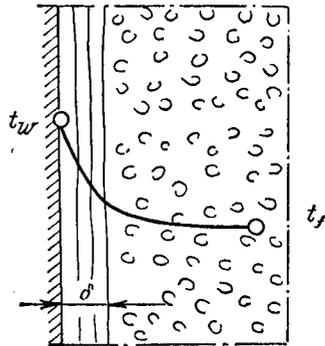
бу ерда  $\alpha$  — иссиқлик бериш коэффициенти.

Иссиқлик бериш коэффициенти қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[\alpha] = \left[ \frac{dQ}{dF \cdot d\tau (t_w - t_f)} \right] = \left[ \frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right].$$

Узлуксиз иссиқлик алмашиниш процесси учун (5.29) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = \alpha \cdot F (t_w - t_f). \quad (5.30)$$



5.4- расм. Ҳаракатланувчи муҳитда конвектив иссиқлик алмашинишда температура-нинг ўзгариши.

Иссиқлик бериш коэффициентининг  $\alpha$  деворнинг  $1 \text{ м}^2$  юзасидан суюқликка (ёки муҳитдан  $1 \text{ м}^2$  юзали деворга)  $1 \text{ с}$  вақт давомида, девор ва суюқлик температураларининг фарқи  $1^\circ \text{С}$  бўлганда берилган иссиқликнинг миқдорини билдиради. Бу коэффициентнинг миқдори бир қатор катталикларга боғлиқ: суюқликнинг тезлиги  $\omega$ , унинг зичлиги  $\rho$ , қовушоқлиги  $\mu$ , муҳитнинг иссиқлик-физик хоссалари (солиштирма иссиқлик сиғими  $c$ , иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\lambda$ , суюқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти  $\beta$ ) деворнинг шакли, ўлчами (труба учун  $d$  — диаметр,  $L$  — узунлик) ва унинг ғадир-будирлиги  $\epsilon_0$ .

Шундай қилиб иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати қуйидаги катталикларга боғлиқ экан;

$$\alpha = f(\omega, \rho, \mu, C, \lambda, \beta, d, L, \epsilon_0). \quad (5.31)$$

Иссиқлик бериш коэффициенти бу катталикларга боғлиқ бўлганлигидан, иссиқлик ўтказиш процессларининг ҳамма кўринишлари учун  $\alpha$  нинг қийматини ҳисоблаб чиқарадиган умумий тенгламани олишнинг имкони йўқ. Фақат иссиқлик алмашинишнинг типавий процесслари учун тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида қайта ишлаш орқали критериал тенгламаларни чиқариш мумкин. Бу критериал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ҳисоблаб топилади.

**Конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенгламаси.**

Конвектив усул билан иссиқлик алмашилганда суюқлик муҳитида иссиқлик бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция усулларида тарқалади. Иссиқлик ўтказувчанлик (5.8) дифференциал тенглама билан ифодаланади;

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

Бу тенгламанинг чап томони муҳитдан ажратиб олинган қўзғалмас «элемент» температурасининг қисман ўзгаришини ифодалайди. Конвектив иссиқлик алмашинишда «элемент» муҳитнинг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига ўтади. Агар элементнинг  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқлар бўйича ҳаракат тезлигини  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ва  $\omega_z$  билан белгиласак,  $u$  ҳолда элемент температурасининг тўла ўзгариши қуйидагича бўлади:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z. \quad (5.32)$$

(5.32) тенгламадаги  $\partial t / \partial \tau$  нисбат температуранинг қисман ўзгаришини,  $\frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z$  йиғинди эса температуранинг конвектив ўзгаришини ифодалайди.

Агар иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси (5.8) даги температуранинг қисман ўзгаришини (5.32) тенгламага асосан унинг тўла ўзгариши билан алмаштирсак, Фурье—Кирхгофнинг конвектив иссиқлик алмашиниш тенгламаси келиб чиқади;

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (5.33)$$

Бу тенглама ҳаракатдаги муҳитда иссиқликнинг бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция йўллари билан тарқалишининг математик ифодасидир. Конвектив иссиқлик алмашиниш процессини тўла ифодалаш учун (5.33) тенгламани қаттиқ юза ва ҳаракатланувчи муҳит чегарасидаги шароитни ҳисобга олувчи бошқа тенглама билан тўлдириш керак.

Ҳаракатланувчи муҳитда жойлашган қаттиқ юза устида қалинлиги  $\delta$  га тенг бўлган чегара қатлам ҳосил бўлади. Бу қатлам орқали ўтган иссиқлик миқдори Фурье қонуни орқали топилади:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau.$$

Ўтган иссиқликнинг миқдорини Ньютон қонуни ёрдамида ҳам аниқлаш мумкин:

$$dQ = \alpha(t_w - t_f) dF \cdot d\tau.$$

Охирги иккита тенгламанинг ўнг томонларини ўзаро тенглаштириб, қаттиқ юза ва ҳаракатланувчи суюқлик муҳити чегарасидаги шароитларни ифодалайдиган тенгламани ҳосил қиламиз:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha(t_w - t_f). \quad (5.34)$$

(5.33) ва (5.34) тенгламалар конвектив иссиқлик алмашиниш процессини тўла ифода қилади.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенгламаси. Амалда учрайдиган кўпгина процессларга (5.33) ва (5.34) тенгламаларни татбиқ қилиб бўлмайди. Шу сабабдан бу тенгламалар ҳисоблаш техникасида ишлатилмайди. Ҳисоблаш ишларида (5.33) ва (5.34) ифодаларни ўхшашлик назарияси билан қайта ишлаш натижасида олинган критериал тенгламалар кенг ишлатилади.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенгламаси умумий ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, F_0); \quad (5.35)$$

$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$  — Нусельт критерийси:  $\alpha$  — иссиқлик бериш коэффициентини;  $l$  — аниқловчи геометрик ўлчам;  $\lambda$  — муҳитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини. Нусельт критерийси асосий аниқловчи критерий бўлиб, девор ва оқим чегарасидаги иссиқликнинг ўтиш тезлигини ифодалайди.

$Re = \frac{\omega \cdot l \cdot \rho}{\mu} = \frac{\omega \cdot l}{\nu}$  — Рейнольдс критерийси:  $\omega$  — оқимнинг тезлиги;  $\rho$  — муҳитнинг зичлиги;  $\mu, \nu$  — муҳитнинг динамик ва кинематик қовушоқлик коэффициентлари. Рейнольдс критерийси оқимдаги инерция ва ишқаланиш кучларининг нисбатини аниқлайди.

$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t$  — Грасгоф критерийси;  $g$  — эркин тушиш тезланиши;  $\beta$  — ҳажмий кенгайиш коэффициентини;  $\Delta t$  — «иссиқ» ва «совуқ» суюқлик температуралари фарқи. Грасгоф критерийси эркин конвекция пайтида «иссиқ» ва «совуқ» суюқлик зичликларининг фарқи таъсирида ҳосил бўлган оқимнинг гидродинамик режимини ифодалайди.

$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{\nu}{a}$  — Прандтл критерийси:  $c$  — солиштирма иссиқлик сизими;  $a$  — температура ўтказувчанлик коэффициенти. Прандтл критерийси суюқликнинг қовушоқлик ва температура ўтказувчанлик хоссаларининг нисбатини ифода қилади.

$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$  — Фурье критерийси:  $\tau$  — процесснинг давомлиги. Фурье критерийси нотўғун иссиқлик процессларида температура майдонининг ўзгариш тезлиги, муҳитнинг ўлчами ва физик катталиклари ўртасидаги боғлиқликларни белгилайди.

Иссиқлик алмашинишнинг аниқ ҳоллари кўрилганда (5.35) критериал тенглама анча соддалашади. Масалан, турғун процесслар учун (5.35) тенгламадан Фурье критерийси қисқартирилади. У ҳолда:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr). \quad (5.36)$$

Суюқлик оқими мажбурий ҳаракат қилган пайтда критериал тенгламадаги Грасгоф критерийси ҳисобга олинмайди. Бунда конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенграмаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (5.37)$$

Суюқликнинг эркин ҳаракати пайтида Рейнольдс критерийси қисқартирилади. У ҳолда критериал тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (5.38)$$

Иссиқлик алмашиниш процессининг аниқ ҳоллари ҳал қилинганда тегишли критериал тенграмалар ёрдамида Нусельт критерийсининг қиймати топилади. Сўнгра Нусельт критерийсининг тенграмаси орқали иссиқлик бериш коэффициенти  $\alpha$  аниқланади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}. \quad (5.39)$$

## 5.5-§. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг тажриба натижалари

Ҳозирги вақтда конвектив иссиқлик алмашинишнинг ҳамма турлари илмий жиҳатдан тадқиқ қилинган, тадқиқотлар натижалари асосида тегишли критериал тенграмалар ишлаб чиқилган. Критериал тенграмалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари ҳисоблаб топилади. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг айрим кўринишлари бўйича олинган критериал тенграмалар билан танишиб чиқамиз.

Тўғри труба ва каналларда ривожланган турбулент оқимда иссиқлик бериш ( $Re > 10\,000$ ). Суюқлик оқими учун ҳисоблаш тенграмаси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \cdot \epsilon_e. \quad (5.40)$$

Аниқловчи геометрик ўлчаш вазифасини эквивалент диаметр бажа-ради, яъни:

$$l = d_s = \frac{4 \cdot f}{\Pi}, \quad (5.41)$$

бу ерда  $f$  — оқимнинг кўндаланг кесим юзи;  $\Pi$  — оқим кесимининг тўла периметри.

Агар труба кесими думалоқ бўлса  $d_s = d$ . Аниқловчи температура сифатида суюқлик ёки газнинг ўртача температураси олинади.

$\left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25}$  ифода иссиқлик оқимининг йўналишини кўрсатади. Агар девор ва суюқлик температуралари ўртасидаги фарқ катта бўлмаса, бу кўпайтманинг миқдори бирга яқин бўлади.

$Pr_d$  критерийни ҳисоблаш учун суюқликнинг физик-химиявий катталиклари деворнинг температураси бўйича олинади.

Тузатиш коэффициенти  $e_c$  — труба узунлигини унинг диаметрига нисбатини ( $L/d$ ) иссиқлик бериш коэффициентига таъсирини ифода қилади. Бу коэффициентнинг қиймати 5.1-жадвалда берилган.

5.1-жадвал

Рейнольдс критерийси	$L/d$				
	10	20	30	40	50 ва унлан қўп
$1 \cdot 10^4$	1,23	1,13	1,07	1,03	1
$2 \cdot 10^4$	1,18	1,10	1,05	1,02	1
$5 \cdot 10^4$	1,13	1,08	1,04	1,02	1
$1 \cdot 10^5$	1,10	1,06	1,03	1,02	1
$1 \cdot 10^6$	1,05	1,03	1,02	1,01	1

Змеевиклар (эгилган трубалар) учун (5.40) тенглама бўйича ҳисобланган  $\alpha$  нинг қиймати  $x$  коэффициентга кўпайтирилади:

$$\alpha_{зм} = x \cdot \alpha, \quad (5.42)$$

$$x = 1 + 3,54 \frac{d}{D}, \quad (5.43)$$

бу ерда  $x$  — змеевикнинг нисбий эгилиш коэффициенти;  $d$  — змеевик трубагининг ички диаметри;  $D$  — змеевик айланасининг диаметри.

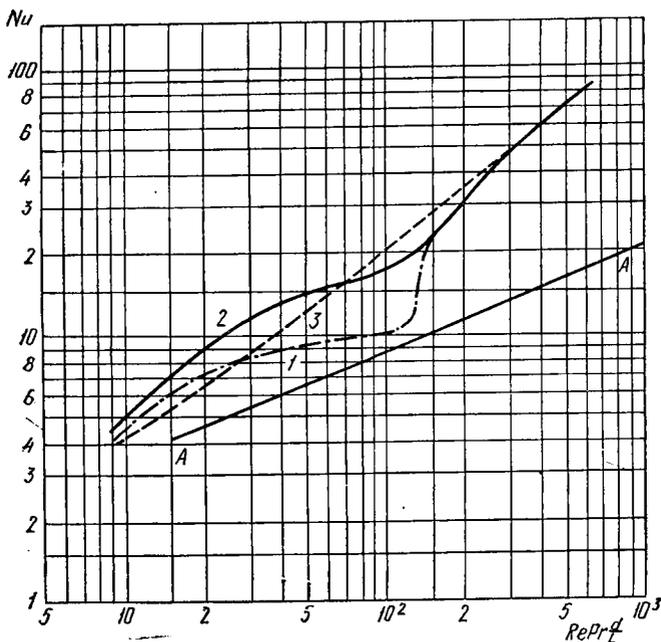
Газлар учун  $\frac{Pr}{Pr_d} = 1$ ;  $Pr$  нинг қиймати эса газнинг атомлар сонига боғлиқ. Шу сабабли газлар учун (5.40) критериял тенглама анча соддалашади. Масалан, ҳаво учун (5.40) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Nu = 0,018 e_c \cdot Re^{0,8} \quad (5.44)$$

Ўтиш соҳасида иссиқликнинг берилиши ( $2300 < Re < 10\,000$ ). Ҳисоблаш учун аниқ тенглама бўлмаганлиги сабабли қуйидаги тахминий критериял тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (5.45)$$

Тўғри труба ва каналлардаги ламинар оқимда иссиқликнинг берилиши ( $Re < 2300$ ). Эркин конвекциянинг таъсири кам бўлганда ( $Gr < 4 Re Nu$ ,  $Re > 10$  ва  $L/d > 10$ ) қуйидаги ҳисоблаш тенгламасидан фойдаланилади:



5.5- расм. Иссиқлик алмашиниш оқимида Нусельт критерийсини аниқлаш:

1 — вертикал трубалар (мажбурий ва эркин ҳаракат оқимларининг йўналиши бир хил); 2 — горизонтал трубалар; 3 — вертикал трубалар (мажбурий ва эркин ҳаракат оқимлари ўзаро қарама-қарши йўналган); 4 — A—A эркин конвекциясиз.

$$Nu = 1,4 \left( Re \frac{d}{L} \right)^{0,4} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (5.46)$$

Эркин конвекциянинг таъсири бир оз катта бўлганда ( $Gr > 4ReNu$ ) Нусельт критерийсининг қиймати 5.5- расмда кўрсатилган график бўйича аниқланилади. Графикдаги ҳамма критерийларда физик-химиявий катталиқлар чегара қатламининг температураси бўйича олинган:

$$0,5(t_c + t_d).$$

Текис трубалар ўрамининг оқимини кўндаланг айланиши пайтидаги иссиқлик бериши: а) Қоридор (йўлак) симон ва шахматли ўрам учун ( $Re < 1000$ ):

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\varphi} \quad (5.47)$$

б) Қоридорсимон ўрам учун ( $Re > 1000$ ):

$$Nu = 0,22 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\varphi} \quad (5.48)$$

в) Шахматли ўрам учун:

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \cdot \epsilon_\phi. \quad (5.49)$$

Аниқловчи температура сифатида суюқликнинг ўртача температура-си олинади, аниқловчи ўлчам вазифасини трубанинг ташқи диаметри бажаради.  $\epsilon_\phi$  коэффициентни оқимнинг труба ўқиға нисбатан қандай бурчак остида таъсир қилаётганлигини ҳисобға олади (5.2-жадвалға қаранг).

5.2-жадвал

Оқимнинг таъсир бурчаги	90	80	70	60	50	40	30	20	10
коэффициент	1	1	0,98	0,94	0,88	0,78	0,67	0,52	0,42

Газлар учун ҳисоблаш тенгламалари соддалашади. Масалан, труба-лар шахмат усули билан жойлаштирилганда ( $Re > 1000$ ) ҳаво учун ҳисоблаш тенгласи:

$$Nu = 0,356 \cdot Re^{0,6} \cdot \epsilon_\phi. \quad (5.50)$$

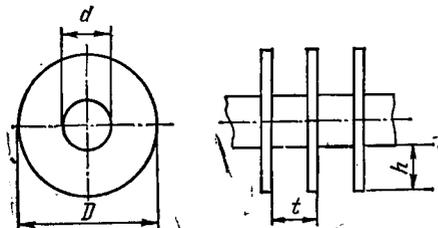
Кўндаланг қиррали трубалар ўрами учун оқимнинг айланиб ўти-шидаги иссиқликнинг берилиши

$$Re = 3000 - 25000 \text{ ва } 3 < \frac{d}{t} < 4,8$$

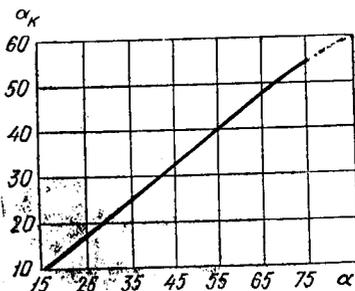
шаронт учун ҳисоблаш тенгласи қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = C \left(\frac{d}{t}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^{-0,14} \cdot Re^n \cdot Pr^{0,4}; \quad (5.51)$$

бу ерда  $d$  — трубанинг ташқи диаметри;  $t$  — қирраларнинг қадами;  $D$  — қирра-нинг диаметри;  $h = \frac{D-d}{2}$  қирранинги баландлиги.



5.6-расм. Кўндаланг қиррали трубалар.



5.7-расм.  $\alpha_k$  нинг  $\alpha$  билан ўзаро боғланиши.

Аниқловчи температура — суюқликнинг ўртача температураси, аниқловчи ўлчам эса — қирранинг баландлиги (5.6-расм). Коридорсимон ўрам учун:  $C = 0,116$ ;  $n = 0,72$ ; шахматли ўрам учун:  $C = 0,25$ ;  $n = 0,65$ .

(5.51) тенглама бўйича  $\alpha$  нинг қиймати топилади, сўнгра 5.7-расмда берилган график бўйича келтирилган иссиқлик бериш коэффициентини  $\alpha_x$  аниқланади. Бунда иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_T}{F_H} + \Sigma r}; \quad (5.52)$$

бу ерда  $F_T$  — қиррали труба ташқи юзалари тўла майдоннинг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати;  $F_H$  — труба ички юзаси майдонининг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати;  $\alpha_2$  — трубанинг ичидан ўтаётган оқим учун иссиқлик бериш коэффициенти;  $\Sigma r$  — девор ва девор юзаларига жойлашган ифлосликлар термик қаршиликларининг йиғиндиси.

Суюқликларни аралаштиргичлар билан аралаштириш пайтида иссиқликнинг берилиши. Змеевикли, қобиқли ва аралаштиргичли аппаратларда иссиқлик бериш коэффициенти  $\alpha$  ни қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$Nu = c \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_d} \right)^{0,14} \cdot \Gamma^{-1}, \quad (5.53)$$

$$\text{бу ерда } Nu = \frac{\alpha d_m}{\lambda}; \quad Re = \frac{\rho n \cdot d_a^2}{\mu}; \quad \Gamma = \frac{D}{d_a};$$

$D$  — аппарат диаметри;  $n$  — аралаштиргичнинг айланишлар сони;  $d_a$  — аралаштиргичнинг диаметри,  $\mu_d$  — суюқликнинг қобиқ девори ёки змеевик температураси бўйича топилган динамик қовушоқлик коэффициенти;  $\mu$  — суюқликнинг ўртача температура  $\left( \frac{t + t_d}{2} = t_f \right)$  бўйича топилган динамик қовушоқлик коэффициенти.

Қолган физик катталиклар аппарат ичидаги суюқликнинг ўртача температураси  $t_f$  бўйича олинади. Қобиқли аппаратлар учун  $c = 0,36$  ва  $m = 0,67$ ; змеевикли аппаратлар учун  $c = 0,87$  ва  $m = 0,62$ .

(5.53) тенглама диаметри 1,5 м гача бўлган аппаратлардаги турбинали, пропеллерли ва парракли аралаштиргичлар учун ( $\Gamma = 2,5-4$ ) яхши натижалар беради.

Эркин конвекция пайтида иссиқлик бериш: а) горизонтал трубаларнинг ташқи томонида иссиқлик бериши ( $10^3 < Gr Pr < 10^9$ ):

$$Nu = 0,5 (Gr Pr)^{0,25} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (5.54)$$

б) вертикал цилиндрсимон ва текис юзаларда иссиқлик бериш ( $10^3 < Gr Pr < 10^9$ ):

$$Nu = 0,76 (Gr Pr)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (5.55)$$

в) вертикал цилиндрсимон ва текис юзалар учун ( $Gr Pr > 10^9$ ):

$$Nu = 0,15(Gr Pr)^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (5.56)$$

Аниқловчи температура сифатида муҳитнинг температураси ҳисобга олинади. Горизонтал трубалар учун аниқловчи ўлчам бўлиб диаметр, вертикал юзалар учун эса баландлик олинади.

### 5.6- §. Агрегат ҳолатнинг ўзгаришида иссиқлик бериш

Айрим иссиқлик алмашилиш процессларида иситилаётган ёки совилаётган материаллар ўзининг агрегат ҳолатини ўзгартиради, яъни буғланиш, конденсациялаш, суюқланиш ёки кристалланиш процесслари содир бўлади. Бу процесслар алоҳида хусусиятга эга: материалга иссиқликнинг келиши ёки ундан олиб кетилиши ўзгармас температурада боради, иссиқлик бир фазада эмас, балки икки фазада тарқалади. Бундай процессларни ўрганишда агрегат ҳолатнинг ўзгариш иссиқлигини албатта ҳисобга олиш керак. Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган процессларни ҳисоблаш учун конвектив иссиқлик белгиловчи қўшимча критерий киритилади.

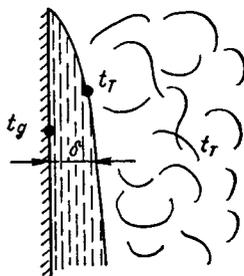
Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган процесслар ичида буғнинг конденсацияланиши ва суюқликларнинг қайнаши пайтидаги иссиқлик бериш кенг ишлатилади.

**Буғнинг конденсацияланиши.** Химиявий аппаратларда буғ орқали иссиқлик беришда буғ юпқа қатлам ҳолида конденсацияланади. Буғнинг конденсацияланиши вақтида асосий термик қаршилик конденсатнинг юпқа қатламида юз беради. Юпқа қатламнинг девор томондаги температурасини деворнинг температураси  $t_d$  га, буғ томондаги температурасини эса тўйиниш температураси  $t_r$  га тенг деб олинади (5.8-расм). Юпқа қатламнинг термик қаршилигига нисбатан буғ фазасининг термик қаршилиги жуда кичик.

Конденсат юпқа қатламининг режими Рейнольдс сонига боғлиқ: буғнинг конденсацияланишида иссиқлик бериш тезлигига конденсатнинг физик хоссалари (зичлик, қовушоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик), деворнинг ғадир-будирлиги, деворнинг фазода жойланиши ва унинг ўлчамлари таъсир кўрсатади. Девор юзасидаги ғадир-будирликнинг кўпайиши ва вертикал девор баландлигининг ортиши билан конденсат қатлами пастга қараб қалинлашиб боради (5.8-расмга қараңг).

Буғнинг конденсацияланишида иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги умумий тенглама ёрдамида аниқланилади:

$$Nu = f(Ga, Pr, K); \quad (5.57)$$



5.8- расм. Конденсатнинг юпқа қатламида температуранинг тақсимланиши.

бу ерда  $Ga = \frac{gl^3\rho^2}{\mu^2}$  — Галилей критерийси;  
 $Pr = c\mu/\lambda$  — Прандтл критерийси;  
 $K = r/c\Delta t$  — конденсацияланиш критерийси.

Галилей критерийси оқимдаги оғирлик кучи ва ишқаланиш кучларининг нисбатини белгилайди. Конденсацияланиш критерийси эса агрегат ҳолатнинг ўзгаришини ифодалайди.

(5.57) ифодани қайта ишлаш натижасида вертикал жойлашган текис ёки цилиндрсимон юзада конденсат юпқа қатламининг ламинар ҳаракати учун қуйидаги назарий тенглама чиқарилган:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t H}} \quad (5.58)$$

Конденсатнинг физик-химиявий катталиклари ( $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ) юпқа қатламнинг ўртача температураси  $t_{пл} = \frac{t_T + t_D}{2}$  бўйича топилади. Конденсацияланиш иссиқлиги тўйиниш температураси  $t_T$  га қараб аниқланади. Температуралар фарқи  $\Delta t = t_T - t_D$ .  $H$  — вертикал юзанинг баландлиги.

Битта горизонтал трубанинг ташқи юзасида буғнинг конденсацияланиши учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t d}} \quad (5.59)$$

бу ерда  $d$  — труба диаметри.

Техникавий ҳисоблашларда, агар иссиқлик беришнинг иккинчи коэффициенти анча кичик қийматга эга бўлса, конденсацияланаётган сув буғи учун иссиқлик бериш коэффицентининг қийматини тахминан қуйидаги интервалда олиш мумкин:

$$\alpha = 10000 \dots 12000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \text{ ёки } \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

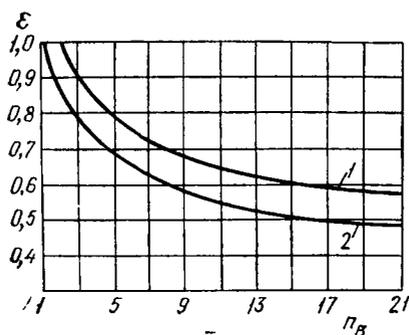
Горизонтал трубалар ўрамининг ташқи юзаларида конденсацияланган буғ пастки трубаларга тушган сари конденсат қатламининг қалинлиги катталашиб боради. Шу сабабли пастки трубалар учун иссиқлик бериш коэффициенти камайиб кетади. Трубалар ўрами учун ўртача иссиқлик бериш коэффициенти қуйидагича топилади:

$$\alpha_y = \varepsilon \cdot \alpha, \quad (5.60)$$

бу ерда  $\alpha$  — алоҳида олинган горизонтал труба учун (5.59) тенглама бўйича ҳисобланган иссиқлик бериш коэффициенти;  $\varepsilon$  — трубаларнинг ўрамда жойлашувига ва уларнинг сонига боғлиқ бўлган коэффицент, унинг қиймати график бўйича топилади (5.9-расмга қаранг).

**Суюқликнинг қайнаши.** Суюқликнинг қайнаши пайтида иссиқлик бериш процессидан химия технологиясида (масалан, буғлатиш, ректификация, совитиш қурилмаларида) кенг фойдаланилади. Бу процесс жуда мураккаб процесслар жумласига киради.

Суюқлик қайнаш температурасигача қиздирилганда девор яқинидаги чегара қатлам бузилади, натижада буғ пуфакчалари ҳосил



5.9- расм. Трубалар сони ва ўрамнинг жойлашишига боғлиқлик ( $\epsilon$ ) коэффициентни аниқлаш:

1 — шахмат тартибда жойлаштириш; 2 — коридорли жойлаштириш.

бўлади. Бу пуфакчаларнинг шакли ва уларнинг сони берилётган иссиқлик миқдорига, иситиш юзасининг тозалигига ва ғадир-будирлигига, суюқликнинг иситиш юзасини намлаш қобилятига боғлиқ. Бу пуфакчалари маълум ўлчамга эга бўлгандан сўнг қайнаётган суюқликнинг юзасига чиқади. Пуфакчалар кўтарилаётган пайтда унинг ичидаги суюқлик буғланади, натижада пуфакчаларнинг ҳажми катталашиб боради. Шундай қилиб суюқликнинг қайнаш пайтидаги иссиқликнинг берилиши икки қисмдан иборат бўлади: иссиқликнинг девор орқали суюқликка берилиши, пуфакларнинг ички юзасидан буғланиш иссиқлиги орқали иссиқликнинг тарқалиши.

Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, суюқликнинг қайнаш пайтида бу пуфакчалари иситиш юзасининг айрим жойларида (буғ ҳосил бўлиш марказларида) ҳосил бўлади. Бундай марказлар вазифасини қаттиқ юзадаги ғадир-будирликлар, ифлосланган заррачалар ва шу кабилар ўтайди. Иситиш юзасидан ажралиб чиқаётган пайтдаги бу пуфакчаларнинг ўлчами  $d_0$  қуйидаги тенгламадан топилади:

$$d_0 = 0,02 \cdot \Theta \cdot \sqrt{\frac{\delta}{\gamma \cdot \gamma_0}}; \quad (5.61)$$

бу ерда  $\delta$  — суюқликнинг сирт таранглиги, Н/м;  $\gamma$  — суюқликнинг солиштирма оғирлиги, Н/м<sup>3</sup>;  $\gamma_0$  — буғнинг солиштирма оғирлиги, Н/м<sup>3</sup>;  $\Theta$  — намланишнинг chegarий бурчаги.

(5.61) тенглама бўйича ҳисоблашдан шу нарса маълум бўлдики, сувнинг атмосфера босимида қайнаши пайтида иситиш юзасидан ажралиб чиқаётган бу пуфакчаларнинг диаметри 2 ... 3 мм га тенг экан.

Суюқликнинг қайнаши икки хил режимда бориши мумкин (пуфакли қайнаш, юпқа қатлам билан қайнаш). Пуфакли қайнаш пайтида иссиқлик бериш тезлиги анча юқори бўлади. Температуралар фарқи  $\Delta t (\Delta t = t_d - t_k)$ ; бу ерда  $t_d$  — иситиш юзасининг температураси,  $t_k$  — суюқликнинг қайнаш температураси) ортиб борган сари буғланиш

марказлари шундай кўпайиб кетадики, оқибатда пуфакчаларнинг ўзаро қўшилиб кетиши натижасида иситиш юзасининг усти қиздирилган бугнинг юпқа қатлами билан қопланади. Бу қатлам иссиқликни ёмон ўтказганлиги сабабли  $\alpha$  нинг қиймати камайиб кетади. Бундай ҳолат юпқа қатлам билан қайнаш деб юритилади.

Пуфакли қайнашдан юпқа қатлам билан қайнашга ўтишга тўғри келган нуқтага  $\alpha$  ва  $q$  нинг критик қийматлари мос келади. Масалан, сув учун:  $q_{кр} = 1,16 \cdot 10^6$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha = 4,6 \cdot 10^4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Одатда деворни ўта исидан сақлаш ва қайнаш процессини пуфакли режимда олиб бориш учун аппаратларни критик қийматдан кам бўлган солиштирма иссиқлик сарфи  $q$  билан ишлатиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Масалан, сувни ва сувли эритмаларни буглатиш учун  $q = 9,4 \cdot 10^4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) дан ортиқ бўлмаган солиштирма иссиқликни сарфлаш керак.

Қатта ҳажмда эркин конвекция билан пуфакли қайнаш режими учун иситиш юзасини намловчи суюқликларда  $\alpha$  нинг қиймати қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$\alpha = A \cdot q^{0,7} \quad (5.62)$$

ёки

$$\alpha = A^{3,33} \cdot \Delta t^{2,33}; \quad (5.63)$$

$$\text{бу ерда } A = 7,77 \cdot 10^{-2} \left( \frac{\rho_n \cdot r}{\rho - \rho_n} \right)^{0,033} \left( \frac{\rho}{\delta} \right)^{0,333} \frac{\lambda^{0,75}}{\mu^{0,45} \cdot c^{0,117} \cdot t_T^{0,37}} \cdot \quad (5.64)$$

бунда  $\rho_n$  — бугнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $r$  — буг ҳосил бўлиш иссиқлиги Ж/кг;  $t_T$  — тўйиниш температураси, К;  $\rho$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  ва  $c$  — суюқликнинг физик-химиявий катталиклари.

Сув учун (5.62) ва (5.63) тенгламалар анча содалашади:

$$\alpha = 0,56 q^{0,7} \cdot p^{0,15}. \quad (5.65)$$

ёки

$$\alpha = 0,145 \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} \quad (5.66)$$

бу ерда  $p$  — босим Н/м<sup>2</sup>.

## 5.7-§. Донадор материаллар қатламида иссиқликнинг тарқалиши

Донадор қаттиқ материаллар ва газ оқими ўртасида иссиқликнинг тарқалиш процесси химия саноатининг айрим тармоқларида кенг ишлатилади.

**Қўзғалмас донадор қатламда иссиқликнинг берилиши.** Донадор қатлам (насадка) орқали иссиқлик ташувчи агентнинг ўтиш пайтидаги иссиқликнинг берилиши жуда мураккаб процесс бўлиб, унинг тезлиги қаттиқ материал доналарининг шакли ва ўлчамига, насадканинг материали, қатламнинг ғоваклиги, газнинг температураси ҳамда хоссалари ва шу каби катталикларга боғлиқ.

Иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган ( $\lambda = 0,13 \dots 1,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) қўзғалмас насадка орқали турғун режим ( $Re = 50-2000$ ) билан газ

Ўтганда иссиқликнинг берилишини ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама таклиф қилинган:

$$Nu = 0,123 \cdot Re^{0,83}; \quad (5.67)$$

бу ерда  $Nu = \frac{\alpha \cdot d_3}{\lambda}$ ;  $Re = \frac{\omega \cdot d_3}{\mu}$ ;  $\omega = \omega_0 \rho$ ;  $d_3$  — насадканинг эквивалент диаметри;  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\lambda$  — газнинг физик катталиклари;  $\omega$  — газнинг массавий тезлиги;  $\omega_0$  — газ оқимининг мавҳум тезлиги.

Катта иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлган ( $\lambda_n = 37 - 383$  Вт/(м·К) металл насадкалар учун газ оқимининг режими турғун бўлганда ( $Re = 50 - 1770$ ) иссиқликнинг берилиши қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$Nu = 0,025 \left( \frac{\lambda_n}{\lambda} \right)^{0,15} \cdot Re^{0,89} \quad (5.68)$$

бу ерда  $\lambda_n / \lambda$  — насадка ва газ иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларининг нисбати.

**Мавҳум қайнаш қатламда иссиқликнинг берилиши.** Иссиқлик тарқаладиган юза катта бўлганлиги сабабли донадор материалнинг мавҳум қайнаш қатламида иссиқлик катта тезлик билан тарқалади. Иссиқликнинг тарқалишида қатнашаётган юзани ҳамда қаттиқ модда ва газ (ёки суюқлик) температуралари ўртасидаги ҳақиқий фарқни аниқлаш қийин бўлганлиги сабабли бундай процессларни ҳисоблаш ҳам қийин. Мавҳум қайнаш қатламида иссиқликнинг тарқалиши икки қисмдан иборат бўлади: газ оқимидан қаттиқ заррачаларга иссиқликнинг конвектив иссиқлик алмашилиш йўли билан берилиши, қаттиқ заррачалар ичида иссиқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан тарқалиши. Газ ва қаттиқ заррачалар температуралари орасидаги фарқ жуда кичик бўлганлиги сабабли нурланиш орқали иссиқликнинг тарқалиши ҳисобга олинмайди.

Газ оқимидан қаттиқ заррачаларга вақт бирлиги ичида берилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$Q = \alpha F_k \cdot \Delta t, \quad (5.69)$$

бу ерда  $F_k$  — қаттиқ заррачаларнинг юзаси;  $\Delta t$  — газ ва қаттиқ заррачалар (ёки аксинча) температуралари ўртасидаги фарқ.

Газ оқимидан мавҳум қайнаш ҳолатидаги қаттиқ заррачаларга (ёки аксинча) иссиқлик бериш коэффициенти  $\alpha$  Рейнольдс критерийсининг қийматиغا, муҳитнинг физик хоссаларига, қаттиқ заррачаларнинг ўлчамига ва системанинг геометрик ўлчамларига боғлиқ. Таҳминий ҳисоблашлар учун қуйидаги тенгламалар таклиф этилган:

$$Re < 200, Nu = 1,6 \cdot 10^{-2} \left( \frac{Re}{\varepsilon} \right)^{1,3} \cdot Pr^{1/3}; \quad (5.70)$$

$$Re \geq 200, Nu = 0,4 \cdot \left( \frac{Re}{\varepsilon} \right)^{2/3} \cdot Pr^{1/3}; \quad (5.71)$$

бу ерда  $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ ;  $Re = \frac{\omega_0 \cdot d \cdot \rho}{\varepsilon \cdot \mu}$ ;  $d$  — қаттиқ заррачаларнинг диаметри;  $\varepsilon$  — қатламнинг ғовақлилиги;  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\lambda$  — газ (ёки суюқлик) нинг физик хоссалари.

## 5.8-§. Иссиқликнинг ўтиши

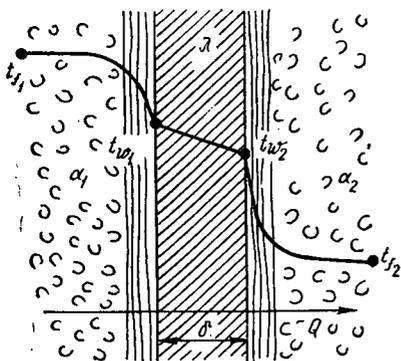
Иссиқлик алмашиниш процессларида иссиқлик бир муҳитдан иккинчисига ўтади. Кўпинча иссиқлик ташувчи агентлар бир-биридан девор орқали (аппаратнинг, трубанинг девори ва ҳоказо) ажратилган бўлади. Температураси юқори бўлган муҳитдан температураси паст бўлган муҳитга бирор девор орқали иссиқликнинг берилиши *иссиқликнинг ўтиши* деб аталади. Бунда берилган иссиқликнинг миқдори  $Q$  иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади;

$$Q = K \cdot \Delta t_{\text{ур}} \cdot F \cdot \tau; \quad (5.72)$$

бу ерда  $K$  — иссиқлик ўтказиш коэффициенти;  $\Delta t_{\text{ур}}$  — иссиқ ва совуқ муҳит температураларининг ўртача фарқи;  $F$  — муҳитларни ажратувчи девор юзаси;  $\tau$  — процесснинг давомлиги.

Узлуксиз ишлайдиган турғун процесслар учун (5.72) тенгламадан  $\tau$  ҳисобга олинмайди. У ҳолда:

$$Q = K \Delta t_{\text{ур}} \cdot F. \quad (5.73)$$



5.10- рasm. Текис девор орқали иссиқликнинг ўтиш процессида температуранинг ўзгариши.

(5.72) тенгламадаги  $K$  — биринчи муҳит марказидан ажратувчи деворга иссиқликнинг берилиши, яъни девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик ва девор юзасидан иккинчи муҳит марказига иссиқлик бериш йўллари орқали ўтиш тезлигини белгиловчи коэффициент.

$K$  нинг қийматини топиш учун иссиқ муҳитдан совуқ муҳитга текис девор орқали иссиқликнинг ўтиш процессини кўриб чиқамиз (5.10- рasm).

Турғун процесс учун биринчи муҳит марказидан деворга берилган, девордан ўтган ва девордан иккинчи муҳит марказига берилган

иссиқликнинг миқдори ўзаро тенг, яъни:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1(t_{f1} - t_{w1}) \cdot F \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2}) \cdot F \\ Q &= \alpha_2(t_{w2} - t_{f2}) \cdot F \end{aligned} \right\} \quad (5.74)$$

(5.74) ифодалардан қуйидагиларни олиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} t_{f1} - t_{w1} &= \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{w1} - t_{w2} &= \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{w2} - t_{f2} &= \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F} \end{aligned} \right\} \quad (5.75)$$

(5.75) тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини ўзаро қўшамиз:

$$t_{1_1} - t_{1_2} = \frac{Q}{F} \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (5.76)$$

ёки

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{1_1} - t_{1_2}). \quad (5.77)$$

(5.73) ва (5.77) тенгламаларни ўзаро солиштириш натижасида текис девор учун қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5.78)$$

ёки

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (5.79)$$

Иссиқлик ўтказиш коэффициентига тескари бўлган қиймат иссиқлик ўтишининг *термик қаршилиги* деб юритилади.  $\frac{1}{\alpha_1}$  ва  $\frac{1}{\alpha_2}$  қийматлар иссиқлик беришнинг термик қаршиликларини,  $\delta/\lambda$  эса деворнинг термик қаршилигини ифодалайди.

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$K = \left[ \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{\text{ур}} \cdot \tau} \right] = \left[ \frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})} \right]$$

Шундай қилиб, иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  температураси юқори бўлган муҳитдан температураси паст бўлган муҳитга вақт бирлиги ичида ажратувчи деворнинг  $1 \text{ м}^2$  юзасидан муҳитлар температуралари фарқи  $1^\circ\text{С}$  бўлганда ўтказилган иссиқликнинг миқдорини билдиради.

Кўп қатламли девордан иссиқлик ўтиш процессида ҳар бир қатламнинг термик қаршиликлари ҳисобга олинади. Бу ҳолда  $K$  нинг қиймати қуйидаги тенглама билан топилади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5.80)$$

бу ерда  $i$  — қатламнинг тартиб сони;  $n$  — қатламлар сони.

Химиявий технологияда кўпинча иссиқлик труба юзаси орқали ўтади. Цилиндрсимон юзадан иссиқлик ўтишининг принципаал схемаси 5.2-расмда кўрсатилган. Труба ичида температураси  $t_1$  бўлган иссиқлик муҳити бўлиб, ундан иссиқлик трубанинг ички юзасига берилади. Труба ташқарисида температураси  $t_2$  бўлган совуқ муҳит бор. Труба ташқи юзасидан совуқ муҳитга иссиқликнинг берилиши  $\alpha$  билан ифодаланади. Трубанинг баландлигини  $L$ , ички радиусини

$r_n$ , ташқи радиусини эса  $r_T$  билан белгилаймиз. Цилиндрсимон юзадан ўтказилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади;

$$Q = K_R \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau (t_1 - t_2). \quad (5.81)$$

$K_R$  нинг қиймати эса ушбу тенглама билан ҳисобланади:

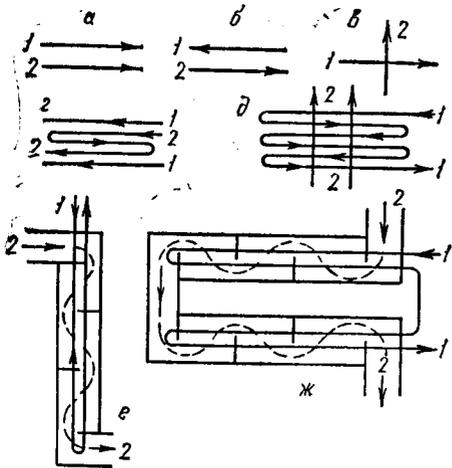
$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n \cdot r_n} + \frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{r_T}{r_n} + \frac{1}{\alpha_T r_T}} \quad (5.82)$$

$K_R$  иссиқлик ўтказишнинг чизиқли коэффиценти деб аталади. Агар  $K$  нинг қиймати юза бирлигига нисбатан олинса,  $K_R$  нинг қиймати труба узунлигининг бирлигига нисбатан олинади. Шу сабабли  $K_R = [Вт/(м \cdot К)]$  ёки  $Вт/(м \cdot ^\circ С)$  ўлчов бирлигига эга.

Қалин деворли цилиндрсимон юзаларни, жумладан, катта қалинликдаги изоляция қатлами билан қопланган трубаларни ҳисоблашдагина (5.81) ва (5.82) тенгламалардан фойдаланилади. Юпқа деворли трубаларни ҳисоблашда эса (5.71) ва (5.78) тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

### 5.9-§. Иссиқлик процессларининг ҳаракатлантирувчи кучи

Муҳитлар температураси ўртасида бирор фарқ бўлгандагина иссиқлик температураси юқори бўлган муҳитдан температураси паст бўлган муҳитга ўтади. Бундай температуралар фарқи иссиқлик алмашилиш юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни улар бир хил қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли иссиқлик алмашилиш процессларини ҳисоблашда ўртача температуралар фарқи  $\Delta t_{\text{ур}}$  деган тушунча ишлатилади. Муҳитларнинг ўртача температуралар фарқи иссиқлик алмашилиш процессларининг ҳаракатлантирувчи кучи деб юритилади.



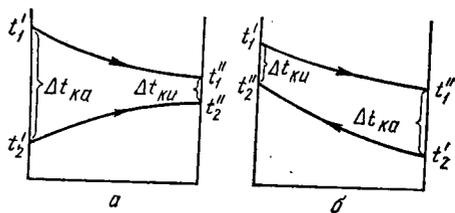
5.11-расм. Иссиқлик алмашилиш аппаратларида иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши:

а) бир хил; б) қарама-қарши; в) ҳар томонлама; д) мураккаб; е) кўп поғонали ҳар томонлама; ж) кўп поғонали бир томонлама

1, 2 — иссиқлик ташувчи агентлар.

Суюқликлар температураларининг иссиқлик алмашилиш юзаси бўйича ўзгариши муҳитларнинг ўзаро йўналишига боғлиқ (5.11-расм). Иссиқлик алмашилиш аппаратларида иссиқ ва совуқ суюқликлар ўзаро параллел (5.11-расм, а), қарама-қарши (5.11-расм, б) ёки ўзаро кесишган (5.11-расм, в) бўлиши мумкин.

Булардан ташқари амалда иссиқлик ташувчи агентларнинг анча мураккаб схемалари ҳам учрайди (5.11- расм, *е, ж*). Иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши бир ёки қарама-қарши томонга йўналган бўлганда (5.12- расм), ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:



5.12- расм. Иссиқлик ташувчи агент температурасининг юза бўйича ўзгариши: а) бир хил йўналишда; б) қарама-қарши йўналишда.

$$\Delta t_{\text{ур}} = \frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{ки}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{ки}}}}, \quad (5.83)$$

бу ерда  $\Delta t_{\text{ка}}$  ва  $\Delta t_{\text{ки}}$  — иссиқлик алмашиниш аппаратининг четларидаги температураларнинг катта ва кичик фарқлари. Температураларнинг бу фарқлари қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_{\text{ка}} = t_1' - t_2'; \quad \Delta t_{\text{ки}} = t_1'' - t_2'';$$

ёки

$$\Delta t_{\text{ка}} = t_1'' - t_2'; \quad \Delta t_{\text{ки}} = t_1' - t_2'', \quad (5.84)$$

Агар  $\Delta t_{\text{ка}} / \Delta t_{\text{ки}} < 2$  бўлса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ур}} = \frac{\Delta t_{\text{ка}} + \Delta t_{\text{ки}}}{2}. \quad (5.85)$$

Бундай ҳисоблашда хатолик 4 % дан ортмайди.

(5.83) тенгламадан кўриниб турибдики, агар  $t_{\text{ка}} = 0$  ва  $t_{\text{ки}} = 0$  бўлса, унда  $\Delta t_{\text{ур}} = 0$ ; агар  $\Delta t_{\text{ка}} = \Delta t_{\text{ки}}$  бўлса:

$$\Delta t_{\text{ур}} = \Delta t_{\text{ка}} = \Delta t_{\text{ки}}.$$

Агарда иссиқлик ташувчи агентлардан бирининг температураси юза бўйича ўзгармаса (тўйинган буғнинг конденсацияланиши, суюқликнинг қайнаши), бундай шароитда  $\Delta t_{\text{ур}}$  нинг қиймати (5.83) ёки (5.85) тенгламалар бўйича ҳисобланади.

Агар иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши ўзаро кесишса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ур}} = \epsilon_{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{ки}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{ки}}}}, \quad (5.86)$$

бу ерда  $\epsilon_{\Delta t}$  — муҳитларнинг температуралари нисбатига боғлиқ бўлган коэффициент. Бу коэффициентнинг қиймати тегишли адабиётларда келтирилади.

## 5.10-§. Иссиқлик ўтказиш процессларини интенсивлаш

Химия саноатидаги кўпчилик процесслар иссиқлик таъсирида бо-  
ради ва бундай процессларни амалга ошириш учун турли иссиқлик  
алмашилиш аппаратлари ишлатилади. Ишлаб чиқаришнинг қувватини  
ошириш учун иссиқлик алмашилиш аппаратлари самарали ишлаши,  
содда бўлиши ва маҳсулот сифатига ёмон таъсир кўрсатмаслиги керак.  
Бундан ташқари, иссиқлик аппаратларини тайёрлаш учун кам металл  
сарф бўлиши лозим. Бундай масалаларни ҳал қилиш учун иссиқлик  
алмашилиш процессларини интенсивлаш зарур.

Иссиқлик процессларини интенсивлаш аппаратлар иш унумдор-  
лигини оширишга, уларнинг ўлчамини кичрайтиришга, ишлаб чиқа-  
риш хоналарининг саҳнини камайтиришга олиб келади. Бу нарса  
ўз навбатида иссиқлик аппаратларини ишлатиш ва уларни ремонт  
қилиш учун кетаётган сарфларни камайтиради, битта ишчига тўғри  
келадиган маҳсулот миқдорини оширади ва ҳоказо. Иссиқлик про-  
цесслари тезлатилганда материални иситиш учун кетаётган вақт  
камаяди, бу ҳол эса маҳсулот сифатини пасайтиришга олиб келмас-  
лиги лозим.

Текис деворлар учун иссиқлик ўтказиш коэффициентини топиш-  
даги қуйидаги тенгламани анализ қилиб кўрамиз;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Деворнинг термик қаршилигини камайтириш учун девор қалин-  
лиги  $\delta$  ни камайтириш ва девор материалининг иссиқлик ўтказувчан-  
лик коэффициенти  $\lambda$  ни кўпайтириш керак. Конвектив иссиқлик алма-  
шилишини ( $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$ ) интенсивлаш учун суюқликни аралаштириш ва  
оқимнинг тезлигини ошириш зарур. Агар иссиқлик нурланиш орқали  
тарқалаётган бўлса, нур чиқараётган юзанинг қоралилик даражасини  
ва унинг температурасини ошириш мақсадга мувофиқдир.

Агар текис деворнинг термик қаршилиги ҳисобга олинмаса  
бунда юқорида берилган тенглама қуйидаги кўринишни олади;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (5.87)$$

(5.87) тенгламадан кўриниб турибдики,  $K$  нинг қиймати ҳар доим  
 $\alpha$  нинг энг кичик қийматидан ҳам кам бўлади.

Агар  $\alpha_1 = 40 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ ,  $\alpha_2 = 5000 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$  бўлса, у ҳолда  $K = 39,7 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$   
бўлади.  $\alpha_2$  қийматининг ортиши  $K$  нинг қийматига таъсир қилмайди.

$\alpha_1 = 40 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$  ва  $\alpha_2 = 10000 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$  бўлганда  $K = 39,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$  бўлади,  $K$   
нинг қийматини анчагина ошириш учун кичик қийматли  $\alpha$  нинг қий-  
матини (бизнинг мисолда  $\alpha_1$  нинг қийматини) ўзгартириш лозим.

Агар  $\alpha_2 = 5000$  ва  $\alpha_1 = 80$  бўлса,  $K = 78,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ ;  $\alpha_1 = 200$  деб  
олинса,  $K = 192 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ .

Демак,  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  бўлса, процессни интенсивлаш учун фақат  $\alpha_1$  нинг қийматини ошириш лозим экан. Агар  $\alpha_1 \approx \alpha_2$  бўлса, бундай иссиқлик алмашилиш процессини тезлатиш учун иккала  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  нинг қийматларини ҳам ошириш мақсадга мувофиқдир.

Айрим техникавий ҳисоблашларда деворнинг термик қаршилигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Аммо бунда айрим хатоликларга йўл қўйилади. Бу хатоликларнинг қийматини ҳисоблаб кўриш лозим. Айниқса,  $K$  нинг қиймати катта бўлганда деворнинг термик қаршилиги ҳисобга олиниши шарт. Ишлаб чиқариш шароитида аппарат деворлари турли ифлосликлар билан қопланиб қолади. Бу ифлосликлар деворнинг термик қаршилигини анча кўпайтиради. Масалан, сувнинг қаттиқлиги ҳисобига девор юзасига ўтириб қолган 1 мм қалинликдаги ифлосликнинг термик қаршилиги 40 мм қалинликдаги пўлат деворнинг термик қаршилигига тенг.

Девор устида ҳар хил ифлосликларнинг ўтириб қолиши, иссиқлик ўтказиш процессини секинлатишдан ташқари, деворнинг температурасини ҳам ошириб юборади. Айрим пайтларда девор температурасининг юқори бўлиб кетиши авария ҳолларига олиб келиши мумкин. Шу сабабдан иссиқлик қурйилмаларини ишлатишда девор юзаларини ҳар хил ифлосликларнинг ўтириб қолишидан сақлаш зарур.

Иссиқлик алмашилиш процессларини қуйидаги усуллар ёрдамида интенсивлаш мумкин; 1) иссиқлик ташувчи агентларнинг тезлигини кўпайтириш; 2) иситиш юзасини даврий равишда тозалаб туриш; 3) асосий суюқлик оқимини пульсацион тебранишлар орқали юбориш; 4) суюқлик оқимига ҳавони ҳайдаш; 5) суюқликнинг юпқа қатламли ҳаракатини ташкил қилиш ва бошқалар. Ҳар бир конкрет шароит учун интенсивлашнинг тегишли усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

## 6- боб. ИССИҚЛИК ПРОЦЕССЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ

### А. ИСИТИШ, СОВИТИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯЛАНИШ

#### 6.1-§. Умумий тушунчалар

Химия саноатида суюқлик ва газларни иситиш ва совитиш, буғларни конденсациялаш каби иссиқлик процесслари кенг тарқалган. Бундай процесслар иссиқлик алмашилиш аппаратларида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашилиш процессларида қатнашувчи моддалар иссиқлик ташувчи агентлар деб юритилади. Юқори температурага эга бўлиб, ўзидан иссиқликни иситилаётган муҳитга берувчи моддалар иситувчи агентлар деб юритилади. Совитилаётган муҳитга нисбатан паст температурага эга бўлган ва ўзига муҳитдан иссиқликни олувчи моддалар совитувчи агентлар деб аталади.

Химиявий технологияда кўпинча бевосита иссиқлик манбаи сифатида ёқилғиларнинг ёнишидан ҳосил бўлган газлар ва электр энергияси ишлатилади. Бундай бевосита иссиқлик манбаларидан иссиқлик олиб, ўзининг иссиқлигини аппаратларнинг деворлари орқали

иситилаётган муҳитга берувчи моддалар оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар деб аталади. Оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар қаторига сув буғи, иссиқ сув ва юқори температурали иссиқлик ташувчи моддалар (қиздирилган сув, минерал мойлар, органик суюқликлар ва уларнинг буғлари, суюлтирилган тузлар, суюқ металллар ва уларнинг қошимлари) киради.

Оддий температурагача (10 ... 30° С) совитиш учун сув ва ҳаво каби совитувчи агентлар кенг ишлатилади.

Иссиқлик ташувчи агентларни танлашда уларнинг қуйидаги хоссаларига аҳамият бериш керак: 1) керакли муҳитни иситиш ёки совитиш даражаси ва уни бошқариш; 2) минимал массавий ва ҳажмий сарфларда юқори иссиқлик алмашилиш тезлигига эришиш; 3) қовушоқлиги кам, зичлик, иссиқлик сиғими ва буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги юқори; 4) ёнмайдиган, заҳарсиз, иссиқликка чидамли бўлгани маъқул; 5) иссиқлик алмашилиш аппарати тайёрланган материални бузмаслиги керак; 6) камёб бўлмаслиги ва арзон бўлиши зарур.

Кўпчилик шароитларда иситувчи агентлар сифатида ишлаб чиқаришдан чиқаётган маҳсулотлар, ярим маҳсулотлар ва чиқиндиларнинг иссиқликларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир.

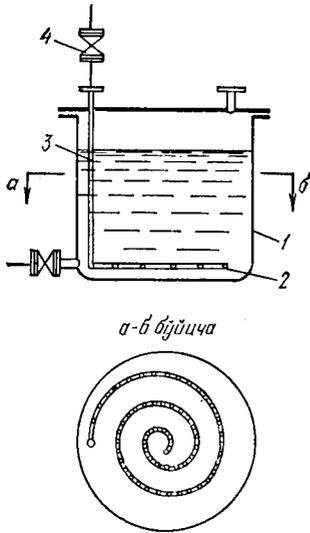
## 6.2-§. Сув буғи ва иссиқ сув билан иситиш

Саноатда иситувчи агент сифатида тўйинган сув буғи кенг ишлатилади. Сув буғи бир қатор афзалликларга эга. Буғнинг конденсацияланишида катта миқдорда иссиқлик ажралади, чунки буғнинг конденсацияланиш иссиқлиги  $9,8 \cdot 10^4 \text{Н/м}^2$  босимда  $2,26 \cdot 10^6 \text{ Ж/кг}$  га тенг. Конденсацияланган буғ орқали иссиқлик бериш коэффициенти юқори бўлганлиги сабабли буғда иссиқликнинг термик қаршилиги ҳам бўлади. Натижада иситиш учун жуда кам юза талаб қилинади.

Тўйинган сув буғи маълум бир босимда бир хил температурада конденсацияланади, бу унинг катта афзаллиги ҳисобланади. Натижада тегишли иситиш температурасини жуда аниқ ушлаб туриш имконияти пайдо бўлади. Керак бўлган шароитда буғнинг босимини ўзгартириш йўли билан иситиш даражасини бошқариш мумкин. Буғ конденсатидан фойдаланиш натижасида ҳам иситувчи қурилмаларнинг фойдали иш коэффициенти анча юқори бўлади. Сув буғи ёнмайди ва ундан фойдаланиш анча қулай. Сув буғининг температураси ортиши билан унинг босими ҳам ортади. Бу ҳол сув буғининг асосий камчилигидир. Шу сабабли амалда тўйинган сув буғи ёрдамида фақат 180 ... 190° С гача иситиш мумкин (бунда босим 1 ... 1,2 МПа га тенг бўлади). Катта босимли буғни ишлатиш учун қалин деворли ва қимматбаҳо аппаратлар керак бўлади.

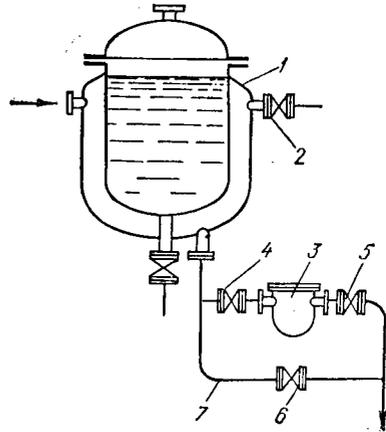
Айрим шароитларда иситувчи агент сифатида иссиқ сув ҳам ишлатилади. Аммо бу усул билан иситиш камчиликлардан ҳоли эмас.

**Ўткир буғ билан иситиш.** Бунда сув буғи тўғридан-тўғри иситилаётган суюқликка киритилади. Буғнинг конденсацияланишида ажралиб чиқаётган иссиқлик суюқликка ўтади, ҳосил бўлган конденсат эса суюқлик билан аралашади. Суюқликни бир пайтнинг ўзида иситиш



6.1- расм. Буғ барботёри:

1 — резервуар; 2 — барботёр; 3 — буғ кирувчи труба; 4 — вентиль.



6.2- расм. Конденсат узаткич қурил-  
маси:

1 — иситувчи қобик; 2 — вентиль; 3 — сув ажраткич; 4, 5, 6 — махсус тортувчи вентил-лар; 7 — айланма каналли труба.

ва аралаштириш учун барботёр (майда тешиклари бўлган труба) орқали сув буғи юборилади (6.1- расм). Ўткир буғ билан иситиш процессида иситилаётган суюқлик конденсат ҳисобига анча суюлтирилади. Шу сабабли одатда ўткир буғ сув ва сувли эритмаларни иситиш учун ишлатилади.

Суюқликларни иситиш учун керак бўлган ўткир буғнинг сарфи қуйидаги иссиқлик баланси орқали топилади:

$$Gc t_1 + D I_6 = Gc_k t_2 + Dc_k t_2 + Q_n; \quad (6.1)$$

бу ерда  $G$  — иситилаётган суюқлик миқдори,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  $C_k$  — конденсатнинг солиштирма иссиқлик сифими,  $\text{кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $c$  — суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими,  $\text{кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $t_1$  ва  $t_2$  — суюқликнинг иситишдан олдинги ва кейинги температуралари,  $\text{К}(\text{°C})$ ;  $D$  — иситувчи буғнинг сарфи,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $I_6$  — буғнинг энтальпияси (иссиқлик ушлаши),  $\text{кЖ}/\text{кг}$ ;  $Q_n$  — аппаратнинг аτροφ-муҳитга йўқотган иссиқлиги.

Бундан ўткир буғнинг сарфи:

$$D = \frac{G \cdot c (t_2 - t_1) + Q_n}{I_6 - c_k t_2}. \quad (6.2)$$

**Кучсиз буғ билан иситиш.** Бунда иссиқлик буғдан суюқликка бир орқали ажратувчи девор (масалан, қобикли ва змеевикли аппаратларда) орқали ўтади. Иситувчи буғ тўла конденсацияланади ва у аппаратнинг иситиш бўшлиғидан конденсат сифатида чиқарилади (6.2- расм). Конденсат температурасини буғнинг тўйиниш температурасига тенг деб олиш мумкин.

Кучсиз буғнинг сарфи қуйидаги иссиқлик балансидан топилади:

$$Gct_1 + DI_6 = Gct_2 + DI_k + Q_R \quad (6.3)$$

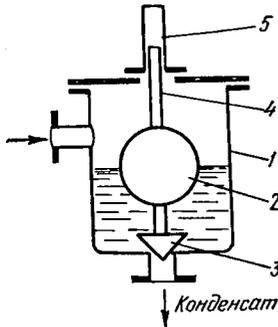
ёки

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_R}{I_6 - I_k}, \quad (6.4)$$

бу ерда  $I_k$  — конденсат энтальпияси.

Иситиш бўшлиғида буғ ушланиб қолган ҳолатда конденсатни чиқариш учун конденсат узатувчилар ишлатилади. Конденсат узатувчилар ёпиқ ва очиқ қалқовичли, биметалл текис пружинали бўлиши мумкин. Бундан ташқари, конденсат узатувчилар сифатида махсус шайба ва филтрлар ҳам ишлатилади.

6.3-расмда ёпиқ қалқовичли конденсат узатувчининг схемаси берилган.



6.3- расм. Ёпиқ қалқовичли конденсат узаткич:

1 — қобик; 2 — қалқович; 3 — очилувчи клапан; 4 — стержень; 5 — йўналтирувчи стакан.

Ёпиқ қалқовичли конденсат узатувчилар буғнинг абсолют босими 1МПа дан юқори бўлганда ишлатилади. Қурилманинг ичига конденсат кирганида қалқович юқорига силжийди, бу пайтда клапан очилиб конденсат чиқарилади. Конденсат чиқиб бўлгандан сўнг қалқович пастга тушади ва клапан чиқариш тешигини беркитади. Қалқовичнинг вертикал ҳолати стержень ва йўналтирувчи стакан ёрдамида ушлаб турилади. Агар конденсат маълум меъёрдаги сарф билан қурилмага узлуксиз равишда киритиб турилса, бунда клапан ҳам маълум даражада доим очиқ бўлади.

Кучсиз буғ ишлатилганда иситиш бўшлиғида конденсацияланишга учрамайдиган газлар (кўпинча ҳаво) йиғилиб қолади. Бундай газлар

одатда сув буғи билан бирга қурилманинг иситиш бўшлиғига кириб қолади. Газларнинг йиғилиб қолиши буғнинг конденсацияланиши пайтидаги иссиқлик бериш коэффициентини кескин камайтириб юборади. Шу сабабли иситиш бўшлиғида йиғилиб қолган газлар қурилмадан даврий равишда чиқарилиб турилиши шарт. Бу мақсад учун аппаратда вентилли штуцер ўрнатилган бўлади.

**Иссиқ сув билан иситиш.** Иссиқ сув ёрдамида одатда 100°С гача иситиш мумкин. 100°С дан ортиқ температурада иситиш учун юқори босимли иссиқ сув ишлатилади. Айрим шароитларда иситиш учун сув буғининг конденсатидан фойдаланилади. Иссиқ сув тутун газлари билан иситиладиган сув иситувчи қозонларда ва буғ ёрдамида ишлайдиган иситкичлар (бойлерлар) да олинади.

Иссиқ сув билан иситиш бир қатор камчиликларга эга. Иссиқ сув орқали иссиқлик бериш коэффициенти конденсацияланаётган буғ орқали иссиқлик бериш коэффициентига нисбатан анча кам. Иссиқлик алмашиниш юзаси бўйлаб иссиқ сувнинг температураси ўзгариб боради, бу ҳол эса бир текисда иситишни ташкил қилиш ва иситиш процессини бошқаришни қийинлаштиради.

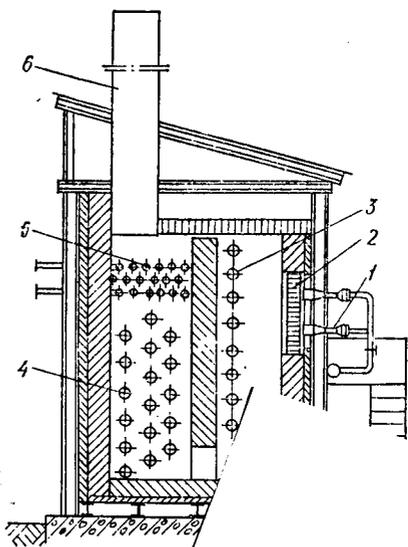
### 6.3-§. Тутун газлари билан иситиш

Тутун газлари билан иситиш химия саноатида ишлатилиб келинаётган энг эски усуллардан бири ҳисобланади. Тутун газлари суяқ, қаттиқ ва газсимон ёқилғиларнинг ёнишидан ҳосил бўлади. Буларнинг ичида табиий газлар энг арзон ва самарали ёнилғидир. Бундай газлар ёрдамида юқори температураларгача (1000 ... 1100° С) иситиш мумкин. Қўпинча тутун газларидан бошқа оралиқ иссиқлик ташувчи агентларни иситиш учун фойдаланилади. Бунда тутун газларидаги иссиқлик бирор девор орқали оралиқ иссиқлик ташувчи агентларга ўтказилади.

Тутун газлари бир қатор камчиликларга эга: иссиқлик алмашишида газларнинг совиши натижасида бир текисда иситиш мумкин эмас; иситиш температурасини бошқариш қийин; газдан деворга иссиқлик бериш коэффициенти кичик (35 ... 60 Вт/(м<sup>2</sup>·К) дан кўп эмас); иситиш юзалари ифлосланиши мумкин; солиштирма иссиқлик сиғими кичик бўлганлиги сабабли газнинг ҳажмий сарфи катта ва уни узатиш анча қимматга тушади. Тутун газларини олинган жойида ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Булардан ташқари, химия ва бошқа саноат ишлаб чиқаришларида ҳосил бўладиган юқори температурали чиқинди газлардан иситувчи агентлар сифатида фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан анча фойдалидир. Чиқинди газларнинг температураси айрим пайтларда 500—600° С гача етади.

Тутун газлари билан иситиш ўтхоналарда олиб борилади. 6.4-расмда газсимон ёқилғи билан ишлайдиган трубали ўтхона кўрсатилган. Бундай қурилма суяқ маҳсулотларни иситишга мўлжалланган. Ёнувчи газ соплодан чиқаётганда керакли миқдордаги ҳаво билан аралашади, сўнгра бу аралашма ўтга чидамли материалдан тайёрланган говаксимон панелдан ўтади. Ёниш процесси нурланувчи панелнинг юзасида боради. Ҳосил бўлган тутун газлари энг аввал ўтхонанинг радиант қисмига кириди, бу ерда иссиқликнинг асссий улуши змеєвикнинг ичида ҳаракат қилаётган суяқликка нурланиш орқали берилади. Ўтхонанинг конвектив қисмида эса иссиқлик змеєвикдаги суяқликка асосан конвекция усули билан берилади. Ўтхонанинг конвектив қис-



6.4- расм. Газсидиган

1 — соплло; 2 —  
3 — радиант қис  
қиқ; 6 —

150  
C,  
рил,  
паратга  
ликка берг,

мида иссиқликдан янада тўлароқ фойдаланиш мақсадида қўшимча иссиқлик алмашилиш аппаратлари (масалан, змеевикли бешта қиздир-гич) ўрнатилади.

Тутун газлари билан иситишда ёқилғининг сарфи иссиқлик ба-ланси тенгламаси орқали топилади: агар газ ҳолидаги ёқилғининг сарфини  $B$ , тутун газларининг иссиқлик аппаратидаги эн-тальпиясини  $I_1$  ва аппаратдан чиқишдаги энтальпиясини  $I_2$  деб олинса, у ҳолда иссиқлик баланси тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$B = (I_1 - I_2) = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + Q_R \quad (6.5)$$

Бундан:

$$B = \frac{G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + Q_R}{I_1 - I_2};$$

бу ерда  $G$ —иситилаётган муҳитнинг сарфи;  $c$ —иситилаётган муҳитнинг ўртача со-лиштирма иссиқлик сифими;  $t_1$  ва  $t_2$ —иситилаётган муҳитнинг бошланғич ва охириги температу ралари;  $Q_R$  — атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилишини, газларнинг хи-миявий тўла ёнмаслиги ва уларнинг диссоциланиши сабабли иссиқликнинг сарф бўлишини ҳисобга олади. Қаттиқ ёқилғиларнинг тўла ёнмаслиги ҳам  $Q_R$  орқали ҳи-собга олинади.

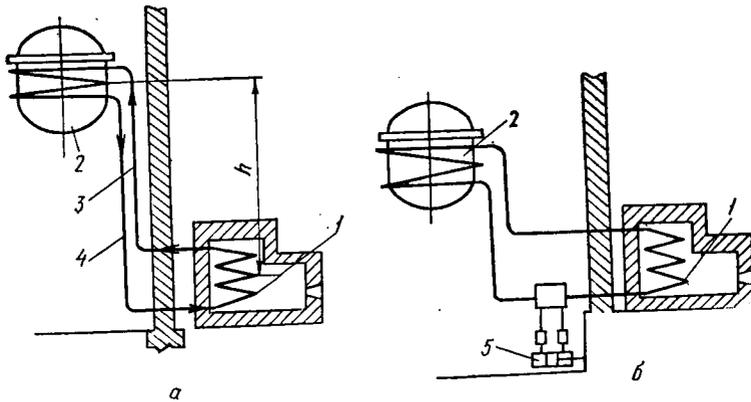
#### 6.4- §. Юқори температурали моддалар билан иситиш

Химия саноатида кўпинча иситиш процесслари юқори темпера-турали иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида олиб борилади. Юқори температурали иссиқлик ташувчи моддалар (ўта қиздирилган сув, минерал ёғлар, юқори температурада қайновчи органик суюқликлар ва уларнинг буғлари, суюлтирилган тузлар, симоб ва суюқ металллар) иссиқликни тутунли газлар ёки электр токидан олади ва бошқа ма-териалларга беради. Шу сабабли бундай моддалар оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар деб юритилади.

**Ўта қиздирилган сув билан иситиш.** Бундай сув иситувчи агент сифатида критик босимларда (22,1 МН/м<sup>2</sup>) ишлатилади. Бундай кри-тик босимга 347° С температура тўғри келади. Шу сабабли ўта қизди-рилган сув ёрдамида материалларни тахминан 350° С гача иситиш мум-кин. Бундай сув ёрдамида иситиш юқори босимларни ишлатиш билан боғлиқ бўлганлиги сабабли иситиш қурилмаси мураккаблашади ва у қиммат туради.

Ўта қиздирилган сув ёки бошқа суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида иситиш табиий ёки мажбурий циркуляция билан ишлайдиган қурилмаларда олиб борилади.

Табиий циркуляция билан ишлайдиган қурилма (6.5- расм, а) тутун газлари билан исийдиган змеевик, иссиқлик сарфлайдиган ап-парат ва суюқликни кўтариш ва туширишга мўлжалланган труба-лардан ташкил топган. Змеевик ўтхонада ёқилғининг ёнишидан ҳо-чм бўлган газлар ёрдамида қиздирилади. Змеевикнинг ичида қизди-рган суюқлик кўтариш трубаси орқали иссиқлик сарфлайдиган ап-паратга тушади ва ўз иссиқлигини иситилиши лозим бўлган суюқ-ликка беради. Натижада иссиқлик ташувчи суюқлик совийди. Темпе-



6.5- расм. Сууюқ иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида иситиш қурилмаси:

а) табиий циркуляция; б) мажбурий циркуляция; 1 — змеевик; 2 — иссиқлик сарфлайдиган аппарат; 3, 4 — кўтариш ва тушиш трубалари; 5 — циркуляцияли насос.

ратураси пасайган сууюқлик тушириш трубаси орқали ўтхонада жойлашган змеевикка қайтади. Шундай қилиб, берк системада совуқ ва иссиқ сууюқликлар зичликларининг фарқи таъсирида табиий циркуляция юз беради. Трубалар коррозиясини камайтириш ва конденсацияланмайдиган газларнинг ажралишини йўқотиш учун иситиш системаси дистилланган сув билан тўлдирилиши зарур.

Табиий циркуляцияли қурилмаларнинг яхши ишлаши учун иссиқлик сарфловчи аппарат ўтхонага нисбатан энг камида 4...5 м баландликда жойлашган бўлиши керак. Натижада иситиш қурилмасининг умумий баландлиги анча катта қийматга эга бўлади. Аммо бу шароитда ҳам сууюқликнинг тезлиги анча кичикдир, шу сабабли табиий циркуляцияли иситиш қурилмаларининг иш унуми юқори эмас.

Мажбурий циркуляцияли қурилмада (6.5- расм, б) ўтхона ва иссиқлик сарфловчи аппарат ўртасидаги сууюқлик насос ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Мажбурий циркуляция ёрдамида сууюқликнинг тезлиги 2...2,5 м/с ва ундан каттароқ бўлиши мумкин, натижада иссиқлик алмашилиш процессининг самарадорлиги ҳам кўпаяди. Бундай схемада иссиқлик сарфловчи аппаратни ўтхонадан юқорига кўтариш керак эмас. Бу қурилмада битта ўтхона бир неча аппаратни иссиқлик билан таъминлаши мумкин. Бироқ циркуляция учун насоснинг ишлатилиши қурилмани ва уни ишлатишни қимматлаштиради.

**Минерал мойлар билан иситиш.** Минерал мойлар ёрдамида иситиш ўта қиздирилган сув билан иситишга нисбатан оддий ва арзондир. Бундан ташқари, системада юқори босим ишлатиш шарт эмас. Минерал мойлар ёрдамида материалларни энг кўпи билан 250...300° температурага иситиш мумкин.

Минерал мойлар энг арзон органик сууюқликдир. Аммо улар бир қатор камчиликларга эга: иссиқлик бериш коэффициентлари кичик иссиқлик алмашилиш юзасида ифлосланишлар пайдо бўлади, юқори

температураларда мойлар оксидланиши мумкин. Иситиш аппарати етарли даражада яхши ишлаши учун мой ва иситилаётган маҳсулот температураси орасидаги фарқ ками билан  $15 \dots 20^\circ \text{C}$  бўлиши шарт. Шу сабабли ҳозирги кунда минерал мойлар билан иситиш жуда кам ишлатилади.

**Юқори температурали органик суюқликлар билан иситиш.** Юқори температурали органик иссиқлик ташувчи агентлар қаторига органик моддалар (глицерин, этиленгликол, нафталин), ароматик углеводородларнинг айрим ҳосилалари (дифенил, дифенил эфир, дифенилметан, диталилметан ва бошқалар), дифенил ва полифенолларнинг хлорлаш маҳсулотлари ҳамда кўп компонентли органик моддалар (масалан, дифенил ва дифенил эфирнинг аралашмаси) киради.

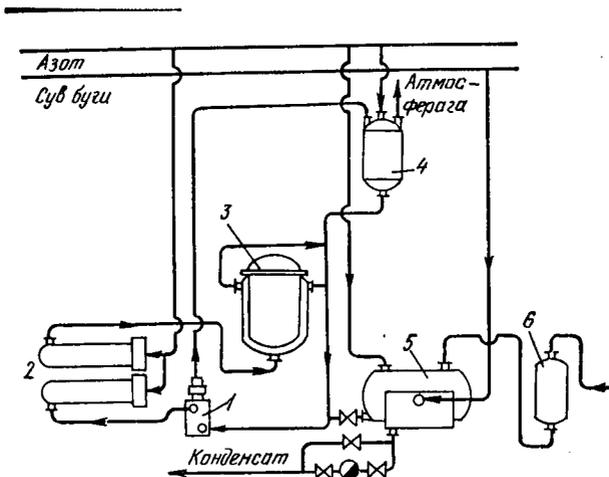
Химия саноатида 26,5% дифенил ва 73,5% дифенил эфирдан ташкил топган дифенил аралашмаси кенг ишлатилади. Бу аралашманинг қайнаш температураси  $258^\circ \text{C}$ . Суёқ ҳолдаги бу аралашма билан ( $P = 0,1 \text{ МПа}$ ) маҳсулотларни тахминан  $250^\circ \text{C}$  гача иситиш мумкин.

Дифенил аралашмасининг асосий афзаллиги шундаки, бу иссиқлик ташувчи агент ёрдамида кичик босим билан юқори температура олиш имкони бор. Масалан,  $300^\circ \text{C}$  температурада тўйинган сув буғининг босими 8,8 МПа га тенг бўлса, дифенил аралашмаси буғининг босими эса фақат 0,24 МПа га тенг бўлади. Шу сабабли дифенил аралашмаси ёрдамида юқори температураларгача қиздириш учун катта босимларга мосланган змеевиклар ўрнига оддий қобиқли иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ишлатиш мумкин. Дифенил аралашмаси бошқа органик иссиқлик ташувчи агентлар каби айрим камчиликларга эга: аралашманинг буғ ҳосил қилиш иссиқлиги кичик; аралашманинг ёниб кетиш хусусияти бор.

Буғ ҳолидаги дифенил аралашмаси ёрдамида  $380^\circ \text{C}$  гача қиздириш мумкин. Бундан ҳам юқори температураларда дифенил аралашмасида парчаланиш процесси юз беради.

6. 6- расмда суёқ ҳолдаги дифенил аралашмаси билан ишлайдиган мажбурий циркуляцияли иситиш қурилмасининг схемаси кўрсатилган. Аралашма электр токи билан ишлайдиган қозонда қиздирилади ва сўнгра иссиқлик сарфлайдиган аппаратга юборилади. Схемада циркуляция марказдан қочма насос орқали амалга оширилади. Аралашманинг ҳажми қиздириш пайтида кенгайди, шу сабабдан иссиқлик сарфлайдиган аппаратдан сўнг махсус идиш жойлаштирилган. Аралашма ўз иссиқлигини бериб, температураси пасайгандан сўнг насос ёрдамида қайтадан қизитиш қозонига юборилади. Системага боришдан олдин аралашма қабул қилувчи идишда сув буғи ёрдамида қиздирилади. Аралашма қабул қилувчи идишга фильтр орқали ўтади. Иш давомида аралашманинг жуда оз қисмигина йўқотилиши мумкин. Бунда системага қабул қилувчи идишдан керакли миқдорда аралашма ўтказилади.

Дифенил аралашмасининг ҳаво билан контактлашган пайтидаги оксидланишини йўқотиш мақсадида ҳамма идишлардаги суюқликнинг устки юзасига инерт газ (азот) юборилади. Қозоннинг электр иситкичлари камерасига ҳам азот берилади, бу билан портлаш хавфининг олди олинади, натижада иш пайтидаги хавфсизлик таъминланади.



6.6- расм. Дифенил аралашмаси билан мажбурий циркуляция во-  
ситасида иситиш қурилмаси:

1 — марказдан қочма насос; 2 — электр токи билан қиздириладиган қозон;  
3 — иссиқлик сарфлайдиган аппарат; 4 — кенгайтирилган идиш; 5 — қа-  
бул қилувчи идиш; 6 — фильтр.

**Суолтирилган тузлар билан иситиш.** Химиявий технологияда ўта юқори температураларгача иситиш учун анорганик суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи агентлар (суолтирилган тузлар ва суюқ металллар) ишлатилади. Амалда натрий нитрат аралашмасидан кенг фойдаланилади. Бу аралашма 40% (масса бўйича) натрий нитрит, 7% натрий нитрат ва 53% калий нитратдан ташкил топган бўлиб, атмосфера босимида 500. . . 540° С температурагача қиздириш учун ишлатилади. Уч компонентли бу аралашма билан иситишда мажбурий циркуляция ишлатилади. Циркуляция учун махсус пропеллерли ёки марказдан қочма насослардан фойдаланилади.

Натрий нитрат аралашмаси билан маҳсулотларни 450°С гача қиздирилганда углеродли пўлатдан тайёрланган аппаратлар коррозияга учрамайди. Бундан юқори температураларгача иситиш учун аппарат ва трубалар хромли ва хромникелли пўлатлардан тайёрланган бўлиши керак. Натрий нитрат аралашмаси кучли оксидловчи ҳисобланади. Шу сабабли юқори температураларда бу аралашма органик моддалар ҳамда қора ва айрим рангли металллар (алюминий, магний) нинг қипқилари ва кукунлари билан контактда бўлмаслиги зарур.

**Симоб ва суюқ металллар билан иситиш.** 400. . . 800°С температурагача қиздириш учун симоб ҳамда натрий, калий, қўр суюқланадиган металллар ва уларнинг қотишмалари. Бу иссиқлик ташувчи агентлар бир қатор афзалликларга эга, юқори температуралар таъсирига чидамли, ишончанлиги яхши, иссиқлик бериш коэффициенти катта ва уларнинг қотишмалари учун Прандтл критерийсига яхши мослашган ( $Pr < 0,07$ ). Шу сабабли суюқ металллар ор

риш коэффициентини ҳисоблаш учун махсус тенгламалардан фойдаланилади.

Кўпчилик суюқ металллар ёниш ёки портлаш хусусиятларига эга эмас ҳамда кам углеродли ва кам лигерланган пўлатларга салбий таъсир кўрсатмайди. Булар ичида фақат калий ва натрий кучли химиявий активликка эга бўлиб, тезлик билан портлаб ёниши мумкин ҳамда зангламайдиган пўлат ишлатишни талаб қилади.

Симоб буғ ҳолида ишлатиладиган ягона иссиқлик ташувчи металлдир. Симоб буғлари жуда кичик босимга эга (масалан,  $400^{\circ}\text{C}$  учун  $0,2$  МПа тўғри келади).

Саноатда симоб буғлари ёрдамида табиий циркуляцияли ва юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлган қурилмалар ишлатилади. Аммо симобнинг буғи жуда заҳарлидир. Шу сабабли бундай қурилмалардан қисман фойдаланилади.

Осон суюқланадиган металллар (симоб, натрий, калий ва унинг қотишмаларидан ташқари) асосан иситувчи аппаратларда оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар сифатида ишлатилади. Айрим вақтларда эса улардан табиий ва мажбурий циркуляцияли иситиш қурилмаларида ҳам фойдаланилади.

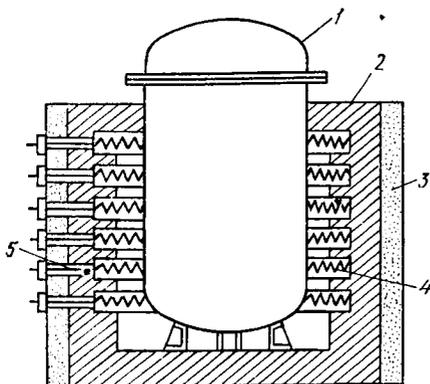
## 6.5- §. Электр токи билан иситиш

Электр токи ёрдамида материалларни жуда кенг температура интервали бўйича иситиш мумкин. Иситиш даражасини жуда аниқ ва тезлик билан бошқариш мумкин. Бу ҳол технологик процессларни тегишли режим билан амалга оширишни таъминлайди. Бундан ташқари, электр ёрдамида иситиш қурилмалари ўзининг соддалиги, ихчамлиги ва ишлатиш осонлиги билан бошқа қурилмалардан ажралиб туради. Аммо ҳозирча электр токи билан иситиш нисбатан қимматга тушади. Кейинчалик катта электр станцияларининг қурилиши нати-

жасида бу усул билан иситишни арзонлаштириш имкониятлари туғилади.

Электр токини иссиқлик энергиясига айлантириш усулига кўра электр токи билан иситиш бир неча турга бўлинади; электр қаршилиги ёрдамида иситиш, индукцион иситиш, юқори частотали иситиш, электр ёйи билан иситиш.

Электр қаршилиги билан иситиш. Бу энг кўп тарқалган электр токи билан иситиш усулидир. Бу усул ёрдамида  $1000 \dots 1100^{\circ}\text{C}$  гача иситиш мумкин. Иситиш процесси электр печларида олиб борилади. 6.7-расмда электр қаршилиги ёрда-



6.7- расм. Электр қаршилиги билан иситиш қурилмаси:

1 — иситиш аппарати; 2 — футеровка; 3 — изолякатлами; 4 — спиралсимон иситиш элементлари; 5 — электромашиналар.

мида ишлайдиган иситиш қурилмасининг схемаси кўрсатилган. Бу ерда махсус иситиш элементлари орқали электр токи ўтганда иссиқлик ажралиб чиқади, ажралиб чиққан иссиқлик материалга нурланиш, иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция усулларида берилади. Печнинг футеровкаси оловга чидамли ғиштдан тайёрланган. Футеровканинг пазларида спиралсимон иситиш элементлари жойлаштирилган бўлиб, уларга электрошиналар ёрдамида ток берилади. Иситиш элементларидан ажралиб чиққан иссиқлик иситилиши лозим бўлган аппаратга берилади. Атроф-муҳитга иссиқликнинг йўқотилишини таъминлаш учун аппарат изоляция қатлами билан қопланган.

Иситиш элементлари нихром қотишмасидан тайёрланган сим ёки лентадан иборат. Нихром қотишмасининг таркибида 20 % хром, 30. . .80% никель ва 0,5. . .50% темир бўлиши мумкин.

**Индукцион иситиш.** Бу усул ўзгарувчан электр майдони таъсирида пўлатдан тайёрланган аппарат девори қалинлигида ҳосил бўладиган уюрмавий ток ёрдамида ажралиб чиқадиган иссиқликдан фойдаланишга асосланган. Индукцион усул материалларни 400°C гача бир меъёрга асослаш ва тегишли иситиш даражасини жуда аниқ ушлаб туриши имконини беради. Бундай электр иситкичлар жуда кичик иссиқлик инерциясига эга, температурани жуда аниқ бошқаришни таъминлайди, иситкичларнинг ишини тўла автоматлаштириш мумкин. Лекин индукцион усул билан иситиш қимматга тушади. Бу унинг камчилиги ҳисобланади. Иситишни арзонлаштириш учун аппаратдаги маҳсулот дастлаб тўйинган сув буғи ёрдамида тахминан 180°C гача қиздирилади, сўнгра маҳсулотнинг температураси тегишли қийматгача индукцион иситиш ёрдамида кўтарилади.

**Юқори частотали иситиш.** Бу усул электр токини ўтказмайдиган материаллар (диэлектриклар) ни иситиш учун ишлатилади, шу сабабли бу усул *диэлектрик иситиш* деб ҳам юритилади. Юқори частотали иситишнинг принципи қуйидагидан иборат. Материал ўзгарувчан электр майдонига жойлаштирилади. Бунда материал молекулалари майдон частотаси билан тебранма ҳаракатга кела бошлайди ва қутбланиш процесси юз беради. Заррачаларнинг тебранма ҳаракат энергияси диэлектрик молекулалари орасидаги ишқаланишни енгиш учун сарфланади ва у иситилаётган материал массасидан иссиқликка айланади.

Иситиш учун 10. . .100 МГц гача юқори частотали электр тоқлари ишлатилади. Юқори частотали ток лампали генераторларда ҳосил қилинади. Бундай генераторларда 50 Гц частотали оддий ўзгарувчан ток юқори частотали токка айлантирилади. Юқори частотали ток билан конденсаторнинг пластинкалари таъминланади. Пластинкалар ўртасига иситилиши лозим бўлган материал жойлаштирилади.

Химиявий технологияда юқори частотали иситишдан пластик массаларни иситиш, айрим материалларни қуриштириш ва бошқа мақсадларда фойдаланилади. Иситиш температурасини осон ва аниқ бошқариш ҳамда иситиш процессини тўла автоматлаштириш мумкин. Бироқ бу усул мураккаб аппаратлардан фойдаланишни талаб қилади, иситиш қурилмаларининг фойдали иш коэффициенти эса кичик. Шу сабабли юқори частотали иситиш усулидан (бошқа арзон усулларни қўллаш

мумкин бўлмаган тақдирда) қимматбаҳо материалларни қуришида фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

**Электр ёйи билан иситиш.** Бу процесс электр ёйи ёрдамида ишлайдиган печларда олиб борилади. Печлардаги электродлар орасида электр ёйи алангаси таъсирида электр энергияси иссиқлик энергиясига айлантирилади. Электр ёйи ёрдамида кичик ҳажмда кучли электр қувватини ҳосил қилиш мумкин. Бундай шароитда ўта қизиган газ ва буғлар плазма ҳолига ўтади. Натижада 1500. . 3000°C гача температура ҳосил қилиш мумкин. Электр ёйи билан ишлайдиган печларда бир текис иситиш ва температурани аниқ бошқариш имконияти йўқ. Бундай печлар металлларни суюлтиришда, кальций карбид ва фосфор олишда ишлатилади.

## Б. СОВИТИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯЛАШ

### 6.6-§. Оддий температураларгача совитиш

Тахминан 10. . 30°C ларгача совитиш учун энг арзон ва қулай совитувчи агентлар — сув ва ҳаво кенг ишлатилади. Ҳавога нисбатан сувнинг иссиқлик сифими ва иссиқлик бериш коэффициентини катта. Совитиш учун дарё, кўл ва қудуқдан олинган сувлар ишлатилади. Айрим шароитларда сув танқис бўлса, иссиқлик қурилмаларидан қайта чиққан сув очиқ ҳавзаларда қисман буғлатиш ҳисобига ёки градирняларда ҳаво оқими ёрдамида совитилгандан сўнг қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Совитиш даражаси сувнинг бошланғич температурасига боғлиқ. Дарё ва кўл сувларининг температураси йил фаслларига кўра 24. . . 25°C, қудуқ сувлари 8. . . 15°C, ишлаб чиқаришда ишлатилиб бўлинган сувлар эса тахминан 30°C (ёз шароитларида) температурага эга бўлади. Иссиқлик алмашилиш аппаратларини лойиҳалашда сувнинг ёз пайтига тўғри келадиган температураси олинади. 50°C дан юқори температураларда сувнинг таркибида эриган тузлар чўкмага тушиб, иссиқлик алмашилиш аппаратларининг юзасига ўтириб қолади, бу ҳол иссиқлик процессларининг самарадорлигини камайтиради. Шу сабабли иссиқлик аппаратларидан чиқаётган сувнинг температураси 40. . 50°C дан ошмаслиги зарур.

Совитиш процесси учун керак бўлган сувнинг сарфи иссиқлик баланси тенгласидан топилади:

$$G \cdot c(t_6 - t_0) = W \cdot C_c(t_2 - t_1).$$

Бундан

$$W = \frac{G \cdot c(t_6 - t_0)}{C_c(t_2 - t_1)}; \quad (6.6)$$

бу ерда  $G_c$  — совитилаётган муҳитнинг сарфи;  $c$  — совитилаётган муҳитнинг ўртача солиштирма иссиқлик сифими;  $C_c$  — сувнинг солиштирма иссиқлик сифими;  $t_6, t_0$  — совитилаётган муҳитнинг бошланғич ва охири температуралари;  $t_1, t_2$  — совитувчи сувнинг дастлабки ва охири температуралари.

Сув одатда сиртий иссиқлик алмашиниш аппаратларида (совиткичларда) совитувчи агент сифатида ишлатилади. Бундай совиткичларда сув пастдан юқорига қараб ҳаракат қилади. Бундан ташқари, аралаштириш йўли билан ишлайдиган иссиқлик алмашиниш аппаратларида ҳам сув ишлатилади, масалан, совитиш ва намлаш учун газ оқимига сув сочилиб берилади.

Агар совитилаётган муҳитнинг температураси атмосфера босимида сувнинг қайнаш температурасидан юқори бўлса, бунда совитиш процесси сувнинг қисман буғланиши билан боради. Бу ҳол совитиш учун сувнинг сарфини камайтиради. Буғланиш билан борадиган совитиш процесси намлаб турилувчи совиткичларда, градирняларда ва бошқа иссиқлик алмашиниш аппаратларида ишлатилади.

Сўнги вақтларда совитувчи агент сифатида оддий ҳаво ҳам кенг ишлатилмоқда. Иссиқлик алмашиниши яхшилаш учун ҳаво оқими вентиляторлар ёрдамида мажбурий циркуляция қилинади ва ҳаво оқими томонидан иссиқлик алмашиниш юзаси кўпайтирилади (масалан, аппаратнинг юзаси қобирғали қилиб тайёрланади). Тажриба шуни кўрсатадики, саноатда буғни конденсациялаш аппаратларида мажбурий циркуляцияли ҳаво оқими ёрдамида совитиш сув билан совитишга нисбатан тежамлироқдир. Бундан ташқари, ҳаво билан совитишдан фойдаланиш сувнинг умумий сарфини камайтиради, бу ҳол эса сув ресурслари кам жойлар учун катта аҳамиятга эга.

Ҳаво совитувчи агент сифатида аралаштириш усули билан ишлайдиган иссиқлик алмашиниш аппаратларида (градирняларда) кенг ишлатилмоқда. Градирнялар ичи бўш вертикал аппарат бўлиб, унинг юқориги қисмидан сув сочилиб турилади, пастдан юқорига вентилятор ёрдамида ҳаво ҳайдалади. Сув ва ҳаво ўртасидаги контакт юзасини кўпайтириш учун аппаратнинг ичига насадкалар жойлаштирилган.

Пастроқ температураларгача (масалан, 0°C гача) совитиш учун совитилиши лозим бўлган суюқликка муз ёки совитилган сув қўшилади. Бунда совитилиши лозим бўлган суюқлик суюқлашади.

Совитиш учун керак бўлган музнинг миқдори иссиқлик баланси тенгласидан топилади:

$$G_m = (335,2 + C_c \cdot \rho) = G \cdot c(t_0 - t_6);$$

бундан

$$G_m = \frac{G \cdot c(t_0 - t_6)}{335,2 + C_c \cdot \rho}; \quad (6.6^*)$$

бу ерда  $G$  — совитилаётган суюқликнинг массаси, кг;  $C_c$  — сувнинг солиштирма иссиқлик сифими;  $c$  — совитилаётган суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг · К);  $t_0, t_6$  — совитилаётган суюқликнинг охириги ва бошланғич температуралари, °С; 335,2 кЖ/(кг · К) музнинг эриш иссиқлиги.

Анча паст (0°C) температураларгача совитиш учун махсус совитувчи агентлар ишлатилади. Булар қаторига паст температурада қайновчи суюқликларнинг (масалан, аммиак) буғлари, айрим газлар (СО, этан ва бошқалар) ва тузларнинг эритмалари киради. Бундай процесслар махсус совитиш қурилмаларида олиб борилади.

## 6.7-§. Буғларни конденсациялаш

Химиявий технологияда буғларни сув ёки совуқ ҳаво ёрдамида совитиш йўли билан конденсациялаш кенг ишлатилади. Буғларни конденсациялашдан буғлатиш, вакуум-қуритиш ва бошқа процесларда сийракланиш (ёки вакуум) ҳосил қилиш учун фойдаланилади. Конденсацияланиши лозим бўлган буғлар тегишли аппаратдан чиқарилиб, конденсаторга берилади. Конденсаторда буғ сув ёки ҳаво ёрдамида конденсацияланади. Буғнинг конденсацияланишидан ҳосил бўлган конденсатнинг ҳажми буғнинг ҳажмига нисбатан тахминан минг марта кичик, шу сабабли конденсаторда сийракланиш пайдо бўлади. Конденсацияланишнинг температураси пасайиши билан сийракланиш даражаси ортади.

Конденсаторнинг иш ҳажмида, буғнинг конденсацияланиши билан биргаликда, ҳаво ва конденсацияланадиган газлар йиғилиб қолади. Натижада конденсацияланмайдиган газларнинг парциал босими ортиб боради, бу нарса ўз навбатида аппаратдаги вакуумни камайтиради. Шу сабабли вакуумнинг қийматини маълум даражада ушлаб туриш учун конденсатордан конденсацияланмай қолган газларни узлуксиз равишда сўриб олиб туриш керак. Бу вазифа вакуум-насос ёрдамида амалга оширилади.

Совитиш усулига кўра аралаштирувчи ва сиртий конденсаторлар бўлади. Аралаштирувчи конденсаторларда буғ ва совитувчи сув ўзаро тўғридан-тўғри аралашади, ҳосил бўлган конденсат эса сув билан қўшилиб кетади. Агар конденсацияланиши лозим бўлган буғ қимматбаҳо бўлмаса, бунда процесс аралаштирувчи конденсаторларда олиб борилади. Иссиқлик алмашилишини яхшилаш учун совитувчи сув сочиб (пуркаб) берилади, натижада сув ва буғ ўртасидаги контакт юза ортади.

Аппаратдан сув, конденсат ва конденсацияланмай қолган газларни чиқариш усулига кўра ҳўл ва қуруқ аралаштирувчи конденсаторлар бўлади. Ҳўл конденсаторлардан сув, конденсат ва газлар битта махсус вакуум-насос ёрдамида чиқариб ташланади. Қуруқ (ёки барометрик) конденсаторлардан сув ва конденсат биргаликда ўз оқими билан чиқиб кетади, газлар эса қуруқ вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Сиртий конденсаторларда буғ ва совитувчи агент (сув ёки ҳаво) ўртасидаги иссиқлик алмашилиш процесси девор орқали амалга оширилади. Бундай аппаратларда буғларнинг конденсацияланиши совитилиб туриладиган трубаларнинг ташқи ёки ички юзаларида юз беради. Ҳосил бўлган конденсат ва совитувчи агент аппаратдан алоҳида-алоҳида чиқарилади. Агар конденсат ишлаб чиқариш аҳамиятига эга бўлса, у қайтадан ишлатилиши мумкин.

## В. БУҒЛАТИШ

### 6.8-§. Умумий тушунчалар

Учувчан бўлмаган моддалар эритмаларини унинг таркибидаги эритувчини қайнатиш пайтида чиқариб юбориш йўли билан қуюқлаштириш процесси *буғлатиш* деб юритилади. Агар *буғланиш* процес-

си қайнаш температурасидан паст температураларда сууюқликнинг юзасида рўй берса, *буғлатиш* процессида буғ эритманинг бутун ҳажмидан ажралиб чиқади.

Химия саноатида ишқор, туз ва бошқа моддаларнинг сувли эритмалари, айрим минерал ва органик кислоталар, кўп атомли спиртлар ҳамда шу каби бир қатор сууюқ эритмалар буғлатилади. Айрим вақтда буғлатиш ёрдамида тоза эритувчилар ҳам олинади. Баъзи шаронгларда қуюқлаштирилган эритма кристалланиш процессини амалга ошириш учун махсус буғлатиш аппаратларига юборилади.

Қуюқлаштирилган эритмалар ва буғлатиш натижасида ҳосил бўлган қаттиқ моддаларни осон ҳамда арзон қайта ишлаш, сақлаш ва бошқа жойларга жўнатиш мумкин.

Буғлатиш процессида иситувчи агент сифатида асосан сув буғи ишлатилади, бундай буғ *бирламчи буғ* деб юритилади. Қайнаётган эритмани буғлатиш пайтида ҳосил бўлган буғ *иккиламчи буғ* деб аталади. Эритмани буғлатиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори девор орқали берилади. Фақат айрим ҳоллардагина, эритмаларни қуюлтириш учун керак бўлган иссиқлик тутун газлари ёки бошқа газсимон иссиқлик ташувчи агентларнинг сууюқлик билан ўзаро контакти орқали берилади.

Буғлатиш процесси вакуум остида, атмосфера ва юқори босимларда олиб борилиши мумкин. Эритмаларнинг хоссалари ва иккиламчи буғнинг иссиқлигидан фойдаланиш заруратига кўра ҳар хил босимлар ишлатилади.

Вакуум остида буғлатиш бир қатор афзалликларга эга: процессни анча паст температураларда олиб бориш мумкин, бу ҳол айниқса юқори температурада парчаланиб кетиши мумкин бўлган моддалар эритмаларини қуюқлаштиришда жуда қўл келади. Бундан ташқари, вакуум таъсирида иситувчи агент ва эритма температураси ўртасидаги фойдали фарқ кўпаяди, бу нарса аппаратнинг иситиш юзасини камайтиришга олиб келади, вакуум билан буғлатиш учун нисбатан паст параметрли (температура ва босим) иситувчи агентдан фойдаланиш мумкин. Вакуум ишлатилганда иккиламчи буғдан қайтадан бирламчи буғ сифатида фойдаланиш имкони туғилади.

Вакуум остида буғлатиш камчиликлардан ҳам ҳоли эмас: вакуумни ишлашиш буғлатиш қурилмасининг нархини оширади; вакуум ҳосил қилиш учун конденсаторлар, томчи ушлагичлар, вакуум-насослар керак бўлади, бундан ташқари, қурилмани ишлашиш учун зарур бўлган сарф ҳам кўпаяди.

Атмосфера босимидан юқори бўлган босимда буғлатишда ҳосил бўлган иккиламчи буғдан қайтадан буғлатиш процессида ҳамда буғлатиш билан боғлиқ бўлмаган бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин. Бошқа мақсадлар учун ажратилган иккиламчи буғ *экстра-буғ* деб аталади. Юқори босим билан буғлатиш процессида *экстра-буғ*ни ажратиш олиб ишлашиш вакуум ёрдамида буғлатишга нисбатан иссиқликдан тўлароқ фойдаланиш имконини беради. Юқори босим билан буғлатиш эритманинг қайнаш температурасининг ортишига олиб келади. Бундан ташқари, юқори босим билан буғлатишни амалга ошириш учун юқори температурали иситувчи агент керак бўлади. Шу сабабли

бу усул юқори температурага чидамли моддаларнинг эритмаларини қуюлтиришда ишлатилади, холос.

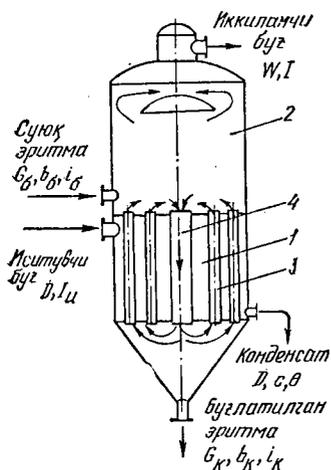
Атмосфера босими билан буғлатишда иккиламчи буғ ишлатилмайди, у атмосферага чиқариб юборилади. Бундай усул энг оддий, ammo иқтисодий жиҳатдан энг тежамсиз ҳисобланади.

Химия саноатида буғлатиш процесси бир ва кўп аппаратли қурилмаларда амалга оширилади. Кўп аппаратли, яъни бир неча аппаратлардан ташкил топган буғлатиш қурилмалари кенг ишлатилади. Кўп аппаратли қурилмаларнинг фақат биринчи аппаратига иситувчи (бирламчи) буғ берилади, кейинги аппаратларни иситиш учун эса олдинги аппаратлардан чиққан иккиламчи буғ ишлатилади. Натижада иситувчи буғнинг умумий сарфи камаяди.

Ишлаш режимига кўра буғлатиш аппаратлари даврий ва узлуксиз бўлади. Кичик масштабдаги ишлаб чиқаришларда ва, айрим вақтда, эритмаларни юқори концентрацияларгача буғлатишда даврий ишлайдиган буғлатиш аппаратлари ишлатилади. Химия саноатида асосан узлуксиз ишлайдиган буғлатиш аппаратлари кенг ишлатилади. Замонавий буғлатиш аппаратлари анча катта иситиш юзасига эга, айрим пайтда битта аппаратнинг иситиш юзаси 2000 м<sup>2</sup> дан ортиб кетади.

### 6.9-§. Битта аппаратли буғлатиш қурилмаси

Аппаратнинг ишлаш принципи. Марказий циркуляция трубаси бўлган узлуксиз ишлайдиган буғлатиш аппаратининг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (6.8- расм). Аппарат асосан иситиш камераси ва сепаратордан ташкил топган. 6.8- расмда тасвирланган схемада иситиш камераси ва сепаратор битта аппаратда жойлашган. Иситиш камераси сепаратордан алоҳида жойлашган бўлиши ҳам мумкин. Бунда иситиш камераси ва сепаратор труба орқали бирлашган бўлади. Камера одатда тўйинган сув буғи билан иситилади. Буғ трубалар ташқарисидаги бўшлиққа киради, бу ерда конденсацияланиш процесси юз беради ва ажралиб чиққан иссиқлик труба деворлари орқали эритмага берилади. Ҳосил бўлган конденсат камеранинг пастки қисмида жойлашган патрубкка орқали ташқарига чиқарилади.



6.8- расм. Марказий циркуляция трубаси бўлган буғлатиш аппарати:

1 — иситиш камераси; 2 — сепаратор; 3 — иситиш трубалари; 4 — циркуляция трубаси.

татиш камераси ва сепаратор битта аппаратда жойлашган. Иситиш камераси сепаратордан алоҳида жойлашган бўлиши ҳам мумкин. Бунда иситиш камераси ва сепаратор труба орқали бирлашган бўлади. Камера одатда тўйинган сув буғи билан иситилади. Буғ трубалар ташқарисидаги бўшлиққа киради, бу ерда конденсацияланиш процесси юз беради ва ажралиб чиққан иссиқлик труба деворлари орқали эритмага берилади. Ҳосил бўлган конденсат камеранинг пастки қисмида жойлашган патрубкка орқали ташқарига чиқарилади.

Буғлатилаётган эритма иситиш трубалари орқали юқорига кўтарилади, бунда эритма қайнайди, натижада иккиламчи буғ ҳосил бўлади. Сепараторда буғ суюқликдан ажратилади. Суюқлик томчиларидан ажралган иккиламчи буғ сепараторнинг юқориги қисмидан ташқарига чиқарилади. Суюқликнинг бир қисми марказий циркуляция тру-

баси орқали аппаратнинг пастки қисмига тушади. Марказий трубадаги суюқлик эритма ва иситиш трубалари ичидаги буғ-суюқлик эмульсияси зичликлари ўртасидаги фарқ таъсирида узлуксиз равишда циркуляция бўлиб туради. Қуюқлаштирилган эритма аппаратнинг пастки қисмида жойлашган патрубкка орқали ташқарига чиқарилади.

Айрим буғлатиш аппаратларида марказий циркуляция труба**си** бўлмайди. Буғлатиш процесси вакуум остида олиб борилса, иккиламчи буғ вакуум-насос ёрдамида конденсаторга сўриб турилади.

**Моддий баланс.** 6.8- расмга асосан  $v_6$  (% ҳисобидаги массавий) концентрацияли ва кг/с ҳисобидаги  $G_6$  миқдорли дастлабки эритма буғлатиш аппаратига киради, қуюқлаштирилган эритманинг миқдори  $G_k$  (кг/с), унинг охириги концентрацияси эса  $v_k$  (%) га тенг. Агар аппаратдан чиқарилаётган эритувчи (иккиламчи буғ) нинг миқдори  $\omega$  (кг/с) бўлса, у ҳолда аппаратнинг моддий баланси қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$G_6 = G_k + \omega. \quad (6.7)$$

Эритма таркибида бўлган қуруқ моддага нисбатан моддий баланс қуйидагича ёзилади:

$$\frac{G_6 \cdot v_6}{100} = \frac{G_k \cdot v_k}{100}. \quad (6.8)$$

Амалий ҳисоблашларда дастлабки эритма сарфи  $G_6$  нинг концентрацияси  $v_6$  ва қуюқлашган эритманинг керакли концентрацияси  $v_k$  берилган бўлади. Бунда (6.7) ва (6.8) тенгламалар орқали аппаратнинг иш унуми топилади.

Қуюқлаштирилган эритма бўйича:

$$G_k = \frac{G_6 \cdot v_6}{v_k}. \quad (6.9)$$

Буғлатилаётган сув бўйича

$$\omega = G_6 - G_k = G_6 \left( 1 - \frac{v_6}{v_k} \right). \quad (6.10)$$

**Иссиқлик баланси.** Қуйидаги белгиларни қабул қиламиз:  $D$  — иситувчи буғнинг сарфи;  $I_n$  — унинг энтальпияси;  $I$  — иккиламчи буғнинг энтальпияси;  $i_6 = C_6 t_6$  — дастлабки эритманинг энтальпияси;  $i_k = C_k \cdot t_k$  — қуюқлашган эритманинг энтальпияси;  $i' = C' \theta$  — иситувчи буғ конденсатининг энтальпияси;  $C_6, C_k, C'$  — дастлабки ва қуюқлашган эритма ҳамда конденсатнинг ўртача солиштира иссиқлик сифимлари;  $t_6, t_k, \theta$  — дастлабки қуюқлашган эритма ва иситувчи буғнинг тўйиниш температуралари.

Иссиқликнинг кириши (дастлабки эритма билан)  $G_6 i_6$ ;  
иситувчи буғ билан  $D I_n$ ;

Иссиқликнинг сарфланиши (қуюқлашган эритма билан)  $G_k i_k$ ;

Иккиламчи буғ билан	$\omega I$ ;
Иситувчи буғнинг конденсати билан	$D \cdot i'$ ;
Қуюқлаштириш иссиқлиги	$Q_{\text{конц}}$ ;
Атроф-муҳитга йўқотилган иссиқлик	$Q_{\text{я}}$ .
Иссиқлик баланси қуйидагича ифодаланади:	

$$G_6 i_6 + DI_{\text{н}} = G_{\text{к}} i_{\text{к}} + \omega \cdot I + Di' + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{я}}. \quad (6.11)$$

Дастлабки эритма қуюқлашган эритма ва буғлатилиши лозим бўлган сув аралашмасидан иборат ҳамда дастлабки эритманинг иссиқлик сизими температураси  $t_6$  билан  $t_{\text{к}}$  интервалда ўзгармай қолади деб оламиз. Бунда қуйидаги иссиқлик балансини ёзиш мумкин:

$$G_6 C_6 t_{\text{к}} = G_{\text{к}} C_{\text{к}} t_{\text{к}} + \omega C'' t_{\text{к}}, \quad (6.12)$$

бу ерда  $C''$  — температура  $0^\circ\text{C}$  дан  $t_{\text{к}}$  гача ўзгарган пайтдаги сувнинг ўртача иссиқлик сизими.

$t_6$ ,  $i_{\text{к}}$ ,  $i'$  ва  $G_{\text{к}} C_{\text{к}}$  ларнинг қийматларини (6.11) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$G_6 C_6 t_6 + DI_{\text{н}} = G_6 C_6 t_{\text{к}} - \omega C'' t_{\text{к}} + \omega I + DC' \Theta + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{я}}.$$

Бу тенгламадан буғлатиш аппаратиغا вақт бирлиги ичида иситувчи буғ билан киритилган иссиқлик миқдорини аниқлаймиз:

$$Q = D(I_{\text{н}} - C' \Theta) = G_6 C_6 (t_{\text{к}} - t_6) + \omega (I - C'' t_{\text{к}}) + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{я}}. \quad (6.13)$$

(6.13) тенгламанинг ўнг томонидаги биринчи қисми дастлабки эритмани қайнаш температурасигача иситиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдорини, иккинчи қисми эса эритмадан сувнинг буғланиши учун сарф бўлган иссиқлик миқдорини белгилайди.

Эритмани қуюқлаштириш пайтидаги иссиқлик эффекти  $Q_{\text{конц}}$  билан ифодаланади. Қуюқлаштириш процессида иссиқликнинг ютилиши ёки чиқиши содир бўлади. Шунга кўра  $Q_{\text{конц}}$  нинг миқдори иссиқлик балансининг кириш ёки сарфланиш қисмлари орқали ўз ифодасини топади. Агар  $Q_{\text{конц}}$  нинг миқдори анча катта бўлса, у ҳисобга олинади, кам бўлса ҳисобга олинмайди.

Иссиқликнинг атроф-муҳитда йўқотилиши  $Q_{\text{я}}$  одатда  $Q$  нинг 3 ... 5 % ини ташкил қилади.  $Q_{\text{я}}$  нинг миқдори ортиб кетмаслиги учун буғлатиш аппаратлари тегишли қалинликдаги изоляция қатлами билан қопланади.

(6.13) тенгламага асосан иситувчи буғнинг сарфини топиш мумкин:

$$D = \frac{G_6 t_6 (t_{\text{к}} - t_6) + \omega (I - C'' t_{\text{к}}) + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{я}}}{I_{\text{н}} - C' \Theta}. \quad (6.14)$$

Агар эритма аввал қайнаш температурасигача иситилиб, сўнгра буғлатиш аппаратиغا берилса,  $t_6 = t_{\text{к}}$  бўлади.  $Q_{\text{конц}}$  ва  $Q_{\text{я}}$  нинг миқдори ҳисобга олинмаса, (6.14) тенглама ёрдамида 1 кг сувни буғлатиш учун керак бўлган иситувчи буғнинг назарий сарфини топиш мумкин:

$$D = \frac{\omega(I - C''t_k)}{I_r - C'\theta} = \frac{\omega_r}{r'} = \omega. \quad (6.15)$$

бу ерда  $I_r - C'\theta = r'$  — иситувчи буғнинг конденсацияланиш иссиқлиги,  
 $I - C'' \cdot t_k = r$  — қайнаб турган эритмалардан сувнинг буғланиш иссиқлиги  
 (тахминан  $r = r'$  деб олинши мумкин).

(6.15) тенгламага кўра, битта аппаратли буғлатиш қурилмасида 1 кг сувни буғлатиш учун 1 кг иситувчи буғ сарф бўлади. Амалда (атроф-муҳитга йўқотилган иссиқликни ҳисобга олинган тақдирда) 1 кг сувни буғлатиш учун кўпроқ иситувчи буғ сарф бўлади (1,1 ... 1,2 кг).

**Иситиш юзаси.** Узлуксиз ишлайдиган буғлатиш аппаратининг иситиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t};$$

бу ерда  $Q$  — иссиқлик сарфи;  $K$  — иссиқлик ўтказиш коэффициенти;  $\Delta t$  — температураларнинг фойдали фарқи (процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи).

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти концентрациянинг ортиши (яъни қовушоқликнинг кўпайиши) билан ҳамда эритма қайнаш температурасининг пасайиши билан камаяди. Буғлатиш аппаратидаги температураларнинг фойдали фарқи  $\Delta t$  иситувчи буғнинг конденсацияланиши ва буғлатилаётган эритманинг қайнаш температуралари ( $T, t_k$ ) нинг айирмасига тенг:

$$\Delta t = T - t_k \quad (6.17)$$

**Температуранинг йўқотилиши.** Буғлатиш аппаратларида температуранинг йўқотилиши юз беради, бу ҳол ўз навбатида иситувчи буғ ва буғлатилаётган эритма температуралари ўртасидаги фарқнинг камайишига олиб келади. Температураларнинг йўқотилиши  $\Delta$  температура депрессияси  $\Delta'$ , гидростатик депрессия  $\Delta''$  ва гидравлик депрессия  $\Delta'''$  лардан ташкил топган бўлади:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''. \quad (6.18)$$

*Температура депрессияси* деб бир хил босимда олинган эритма қайнаш температураси билан тоза эритувчи қайнаш температураси ўртасидаги фарққа айтилади.  $\Delta'$  нинг қиймати эриган модда ва эритувчининг физик-химиявий хоссалари, эритма концентрацияси ва босимга боғлиқ. Тажриба йўли билан олинган  $\Delta'$  нинг қиймати махсус справочник адабиётларида берилади.

Температура депрессиясининг қийматлари одатда атмосфера босимида топилган бўлади. Бошқа босимлардаги суюлтирилган эритмалар учун  $\Delta'$  нинг қийматини И. А. Тищенко тенгламаси орқали топиш мумкин:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{\text{атм}}; \quad (6.19)$$

бу ерда  $\Delta'_{\text{атм}}$  — атмосфера босимидаги температура депрессияси, °С;  $T$  — тоза эритувчининг берилган босимдаги қайнаш температураси, К;  $r$  — тоза эритувчининг берилган босимдаги буғланиш иссиқлиги, кЖ/кг.

Буғлатиш аппаратидаги иситиш трубаларининг пастки бир қисми суюқлик билан тўлган бўлади. Суюқликнинг устида эса буғ-суюқлик эмульсияси жойлашади. Трубаларнинг юқориги қисмига кўтарилган сари эмульсия таркибида буғнинг миқдори кўпайиб боради. Шартли равишда иситиш трубаларининг ичида суюқлик жойлашган деб олсак, бунда трубадаги гидростатик босим таъсирида, суюқликнинг пастки қатламларида қайнаш температураси юқориги қатламлардагига нисбатан катта бўлади. Гидростатик эффект таъсирида эритма қайнаш температурасининг ортиш процесси *гидростатик депрессия* деб аталади.

Вакуум билан ишлайдиган буғлатиш аппаратларида гидростатик депрессия анча катта қийматга эга бўлади. Гидростатик депрессиянинг қийматини аниқ ҳисоблаш қийин, чунки  $\Delta''$  иситиш трубаларининг деярли катта қисмини эгаллаган буғ-суюқлик эмульсиянинг циркуляция тезлигига ва унинг ўзгарувчи зичлигига боғлиқ. Шу сабабдан  $\Delta''$  нинг қийматлари тажриба натижаларидан олинади. Эритма циркуляция қилинадиган вертикал аппаратлар учун  $\Delta''$  нинг қийматини  $1 \dots 3^\circ \text{C}$  атрофида олиш мумкин.

Иккиламчи буғ сепаратор қурилмалари ва трубопровод орқали ҳаракатланганида ўз йўлида гидравлик қаршилиқлар (ишқаланиш ва маҳаллий қаршилиқлар) ни енгади. Натижада иккиламчи буғнинг босими камаяди, бу ҳол ўз навбатида унинг тўйиниш температурасининг қисман камайишига олиб келади.

Гидравлик қаршилиқлар таъсирида эритма температурасининг ортиш процесси *гидравлик депрессия* деб юритилади.  $\Delta'''$  нинг қиймати одатда  $0,5 \dots 1,5^\circ \text{C}$  интервалда бўлади. Битта аппарат учун  $\Delta'''$  нинг қийматини  $1^\circ \text{C}$  га тенг деб олиш мумкин.

Шундай қилиб, температура ва гидростатик депрессияларни ҳисобга олган ҳолда эритманинг қайнаш температурасини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$t_{\kappa} = T' + \Delta' + \Delta''; \quad (6.20)$$

бу орда  $T'$  — иккиламчи буғ температураси.

## 6.10- §. Кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари

Саноатда эритмаларни қуюқлаштириш учун кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари кенг ишлатилади. Бундай қурилмалар иситувчи буғнинг иссиқлигидан бир неча бор фойдаланишга асосланган. Бунда биринчи аппаратга иситувчи буғ берилса, иккинчи аппаратни иситиш учун биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади, учинчи аппаратни иситиш учун эса иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади ва ҳоказо. Охириги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ конденсаторга юборилади. Кўп аппаратли буғлатиш қурилмаларида иситувчи буғнинг ҳақиқий сарфи 6.1-жадвалда берилган.

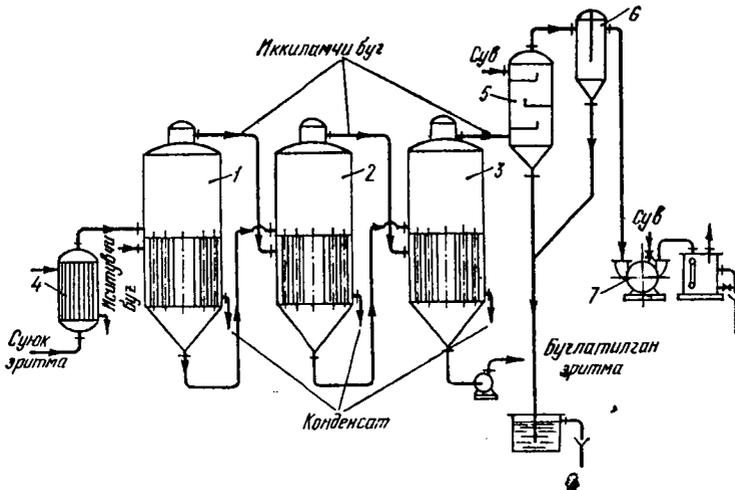
Аппаратлар сони	1	2	3	4	5
1 кг сувни буғлатиш учун буғнинг сарфи, кг	1,1	0,57	0,4	0,3	0,27

Жадвалдан кўриниб турибдики, аппаратларнинг сони кўпайиши билан 1 кг сувни буғлатиш учун зарур бўлган иситувчи буғнинг сарфи камайиб боради. Агар бир аппаратли қурилмадан икки аппаратли қурилмага ўтишда буғнинг сарфи тахминан 50% га камайса, тўрт аппаратли қурилмадан беш аппаратли қурилмага ўтишда буғнинг сарфи фақат 10% га камаяди. Демак, маълум бир конкрет шароит учун аппаратларнинг оптимал сони топилиши зарур.

### Кўп аппаратли қурилмаларнинг схемалари

Охирги аппаратдаги иккиламчи буғнинг босимига кўра, кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари вакуум (сийракланиш) билан ва юқори босим остида ишлайдиган бўлади. Иситувчи буғ ва буғланаётган эритма оқимларининг ўзаро ҳаракатига кўра кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари бир неча схемаларга бўлинади:

- 1) бир йўналишли кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари;
- 2) қарама-қарши йўналишли кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари;
- 3) эритма билан узлуксиз параллел таъминладиган буғлатиш қурилмалари;
- 4) мураккаб схемалар;
- 5) электр-буғ ажратиб олинадиган кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари.



6.9- расм. Бир хил йўналишли учта аппаратдан иборат буғлатиш қурилмаси:

1, 2, 3 — аппаратлар; 4 — иситкич; 5 — барометрик конденсатор; 6 — томчи ушлагич; 7 — вакуум-насос.

Саноатда бир йўналишли қурилмалар кенг ишлатилади (6.9- расм), чунки бундай қурилмалар энг тежамли ҳисобланади. Бундай қурилмаларда кичик параметрли сув буғидан фойдаланиш мумкин. Айрим вақтларда қурилманинг биринчи аппаратини иситиш учун буғ турбиналарида ишлатилиб бўлинган сув буғидан фойдаланса бўлади.

Бир йўналишли қурилма бир неча аппаратдан (бизнинг мисолимизда учта) ташкил топган. Иситкичда қайнаш температурасигача қиздирилган дастлабки эритма қурилманинг биринчи аппаратига берилади. Биринчи аппарат бирламчи буғ билан иситилади. Биринчи аппаратда ҳосил бўлган иккиламчи буғ иситувчи агент сифатида иккинчи аппаратга берилади. Иккинчи аппаратдаги босим биринчи аппаратдагига нисбатан паст, натижада иккинчи аппаратда эритма биринчи аппаратдагига нисбатан анча паст температурада қайнайди.

Иккинчи аппаратда босим анча паст бўлганлиги сабабли, биринчи аппаратда қисман буғланган эритма ўз-ўзидан иккинчи аппаратга ўтади ва эритма иккинчи аппаратда қайнаш температурасигача совиқайди. Бунда иссиқлик ажралиб чиқади; натижада маълум миқдорда қўшимча иккиламчи буғ ҳосил бўлади. Қурилманинг ҳамма аппаратларида (биринчидан ташқари) юз берадиган бу ҳол эритманинг ўз-ўзидан буғланиши деб юритилади.

Иккинчи аппаратда буғлатилган эритма учинчи аппаратга ўз-ўзича ўтади. Учинчи аппаратни иситиш учун иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади. Охирги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ барометрик конденсаторга узатилади. Бу ерда буғнинг конденсацияланиши натижасида тегишли сийракланиш (вакуум) ҳосил қилинади. Ҳаво ва конденсацияланмай қолган газлар иссиқлик алмашилини процессини сусайтиради. Шу сабабли совитувчи агент (сув) билан аппаратларнинг зичмас жойлари орқали кириб қолган ҳаво ва конденсацияланмай қолган газлар томчи ушлагич орқали вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Конденсатордаги қолдиқ босимнинг қиймати сув температурасининг ўзгариши билан ўзгаради. Шу сабабли вакуум-насос ёрдамида қурилмада тегишли қийматдаги вакуумни ушлаб туриш мумкин.

Бир йўналишли буғлатиш қурилмасининг асосий афзаллиги шундаки, эритмани бир аппаратдан иккинчисига ўтказиш учун иссиқ оқимда ишлашга мосланган насослар ишлатиш талаб қилинмайди. Ҳар бир кейинги аппаратда олдингисига нисбатан юқори концентрацияли эритмани пастроқ босимда буғлатишга тўғри келади. Шунинг учун охирги аппаратдаги иссиқлик ўтказиш коэффициентини биринчи аппаратдагига нисбатан бир неча марта кичик бўлади. Бу ҳол бир йўналишли қурилмаларнинг камчилигидир.

Қарама-қарши йўналишли кўп аппаратли буғлатиш қурилмаларида иситувчи буғ ва буғлатилаётган эритма бир аппаратдан иккинчисига ўтишида ўзаро қарама-қарши томонга ҳаракат қилади. Агар дастлабки эритма учинчи аппаратга берилса, бирламчи иситувчи буғ биринчи аппаратга берилади. Биринчи аппаратда ҳосил бўлган иккиламчи буғ иккинчи аппаратда иситувчи агент сифатида ишлатилади ва ҳоказо. Учинчи аппаратда қисман қуюқлаштирилган эритма иккинчи аппаратга насос ёрдамида ўтказилади, сўнгра иккинчи аппаратдан

биринчисига яна насос ёрдамида ҳайдалади. Қуюқлаштирилган эритма биринчи аппаратдан олинади, охирги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ эса конденсаторга берилади.

Қарама-қарши йўналишли қурилмалар эритмаларни жуда катта концентрацияларгача буғлатишда ва қуюқлаштириш процессида қовушоқлиги ортиб кетадиган эритмаларни буғлатишда ишлатилади. Бундай қурилмаларнинг асосий афзаллиги шундаки, улар бир йўналишли қурилмаларга нисбатан кичик иситиш юзасини талаб қилади. Камчилиги: қурилманинг ишлаши учун иссиқлик оқимига мўлжалланган насослар керак.

Параллел таъминланиш режими билан ишлайдиган қурилмаларда дастлабки эритма бир вақтнинг ўзида ҳамма аппаратларга берилади. Ҳар бир аппаратдан чиқаётган қуюқлаштирилган эритма бир хил концентрацияга эга бўлади. Иситувчи буғ фақат биринчи аппаратга берилади, қолган аппаратларда иситувчи агент сифатида олдинги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади. Охирги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғ конденсаторга юборилади. Бундай схемалар асосан таркибида қаттиқ фаза заррачалари тутган тўйинган эритмаларни буғлатишда ҳамда эритмаларни юқори концентрацияларгача қуюқлаштириш талаб қилинмаган шароитларда ишлатилади.

Мураккаб схемаларда эритмани қурилмага киритиш ва уни силжитишнинг турли вариантлари ишлатилади. Масалан, эритмани ҳар бир аппаратга алоҳида-алоҳида киритиш ёки эритмани иккинчи аппаратга киритиб сўнгра уни учинчи аппаратга бериш ҳамда қуюқлаштирилган эритмани биринчи аппаратдан олиш ва бошқа шу каби схемалардан фойдаланиш мумкин. Бундай мураккаб схемалар махсус шароитлар талаб қилингандагина қўлланилади.

Баъзи шароитларда буғлатиш қурилмаларида ҳосил бўладиган иккиламчи буғнинг бир қисми бошқа мақсадлар учун ажратиб олинади. Буғлатиш қурилмасининг исталган бир апаратида иккиламчи буғнинг бир қисми ажратиб олиниб, буғлатиш процесси билан боғлиқ бўлмаган бошқа мақсадларда (масалан, қуришиш аппаратларида, ректификация колонналарида ва бошқа шу каби аппаратларда) ишлатилса, бундай буғ «экстра-буғ» деб юритилади.

**Моддий баланс.** Бир аппаратли буғлатиш қурилмасининг моддий баланс тенгламаси (6.10) га асосан кўп аппаратли буғлатиш қурилмасининг моддий балансини тузиш мумкин:

$$\omega = G_6 \left( 1 - \frac{\theta_6}{\theta_K} \right), \quad (6.21)$$

бу ерда  $\omega$  — ҳамма аппаратларда буғланган сувнинг умумий микдори;  $G_6$  — дастлабки эритма сарфи;  $\theta_6$  — дастлабки эритманинг концентрацияси;  $\theta_K$  — охирги аппаратдан чиқаётган қуюқлашган эритманинг концентрацияси.

(6.7) ва (6.8) тенгламаларга асосан кўп аппаратли буғлатиш қурилмасининг ҳар бир апаратида чиқаётган эритмаларнинг концентрацияларини аниқлаш мумкин.

Биринчи аппарат учун;

$$\theta_1 = \frac{G_6 \cdot \theta_6}{G_6 - \omega_1}. \quad (6.22)$$

Иккинчи аппарат учун:

$$\theta_2 = \frac{G_6 \theta_6}{G_6 - w_1 - w_2}. \quad (6.23)$$

Учинчи аппарат учун:

$$\theta_3 = \frac{G_6 \theta_6}{G_6 - w_1 - w_2 - w_3}. \quad (6.24)$$

$n$ -аппарат учун

$$\theta_n = \frac{G_6 \cdot \theta_6}{G_6 - w_1 - w_2 - \dots - w_n}. \quad (6.25)$$

Буғланган сувнинг умумий миқдори ҳамма аппаратлардан ажралиб чиққан иккиламчи буғлар миқдорининг йиғиндисига тенг:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n. \quad (6.26)$$

**Иссиқлик баланси.** Уч аппаратли бир йўналишда ишлайдиган ва «экстра-буғ» ажратиб олинadиган вакуум-буғлатиш қурилмасининг иссиқлик балансини кўриб чиқамиз. Қурилманинг биринчи аппарати тўйинган сув буғи билан иситилади. Бу бирламчи буғнинг сарфи  $D$  (кг/с), унинг энтальпияси  $I_n$  (кЖ/кг), температураси  $\Theta$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ). Биринчи аппаратдан сўнг  $E_1$  (кг/с) ва иккинчи аппаратда кейин  $E_2$  (кг/с) миқдорда «экстра-буғ» ажратиб олинади. Биринчи аппаратдан иккинчи аппаратга иситиш учун берилаётган иккиламчи буғнинг миқдори ( $w_1 - E_1$ ) ва иккинчи аппаратдан учинчи аппаратга берилаётган иккиламчи буғнинг миқдори эса ( $w_2 - E_2$ ) га тенг, бу ерда  $w_1$  ва  $w_2$  (кг/с) — биринчи ва иккинчи аппаратларда буғлатилган сувнинг массаси.

Бир аппаратли буғлатиш қурилмасининг иссиқлик баланси тенгламаси (6.13) га асосан кўп аппаратли қурилманинг иссиқлик баланси тенгламалари қуйидаги кўринишга эга бўлади:

Биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = D (I_n - c_1' \Theta_1) = G_6 c_6 (t_{k_1} - t_6) + w_1 (I_1 - c_1'' t_k) + Q_{\text{конц. } 1} + Q_{\text{я}_1}. \quad (6.27)$$

Иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = (w_1 - E_1) (I_1 - c_1' \Theta_2) = (G_6 - w_1) c_1 (t_{k_2} - t_{k_1}) + w_2 (I_2 - c_2'' t_{k_1}) + Q_{\text{конц. } 2} + Q_{\text{я}_2}. \quad (6.28)$$

Учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = (w_2 - E_2) (I_2 - c_2' \Theta_3) = (G_6 - w_1 - w_2) c_2 (t_{k_3} - t_{k_2}) + w_3 (I_3 - c_3'' t_{k_2}) + Q_{\text{конц. } 3} + Q_{\text{я}_3}. \quad (6.29)$$

бу ерда  $t_6$ ,  $c_6$  — дастлабки эритманинг температураси ва ўртача солиштирма иссиқлик сифими;  $t_{k_1}$ ,  $t_{k_2}$ ,  $t_{k_3}$  — эритманинг аппаратлар бўйича қайнаш температуралари;  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  — эритманинг аппаратлар бўйича ўртача иссиқлик сифимлари;  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  — иситувчи буғнинг аппаратлар бўйича конденсацияланиш температуралар;  $c_1'$ ,  $c_2'$ ,  $c_3'$  — иситувчи буғ конденсатининг аппаратлар бўйича ўртача солиштирма иссиқлик сифимлари;  $c_1''$ ,  $c_2''$ ,  $c_3''$  — сувнинг ўртача солиштирма иссиқлик сифимлари ( $0^{\circ}\text{C}$  дан аппаратлардаги эритманинг тегишли қайнаш температуралари оралиғида);  $Q_{\text{конц. } i}$ ,

$Q_{\text{конц}}$ ,  $Q_{\text{конц}}$  — эритманинг аппаратлар бўйича қуюқлаштириш иссиқликлари;  $Q_{\text{я}_1}$ ,  $Q_{\text{я}_2}$ ,  $Q_{\text{я}_3}$  — аппаратлардан иссиқликларнинг атроф-муҳитга йўқотилиши.

Умумий ҳолда  $n$  та аппаратли буғлатиш қурилмаси учун иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$Q_n = (w_{n-1} - E_{n-1}) (I_{n-1} - c_n^1 \theta_n) = (G_0 - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}),$$

$$c_{n-1} (t_{\kappa n} - t_{\kappa n-1}) + w_n (I_n - c_n'' t_{\kappa n}) + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{я}_n} \quad (6. 30)$$

Буғлатиш қурилмасидаги иситувчи буғ ва эритма оқимларининг ҳаракат турига кўра ва бошқа шарт-шароитларга асосан иссиқлик баланси тенгламасини ташкил этувчиларининг қийматлари ўзгариши мумкин. Агар эритма биринчи аппаратга қайнаш температурасигача қиздирилган ҳолда берилса (яъни  $t_0 = t_{\kappa 1}$ ), бунда  $G_0 c_0 (t_{\kappa 1} - t_0) = 0$  бўлади. Аппаратлардан атроф-муҳитга йўқотилган иссиқлик сарфлари  $Q_1$ ,  $Q_2$  ва  $Q_3$  ни 3 . . . 5% деб олиш мумкин. Баъзи шароитларда (масалан, иситувчи буғ ва эритма оқимлари бир хил, яъни параллел йўналишда бўлган вакуум-буғлатиш аппаратларида) иссиқлик балансининг айрим ташкил этувчилари манфий қийматга ҳам эга бўлиши мумкин.

Иссиқлик баланси тенгламалари ёрдамида кўп аппаратли буғлатиш қурилмасининг ҳар бир аппарати учун иссиқлик сарфи ва иситувчи буғнинг керакли миқдори аниқланади.

**Температуранинг умумий фойдали фарқи.** Моддий оқимлар бир хил йўналишга эга бўлган кўп аппаратли буғлатиш қурилмасининг умумий температуралар фарқи  $\Delta t_0$  биринчи аппаратни иситувчи бирламчи буғнинг температураси  $T_1$  ва конденсаторга тушган иккиламчи буғнинг тўйиниш температураси  $T'_{\text{конд}}$  ўртасидаги фарққа тенг:

$$\Delta t_0 = T_1 - T'_{\text{конд}}.$$

Кўп аппаратли буғлатиш қурилмасидаги температураларнинг умумий фойдали фарқи  $\Sigma \Delta t$  ни аниқлашда ҳамма аппаратлардаги температуралар йўқотилишининг йиғиндиси  $\Sigma \Delta$  ҳисобга олинади:

$$\Sigma \Delta t = T_1 - T'_{\text{конд}} - \Sigma \Delta \quad (6. 31)$$

Қурилмадаги аппаратларнинг оралиғида уларнинг ишлаш режимига кўра температураларнинг умумий фойдали фарқи тақсимланиши керак. (6.16) тенгламага биноан иссиқлик сарфи  $Q$  ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини  $K$  нинг қиймати берилган тақдирда, аппаратнинг иситиш юзаси  $F$  температураларнинг фойдали фарқи  $\Delta t$  га боғлиқ бўлади. Масалан, қуюқлашаётган эритма қовушоқлигининг ортиши билан иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  нинг камайишини температураларнинг фойдали фарқи  $\Delta t$  нинг қийматини ошириш йўли билан қоплаш мумкин.

Шундай қилиб, буғлатиш қурилмаси аппаратларининг иссиқлик сарфлари берилганда қурилманинг умумий иситиш юзаси — температураларнинг умумий фойдали фарқининг аппаратлар бўйича тақсимланишига ҳам боғлиқ бўлади.  $\Sigma \Delta t$  нинг қийматини аппаратлар бўйича турли усуллар билан тақсимлаш мумкин.

**Аппаратларнинг иситиш юзалари тенг бўлганда  $\Sigma \Delta t$  ни тақсимлаш.** Бундай усулдан фойдаланиш бир хил ўлчамли аппаратларни ишлатиш ва ўзаро алмаштириш имконини беради.

Иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасига кўра аппаратлардаги температураларнинг фойдали фарқи қуйидаги ифодалар билан топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1}{K_1} \cdot \frac{1}{F_1}; \quad (6.33)$$

$$\Delta t_2 = \frac{Q_2}{K_2} \cdot \frac{1}{F_2}; \quad (6.34)$$

$$\Delta t_3 = \frac{Q_3}{K_3} \cdot \frac{1}{F_3}; \quad (6.35)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\Delta t_n = \frac{Q_n}{K_n} \cdot \frac{1}{F_n}. \quad (6.36)$$

Қабул қилинган шартга асосан  $F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_n$ .  
 $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \dots F_n$  нинг ўрнига  $F$  ни ишлатиб ҳамда (6.33) (6.35)  
 ифодаларнинг ўнг ва чап томонларини қўшиб, қуйидаги тенгламани  
 ҳосил қиламиз:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n = \frac{1}{F} \left( \frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3} + \dots + \frac{Q_n}{K_n} \right) \quad (6.37)$$

ёки

$$\sum \Delta t = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K} \quad (6.38)$$

Бундан

$$\frac{1}{F} = \frac{\sum \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}.$$

(6.33) — (6.35) ифодалардаги  $\frac{1}{F}$  қийматини (6.37) тенгламага  
 қўйиб, қуйидагиларга эришамиз:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1/K_1 \sum \Delta t}{\sum Q/K}; \quad (6.39)$$

$$\Delta t_2 = \frac{Q_2/K_2 \sum \Delta t}{\sum Q/K}; \quad (6.40)$$

$$\Delta t_n = \frac{Q_n/K_n \sum \Delta t}{\sum Q/K}. \quad (6.41)$$

Демак, температураларнинг умумий фойдали фарқи аппаратлар  
 бўйича иссиқлик сарфларининг иссиқлик ўтказиш коэффициентлари  
 нисбатларига пропорционал равишда тақсимланади.  $\sum \Delta t$  ни аппарат-  
 ларнинг иситиш юзалари бир хил бўлган шароитда ( $F_1 = F_2 = F_3 =$   
 $= \dots = F_n = \text{const}$ ) тақсимлаш анча тежамли бўлганлиги сабабли у  
 кенг тарқалган.

Аппаратларнинг умумий иситиш юзаси минимал бўлганда  $\sum \Delta t$  ни  
 тақсимлаш. Бу усулни икки аппаратли буғлатиш қурилмаси мисоли-  
 да кўриб чиқамиз. Бундай қурилманинг умумий иситиш юзаси қуйи-  
 дагича топилади:

$$F = F_1 + F_2 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}. \quad (6.42)$$

$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$  бўлганлиги сабабли,  $\Delta t_2 = \sum \Delta t - \Delta t_1$  деб ёзиш мумкин. Бу ҳолда:

$$F = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q}{K_2 (\sum \Delta t - \Delta t_1)}. \quad (6.43)$$

Қурилманинг минимал иситиш юзасини топиш учун қуйидаги шартни қабул қилиш зарур:

$$\frac{dF}{d(\Delta t_1)} = 0.$$

(6.42) тенгламани дифференциаллаб ва биринчи ҳосилани нолга тенглаштириб қуйидаги ҳосилани оламиз:

$$\frac{dF}{d(\Delta t_1)} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 (\sum \Delta t - \Delta t_1)^2} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2^2} = 0$$

ёки

$$\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2^2}. \quad (6.44)$$

$$\text{Бундан } \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \sqrt{\frac{Q_1 \cdot K_1}{Q_2 \cdot K_2}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}. \quad (6.45)$$

Пропорцияларнинг хоссаларига кўра:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{\Delta t_1}{\sum \Delta t} = \frac{\sqrt{Q_1/K_1}}{\sqrt{Q_1/K_1 + Q_2/K_2}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}.$$

Демак, биринчи аппаратдаги температураларнинг фойдали фарқи қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sum \Delta t \sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}. \quad (6.46)$$

Худди шунингдек, иккинчи аппарат учун:

$$\Delta t_2 = \frac{\sum \Delta t \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}. \quad (6.47)$$

Хулоса қилиб,  $n$  та аппаратдан иборат бўлган буғлатиш қурилмасининг  $m$ -аппарати учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\Delta t_m = \frac{\sum_{\Delta t} \sqrt{\frac{Q_m}{K_m}}}{\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}} \quad (6.48)$$

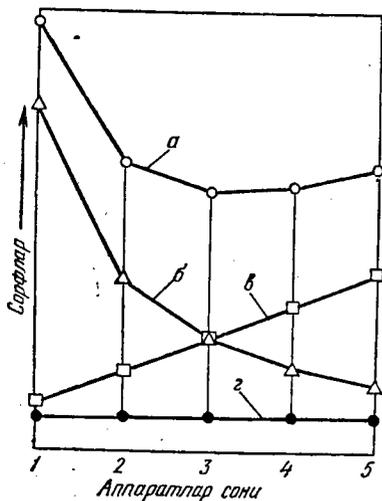
Температураларнинг умумий фойдали фарқини аппаратлар бўйича бу усул билан тақсимлаганда аппаратларнинг иситиш юзалари ҳар хил бўлиб чиқади. Бу ҳол буғлатиш қурилмасини тайёрлаш ва уни ишлатишни қимматлаштиради.

$\Delta t_m$  ни қурилманинг иситиш юзаси минимал бўлганда тақсимлаш фақат баъзи шароитлардагина (масалан, буғлатиш аппаратларини қимматбаҳо материаллардан тайёрлаш керак бўлганда) мақсадга мувофиқдир.

**Аппаратларнинг оптимал сонини аниқлаш.** Қўп аппаратли буғлатиш қурилмасида аппаратларнинг сони ортиб бориши билан 1 кг сувни буғлатиш учун зарур бўлган иситувчи буғнинг сарфи камайиб боради. Бироқ аппаратлар сонининг ортиши билан температураларнинг йўқотилиши кўпаяди. Иссиқлик ўтказиш процессининг яхши кетиши учун ҳар бир аппаратда температураларнинг фойдали фарқи (иситувчи буғ ва қайнаётган эритма температураларининг фарқи) маълум қийматга эга бўлиши шарт. Бу фарқ табиий циркуляция билан ишлайдиган аппаратлар учун камида  $5 \dots 7^\circ \text{C}$  ва мажбурий циркуляция билан ишлайдиган аппаратлар учун камида  $3^\circ \text{C}$  бўлиши керак.

Аппаратларнинг сони жуда кўпайиб кетса, температуралар йўқотилишининг йиғиндиси қурилмадаги температураларнинг умумий фарқига тенг ёки ундан ҳам ортиб кетиши мумкин. Бунда эритмаларни буғлатиш мумкин бўлмай қолади.

Аппаратларнинг оптимал сонини техник иқтисодий ҳисоблашлар йўли билан аниқлаш мақсадга мувофиқ. Бундай ҳисоблашлар электрон ҳисоблаш машиналарида ҳам бажарилиши мумкин. 6.10-расмда аппаратларнинг оптимал сонини график орқали топиш кўрсатилган. Вертикал ўқда 1 кг сувни буғлатишнинг қиймати берилган, горизонтал ўқда эса аппаратларнинг сони кўрсатилган. Графикдан кўрииб турибдики, аппаратларнинг сони кўпайиши билан иситувчи буғнинг қиймати камаймоқда ( $b$  эгри чизиги),



6.10-расм. Буғлатиш аппаратларининг оптимал сонини аниқлаш:

$a$  — умумий сарфлар;  $b$  — иситувчи буғнинг қиймати;  $v$  — амортизация сарфлари;  $г$  — меҳнат сарфи.

амортизация сарфлари эса кўпаймоқда ( $v$  — чизик), қурилмани ишла-тиш билан боғлиқ бўлган меҳнат сарфи бирозгина ўзгармоқда ( $g$  — чизик).

1 кг сувни буғлатиш билан боғлиқ бўлган умумий сарфларни бел-гилловчи эгри чизикнинг ( $a$ ) минимумига тўғри келган аппаратлар-нинг сони, тахминан, оптимал деб олинади.

Одатда кўп аппаратли буғлатиш қурилмаларидаги аппаратлар-нинг сони 2 тадан кам ва 5—6 тадан ортиқ бўлмайди. Кўпинча аппа-ратларнинг оптимал сони 3—4 та бўлади.

## 7-БОБ. ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ВА БУҒЛАТИШ АППАРАТЛАРИ

### 7.1-§. Умумий тушунчалар

Химия саноатида маҳсулотларни иссиқлик таъсирида қайта ишлаш процессидан кенг фойдаланилади. Бу нарса қуйидаги мақсадларда олиб борилади; 1) процесс температурасини берилган даражада ушлаб туриш; 2) совуқ маҳсулотни иситиш ёки иссиқ маҳсулотни совитиш; 3) эритмаларни қуйилтириш; 4) буғларни конденсациялаш ва бошқа-лар.

Бу процесслар алоҳида олинган иссиқлик алмашиниш аппаратла-рида ёки технологик аппаратнинг ўзида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашиниш қурилмалари умуман олганда иккига бў-линади: иссиқлик алмашиниш аппаратларининг ўзи ва реакторлар. Иссиқлик алмашиниш аппаратларида иссиқлик алмашиниш процесси асосий процесс ҳисобланади. Реакторларда эса физик-химиявий про-цесслар асосий ҳисобланиб, иссиқлик алмашиниш эса ёрдамчи про-цессдир.

Иссиқлик бериш усулларига кўра иссиқлик алмашиниш аппа-ратлари қуйидагиларга бўлинади: 1) сиртий иссиқлик алмашиниш ап-паратлари, буларда иссиқлик бир муҳитдан иккинчи муҳитга ажратиб турувчи сирт (юза) орқали ўтади; 2) аралаштирувчи иссиқлик алмаши-ниш аппаратлари, буларда иш муҳитлар бевосита ўзаро аралашади.

Саноатнинг барча тармоқларида суюқлик ва газларни иситиш ва совитиш учун сиртий иссиқлик алмашиниш аппаратлари кенг иш-латилади.

Конструктив тузилишга кўра сиртий иссиқлик алмашиниш аппа-ратлари трубали, змеевикли, пластинали, спиралсимон, қиррали, ғилофли ва махсус иссиқлик алмашиниш аппаратларига бўлинади.

Иссиқлик алмашиниш аппаратлари ишлатилишига ва иссиқлик алмашинишининг турига кўра иситкичлар, буғлаткичлар, совиткичлар ва конденсаторларга бўлинади. Иш муҳитининг турига кўра газ, буғ-газ, газ-суюқлик, буғ-суюқлик, суюқлик иссиқлик алмашиниш аппаратлари бўлади.

Буғлатиш процесси химия ва озиқ-овқат саноатида кенг ишлати-лади. Бу процессдан эритмаларни қуйилтириш ва эритмалардан эри-ган ҳолдаги моддаларни ажратиб олишдан ташқари, тоза эритувчилар

олиш, совуқ ҳосил қилиш техникаси ва бошқа мақсадларда фойдаланилади. Буғлатиш процесси ҳар хил буғлаткичларда олиб борилади.

Буғлатиш аппаратлари иситувчи трубаларнинг жойлашуви, корпусларнинг сони, иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши ҳамда циркуляция турига ва режимига кўра бир неча турларга ажратилади:

1. Иситиш камерасининг конструкциясига биноан; буғ рубашкали, змеевикли ва ҳар хил трубаларнинг юзасидан иборат бўлади.

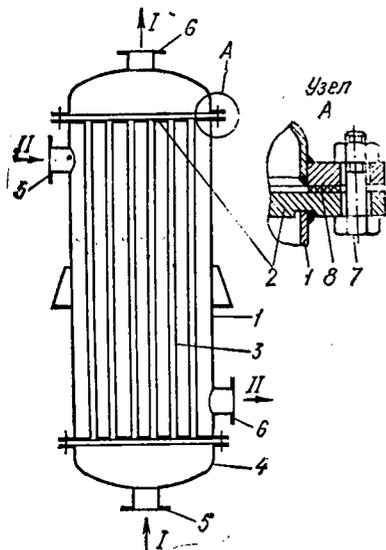
2. Иситиш юзасининг жойлашувига нисбатан вертикал, горизонтал, қия бурчак остида.

3. Иситувчи агентнинг турига кўра: буғ билан иситиш, газ билан иситиш, юқори температурали иситувчи агент ёрдамида иситиш (ёғ, даутерп, босим остидаги дистилланган сув билан), электр билан иситиш. Буғлатиш аппаратларининг иситиш камераларидаги трубалар кўпинча сув буғи билан иситилади. Иситувчи буғ иситиш камерасидаги трубанинг ичига ва трубалар орасидаги бўшлиққа берилади.

4. Циркуляция режими ва характерига кўра: табиий, мажбурий ҳамда бир ва кўп қаррали циркуляцияли буғлаткичлар. Циркуляция трубалари буғлатиш аппаратларида иситиш камерасида ва ундан ташқарида жойлашиши мумкин.

5. Корпуслар сонига нисбатан бир ва кўп корпусли.

Буғлатиш аппаратлари вакуум ва атмосфера босими остида ишлайди. Иситувчи агент буғланаётган эритмага нисбатан тўғри, қарама-қарши ва параллел йўналишда бўлади. Эритмалар буғлатиш аппаратларида даврий ва узлуксиз равишда буғлатилади.



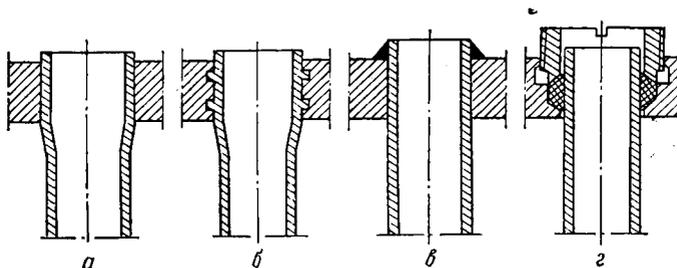
7.1- расм. Бир йўлли кожух- трубади иссиқлик алмашиш аппарати:

1 — қобик; 2 — труба тўрлари; 3 — трубалар; 4 — қопқоқ; 5, 6 — иссиқлик агентлари кирадиган ва чиқадиغان штуцерлар; 7 — болт; 8 — қистирма.

## 7.2-§. Трубади иссиқлик алмашиш аппаратлари

Кожух-трубади иссиқлик алмашиш аппаратлари (кожух ичига олинган трубади аппарат, қисқача кожух-трубади аппарат). Бу типдаги аппаратлар жуда кенг тарқалган. Бундай иситкичлар қобик (кожух) ичига жойлашган трубалар тўпламидан иборат бўлиб, трубаларнинг учлари тўрларга маҳкамланган бўлади (7.1- расм). Аппаратнинг юқориги ва пастки қисмларидаги қопқоқ фланец ёрдамида труба тўрига бириктирилади. Юқориги ва пастки қопқоқларга иситилаётган ёки совитилаётган агентларни бериш учун штуцер мўлжалланган. Трубалар тўрларга развальцовка, пайвандлаш, кавшарлаш ва сальниклар ёрдамида бириктирилиши мумкин (7.2- расм).

Иссиқлик ташувчи агентнинг биринчиси трубаларнинг ичидан, иккин-



7.2- расм. Трубаларни труба тўрларига бириктириш усуллари:  
 а) развальцовка; б) каналсимон тешиklar орқали развальцовка қилиш;  
 в) пайвандлаш; е) сальниклар билан зичлаш.

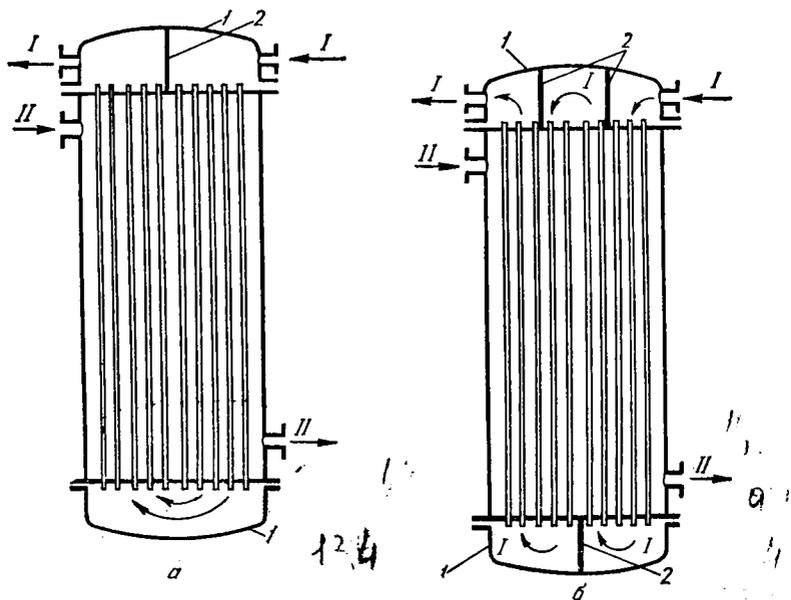
чиси эса трубалар ва аппаратнинг ички девори оралиғидаги бўшлиқдан ҳаракат қилади.

7.1- расмда бир йўналишли кожух-трубали иссиқлик алмашиниш аппарати кўрсатилган. Бунда иситилувчи газ ёки суюқлик қопқоқ-даги патрубкка орқали битта трубадан кириб, ўша трубадан чиқиб кетади. Кўпинча, бу типдаги иситкичларда иситилаётган ва иссиқлик бераётган муҳитлар бир-бирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Иситувчи агент доим иситкичнинг юқориги қисмидан ва иситилаётган муҳит эса аппаратнинг пастки қисмидан трубалар ичига берилади. Бу муҳитларнинг йўналиши иситкичдаги йўналишга мос келади, чунки иситилаётган вақтда температура ортиши ва камайиши билан уларнинг зичликлари ўзгаради. Масалан, буғ ўз иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб, пастга қараб ҳаракат қилади. Бундан ташқари, муҳитларнинг бу йўналишида уларнинг тезликлари бир хил тақсимланиб, аппаратнинг кўндаланг кесимида иссиқлик алмашиниш ўзгармас бўлади.

Агар муҳитларнинг йўналиши аксинча бўлса, яъни иситувчи агент аппаратнинг пастки қисмидан трубалар ва қобиқ оралиғидаги бўшлиққа ва иситилаётган муҳит иситкичнинг юқориги қисмидаги трубаларга берилса, у ҳолда буғ иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб юқорига кўтарилмайди. Натижада пастки трубалар билан қобиқ орасидаги бўшлиқда конденсат тўпланиб, буғнинг бу бўшлиқ орасидан ўтиши қийинлашади ва иссиқлик алмашиниш процессининг тезлиги камаяди.

Бу иситкичларда суюқликларнинг сарфи кам бўлганда уларнинг трубалардаги тезлиги кичик бўлиб, натижада иссиқлик алмашиниш коэффициенти ҳам кам бўлади. Иссиқлик ташувчи агентларнинг тезлигини ошириш учун кўп йўлли иситкичлар ишлатилади.

Кўп йўлли иситкичларда трубаларни секцияларга бўлиш учун ёки муҳитнинг ҳаракат йўлининг сонига қараб, иситкичнинг қопқоғи билан труба тўрининг орасига кўндаланг тўсиқлар ўрнатилади (7.3-расм). Бунда ҳар бир секциядаги трубаларнинг сони бир хил бўлиши керак. Кўп йўлли иситкичларда бир йўналишли иситкичларга нисбатан муҳитларнинг тезлиги йўлларнинг сонига қараб пропорционал ўзгаради.



7.3- расм. Кўп йўлли кожух-трубали иситкичлар:

а) икки йўлли; б) тўрт йўлли.

I — II — иссиқлик ташувчи агентлар; 1 — қопқоқ; 2 — қўндаланг тўсиқлар.

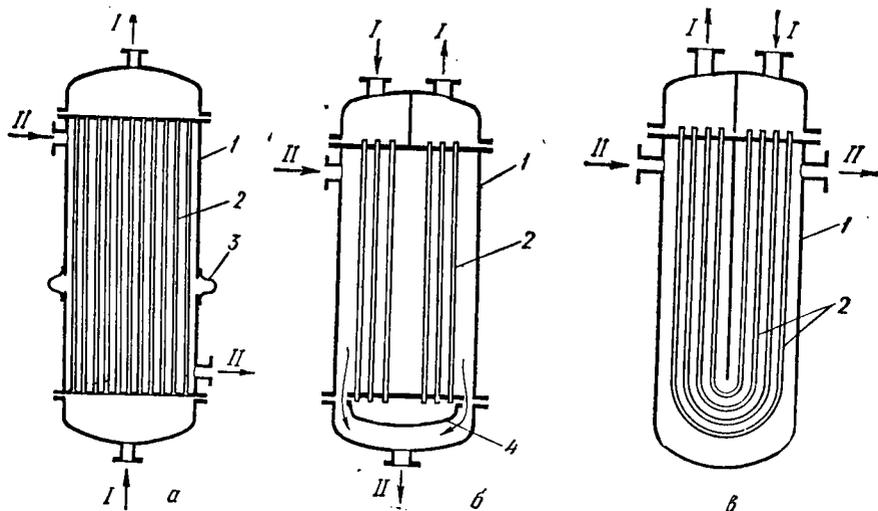
Химия ва озиқ-овқат саноатининг барча тармоқларида 4—6 йўлли иситкичлар ишлатилади. Чунки йўлларнинг сони ортиши билан иситкичнинг гидравлик қаршилиги ортиб, иссиқлик алмашилиш аппаратининг конструкцияси мураккаблашади.

Бир йўлли ва кўп йўлли кожух-трубали иситкичлар вертикал ва горизонтал ҳолатда бўлади. Вертикал иссиқлик алмашилиш аппаратларини ишлатиш қулай, уларнинг тузилиши содда ва кам жойни эгаллайди. Горизонтал иссиқлик алмашилиш аппаратлари кўпинча кўп йўлли қилиб тайёрланади.

Кожух-трубали иситкичларда қобиқ билан трубалар орасидаги температураларнинг фарқига қараб труба ва қобиқнинг узайиши ҳар хил бўлади. Шунинг учун кожух-трубали иситкичлар конструкциясига кўра икки хил бўлади: 1) қўзғалмас тўрли иситкичлар; 2) компенсацияловчи қурилмали иситкичлар (бундай аппаратларда трубаларнинг турли даражада узайишига имкон бор).

Қўзғалмас тўрли иситкичларда иссиқлик таъсирида трубалар ва қобиқ ҳар хил узаяди, шу сабабли бундай иситкичлар трубалар ва қобиқ ўртасидаги температуралар фарқи катта бўлмаганда ( $50^{\circ}\text{C}$  гача) ишлатилади.

Температуралар фарқи  $50^{\circ}\text{C}$  дан катта бўлганда трубалар ва қобиқнинг ҳар хил узайишини йўқотиш учун линзали компенсатор (7. 4-расм, а), ҳаракатчан труба тўрли (7. 4- расм, б) ва U - симон трубали



7.4- расм. Температура юқори бўлганда қобиқ ва трубаларни узайтиришни ҳисобга олувчи кожух-трубали иситкичлар:

а) линза компенсаторли; б) ҳаракатчан қалпоқчали; в) U-симон трубаги;  
1 — қобиқ; 2 — трубалар; 3 — линзали компенсатор; 4 — ҳаракатчан қалпоқча.

(7. 4- расм, в) кожух-трубали иситқлик алмашилиш аппаратлари иш-латилади.

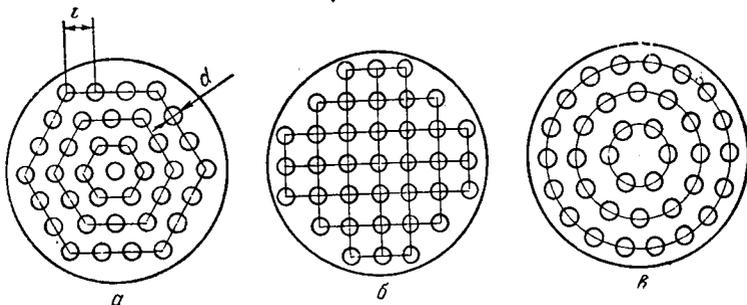
Линзали компенсатор иситкичлар трубалар ва аппарат девори ўр-тасидаги босим  $6 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> гача бўлганда ишлатилади.

Трубаги тўрли ҳаракатланувчи иситкичлар температуралар фар-қи катта бўлганда ишлатилади. Бу иситкичда пастдаги труба тўри ҳа-ракатчан бўлиб, бунда трубалар тўплами аппаратнинг қобиғида температура таъсирида узайганда ҳам бемалол ҳаракат қилади. Трубаларнинг узайишини йўқотувчи компенсацияли иситкичларнинг конструкцияси мураккабдир.

U-симон кожух-трубали иситкичларда иситқлик таъсирида труба-ларнинг узайишидаги компенсацияни труба қурилмаларининг ўзи бажаради. Шунинг учун уларнинг конструкцияси содда бўлиб, труба-лар тўплами битта қўзғалмас тўрга ўрнатилади. Бу иситкичларда тру-баларнинг ички юзасини тозалаш қийин ва трубаларни тўрга жойлаш-тириш жуда мураккабдир.

Кожух-трубали иситкичларда трубалар тўрга уч хил усул билан жойлаштирилади; а) тўғри олтибурчаклик қирралари бўйлаб; б) кон-центрлик айланалар бўйича; в) квадратнинг томонлари бўйлаб (7. 5-расм, а, б, в).

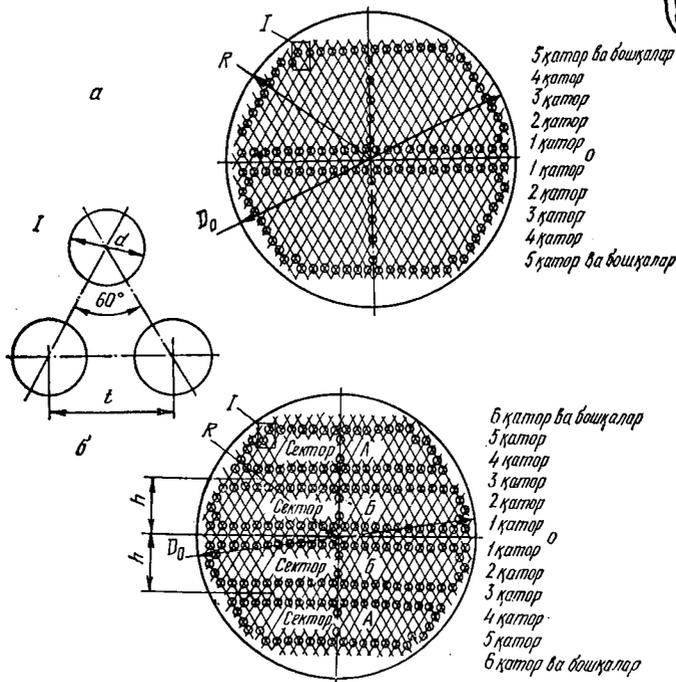
Кўпинча кожух-трубали иситкичларда трубалар тўғри олтибур-чаклик қирралари бўйлаб жойлаштирилади, чунки бунда трубалар ихчам жойлашиб, уларнинг сони кўпроқ бўлади (7. 6- расм). Айрим вақтларда трубаларнинг юзасини тозалаш осон бўлишини назарда тутиб трубалар тўрга квадрат томонлари бўйлаб жойлаштирилади.



7.5-расм. Трубаларни труба тўрларига жойлаштириш усуллари:  
 а) тўғри олтибурчаклик қирралари бўйлаб; б) квадрат гомонлари бўйлаб; в) кон-  
 центрик айланалар бўйлаб.

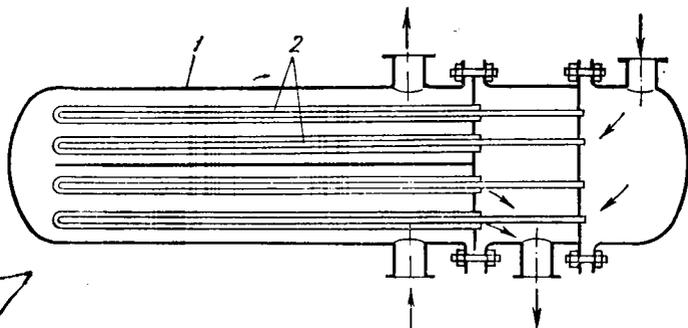
Кожух-трубали иситкичлар қуйидаги афзалликларга эга: ихчам, металл кам сарф қилинади, иссиқлик алмашилиш юзаси катта, труба-ларнинг ичини тозалаш осон.

Бу аппаратлар камчиликлардан ҳам ҳоли эмас: иссиқлик ташувчи-ларни катта тезлик билан ўтказиш қийин, трубаларнинг ташқариси-даги бўшлиқни тозалаш ва тузатиш имкони кам.



7.6-расм. Кўп йўлли иситкичда трубаларни олтибурчаклик қирралари бўйлаб жойлаштириш:

а) икки йўлли; б) олти йўлли.



7.7- расм. Элементли иссиқлик алмашиниш аппарати:

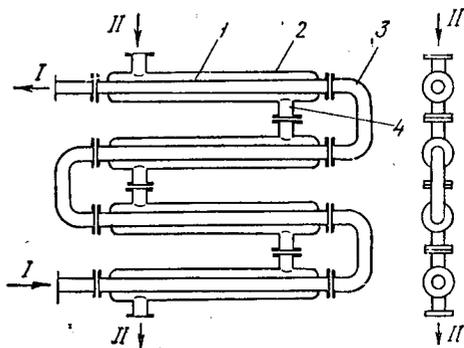
1 — қобик; 2 — икки қаторли трубкалар.

➔ **Элементли иссиқлик алмашиниш аппаратлари.** Бу иситкичлар кетма-кет уланган бир неча труба элементларининг секциясидан иборат (7.7- расм). Иситкичнинг битта секциясида трубаларнинг сони 4—140 та бўлиши мумкин. Элементларнинг бир нечаси биргаликда (уларда трубаларнинг сони кам бўлганда) худди кўп йўлли кожух-трубали иссиқлик алмашиниш аппаратларига ўхшаб ишлайди. Бу иситиш аппаратлари иссиқлик ташувчи агентларнинг тезликлари бир хил китталикда ва иш муҳитларининг босими юқори бўлганда ҳам самарали ишлайди.

Элементли иссиқлик алмашиниш қурилмаларида тўсиқлар бўлмагани учун гидравлик қаршилик кам бўлади. Натижада труба ораларида ифлосланган қатламнинг ҳосил бўлиши ҳам камаяди. Аммо кўп йўлли кожух-трубали иситиш аппаратларига нисбатан бу иситиш қурилмаларида элементларнинг сони ортиши билан фланец бирикмалари, компенсатор ҳамда труба тўрларининг сони ортади, натижада аппаратнинг қиймати ҳам ортиб кетади.

Элементли иссиқлик алмашиниш аппаратидаги битта секциянинг иссиқлик алмашиниш юзаси 0,75...30 м<sup>2</sup>га тенг.

«Труба ичида труба» типидagi иссиқлик алмашиниш аппаратлари. Бундай иситкичлар бир неча элементлардан тузилган. Ҳар бир элемент катта диаметрли ташқи труба ва концентрик ҳолда жойлашган ички трубадан иборат (7.8- расм). Ички трубадан иситилаётган муҳит ҳаракат қилса, трубаларо бўшлиқдан эса совитилаётган агент ҳаракат қилади.



7.8- расм. «Труба ичида труба» типидagi иссиқлик алмашиниш аппарати:

1 — Иссиқлик ташувчи агентлар; 1 — ички труба; 2 — ташқи труба; 3 — калач; 4 — бирлаштирувчи патрубкка.

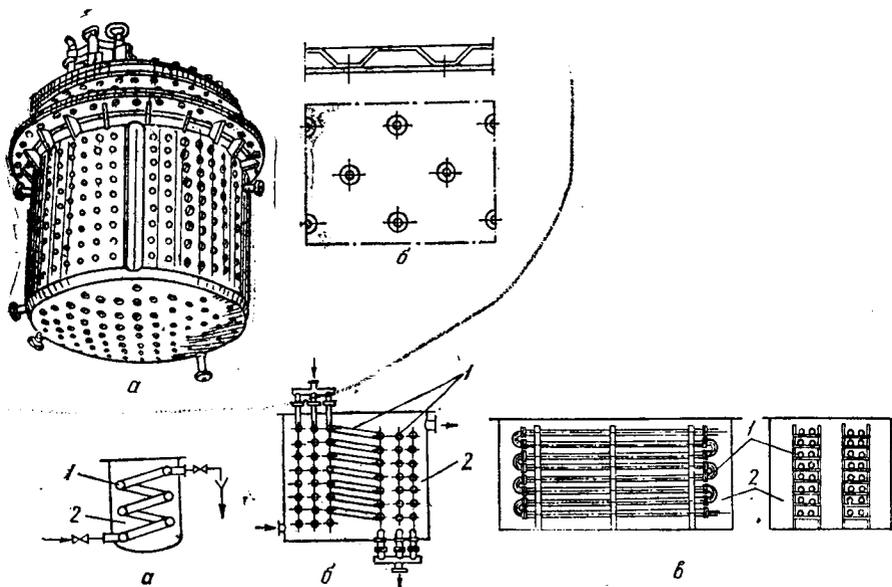
Ички трубаининг ва трубалараро бўшлиқнинг кўндаланг кесимлари кичик бўлганлиги сабабли кичик сарфларда ҳам иссиқлик ташувчи агентларни катта тезликлар билан ўтказиш мумкин. Шунинг учун бу иситкичларда юқори кўрсаткичли иссиқлик ўтказиш коэффициентига эришиш мумкин ва аппаратнинг масса бирлигига тўғри келадиган иссиқлик миқдори кожух-трубали иситкичларга нисбатан юқори бўлади. Бундан ташқари, иссиқлик ташувчи агентларнинг тезлиги катта бўлгани учун, трубаларнинг юзасида ҳар хил ифлосликлар ҳосил бўлмайди.

Бу типдаги иситкичлар юқори босимда ва иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфланиш миқдори кам бўлганда ҳам ишлайди. Уларнинг афзаллиги: иссиқлик ташувчи агентлар катта тезликка эга бўлганлиги учун иссиқлик ўтказиш коэффициентининг қиймати ҳам катта, аппаратни тайёрлаш осон.

Камчиликлари ўлчамлари катта, иссиқлик алмашилишида қатнашмайдиغان ташқи трубаларга кўп металл сарфланганлиги учун аппаратнинг қиймати катта, трубалар ўртасидаги бўшлиқни тозалаш қийин.

### 7.3-8. Змеевикли иссиқлик алмашилиш аппаратлари

Бундай иситкичларда 15...20 мм ли трубалардан тайёрланган спиралсимон змеевиклар суюқлик билан тўлдирилган идишга ўрнатилади (7.9- расм, а). Змеевик трубаларидан газ ёки буғ ҳаракатланади.



7.9- расм. Змеевикли иситкич:

а) битта спиралсимон трубали; б) бир неча спиралсимон трубали; в) тўғри трубали.  
а — аппаратнинг ташқи кўриниши; б — маҳкамлаш схемаси; 1 — трубалар; 2 — резервуар.

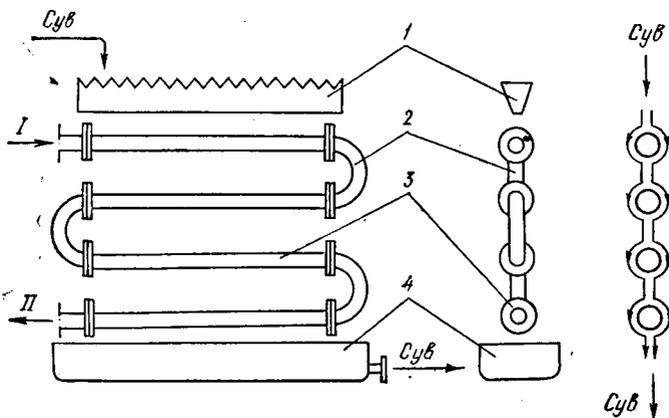
Суyoқлик билан тўлдирилган идишнинг ҳажми катта бўлгани ва идиш ичидаги суyoқликнинг тезлиги жуда кичик бўлгани учун змеевикнинг ташқи девори томондаги буғ билан суyoқлик орасидаги иссиқлик бериш коэффициентини ҳам кичик қийматга эга бўлади. Аппаратнинг ҳажмини камайтириш ва суyoқликнинг тезлигини ошириш учун унинг ичига стаканга ўхшаш идиш туширилади.

Бундай иссиқлик алмашиниш қурилмаларида змеевиклар тўғри трубалардан тайёрланиб, калачлар ёрдамида бирлаштирилади (7. 9-расм, в).

Агар иссиқлик ташувчининг миқдори катта бўлса, бир неча параллел секциялардан иборат бўлган змеевиклар ўрнатилади (7. 9-расм, б) Секциялар бундай параллел уланганда муҳитнинг тезлиги ва ҳаракат йўли камайиши натижасида қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам кам бўлади. Бу иситкичларда трубалараро иссиқлик алмашинишнинг интенсивлиги кам, чунки иссиқлик змеевик трубаларидан идишдаги иситилаётган суyoқликка эркин конвекция орқали ўтади. Шунинг учун бу иситкичлар кам миқдордаги суyoқликларни иситиш учун ишлатилади.

Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг конструкцияси содда ва арзон бўлганлиги учун улар саноатда кенг қўлланилади. Бу иситкичларни тозалаш, тузатиш осон ҳамда улар юқори босимда химиявий актив муҳитларни иситиш учун ҳам ишлатилади.

Змеевик трубаларида ҳаракатланаётган буғнинг босими 0,2.. 0,5 МПа гача бўлганда змеевик узунлигининг труба диаметрига нисбати 200 — 245 бўлиши керак. Агар бу нисбатнинг миқдори катта бўлса, буғ конденсати змеевик трубаларнинг пастки қисмида йиғилиб, иссиқлик алмашиниш тезлиги камаяди ва гидравлик қаршиликлари ортиб кетади. Афзаллиги: тайёрлаш осон, иссиқлик алмашиниш юзасини узатиш ва тузатиш осон, идишдаги суyoқликнинг ҳажми катта бўлганлиги сабабли режимнинг ўзгаришларига унча сезгир эмас. Камчиликлари: ўлчами катта, идишдаги суyoқликнинг тезлиги кам



7.10- расм. Ювилиб турувчи иссиқлик алмашиниш аппарати:

1 — сувни сочиб берувчи тарнов; 2 — калач; 3 — трубалар; 4 — сув йиғичи,

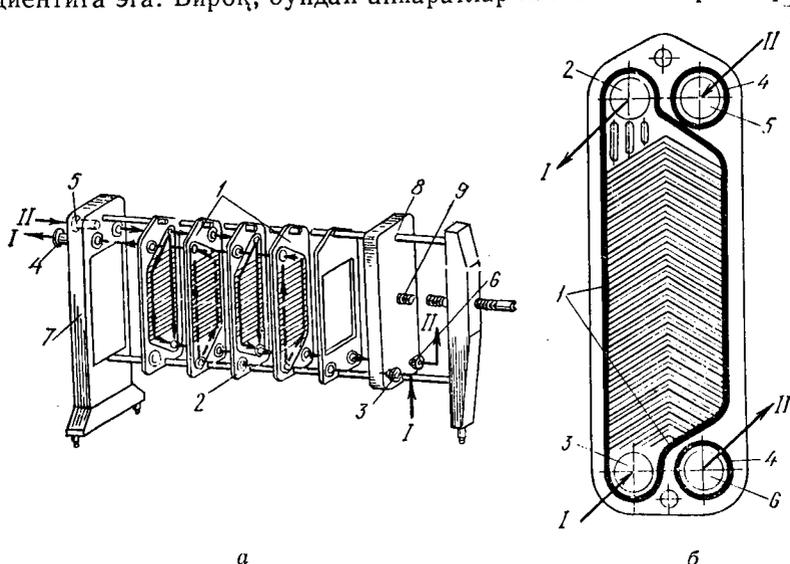
бўлганлиги учун змеевикнинг ташқарисидаги иссиқлик бериш коэффициентини кичик, трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин.

Ювилиб турувчи иссиқлик алмашилиш аппаратлари ҳам змеевикли аппаратлар қаторига киради. Бундай иситкичлар ташқи томонидан суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи (одатда сув) билан ювилиб турувчи змеевиклардан иборат (7.10- расм). Пуркаб берувчи тарнов орқали сув юқориги трубага берилиб, ундан кейин пастки трубага тушади. Кетма-кет ҳамма трубалардан ўтгач, сув совиткичнинг тагида жойлашган йиғичга тушади. Одатда бундай совиткичлар очиқ ҳавода жойлаштирилган бўлади.

Афзалликлари: совитувчи сувнинг сарфи кам, тузилиши содда ва арзон, трубаларни тозалаш осон.

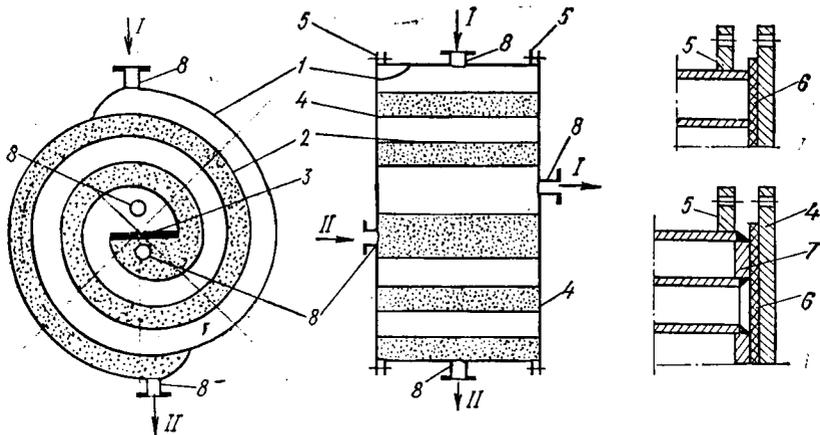
#### 7.4-§. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашилиш аппаратлари

Пластинали иссиқлик алмашилиш аппаратлари юпқа металл листлардан тайёрланган бир неча қатор параллел пластиналардан тузилган бўлади (7.11- расм). Пластиналар ўртасидаги каналлар икки гурпуага бўлинади: биринчи гурпуа каналлардан иссиқлик ташувчи агент ҳаракат қилса, иккинчи гурпуа каналлардан эса иссиқлик қабул қилувчи агент ҳаракат қилади. Бундай иссиқлик алмашилиш аппаратлари жуда ихчам бўлиб, иккала иссиқлик ташувчиларни катта тезлик билан ўтказиш имкониятига ва юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга. Бироқ, бундай аппаратлар катта босимларга бардош



7.11- расм. Пластинали иссиқлик алмашилиш аппарати:

а) иситкич схемаси; б) иситкич пластинасининг тузилиши: 1 — жуфт пластиналар; 2 — тоқ пластиналар; 3, 4 — иссиқлик ташувчи агентларнинг кириш ва чиқиш штуцерлари (I суюқлик учун); 5, 6 — штуцерлар (II суюқлик учун); 7 — қўзғалмас плита; 8 — ҳаракатланувчи плита; 9 — тортиш винти. 1, 4 — қистирма; 2, 3 — суюқлик тешиклари (I суюқлик учун); 5, 6 — тешиклар (II суюқлик учун);



7.12- расм. Спиралсимон иссиқлик алмашиниш аппарати:

1, 2 — металл листлар; 3 — пластина тўсиқлар; 4 — қопқоқ; 5 — фланец; 6 — қистирма; 7 — оралик йўл; 8 — суюқликнинг кириш ва чиқиш штуцери.

бера олмайди, иситкични ремонт қилгандан кейин пластиналар орасидаги тегишли зичликни яна ҳосил қилиш қийин.

Бундай аппаратлар асосан атмосфера босимида газлар ўртасида иссиқлик алмашиниш учун хизмат қилади (масалан, ҳавони тутун газлари билан иситиш учун ишлатилади).

Спиралсимон иссиқлик алмашиниш аппаратлари тўғри тўртбурчаклик кесимига эга бўлган иккита каналлардан иборат (7. 12- расм). Каналлар юпқа металл пластиналардан тузилган бўлиб, улар иссиқлик алмашиниш юзаси вазифасини бажаради. Спиралларнинг ички томонидаги учлари ажратувчи тўсиқ орқали бириктирилган. Каналлар системаси қопқоқ ёрдамида беркитилган.

Горизонтал спиралсимон аппаратлар иккита суюқлик ўртасида иссиқлик ўтказиш учун хизмат қилади. Вертикал спиралсимон аппаратлар эса конденсацияланаётган буғ ва суюқлик орасида иссиқлик алмашинишни амалга ошириш учун ишлатилади.

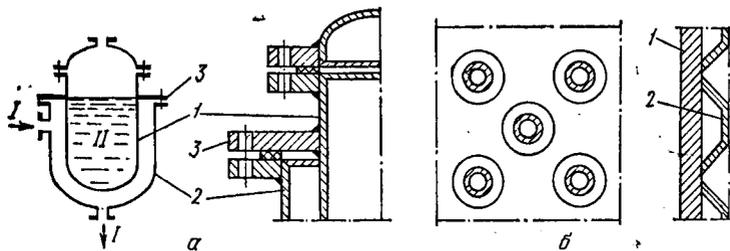
Афзалликлари: тузилиши ихчам, иккала иссиқлик ташувчи агентни катта тезлик билан ўтказиш мумкинлиги учун катта иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга, гидравлик қаршилиги кўп йўлли кожух-трубали аппаратларникига қараганда кам.

Камчиликлари: тайёрлаш ва ремонт қилиш мураккаб, 0,6 МПа дан ортиқ босим билан ишлаш мумкин эмас.

### 7.5-§. Ғилофли ва қиррали иссиқлик алмашиниш аппаратлари

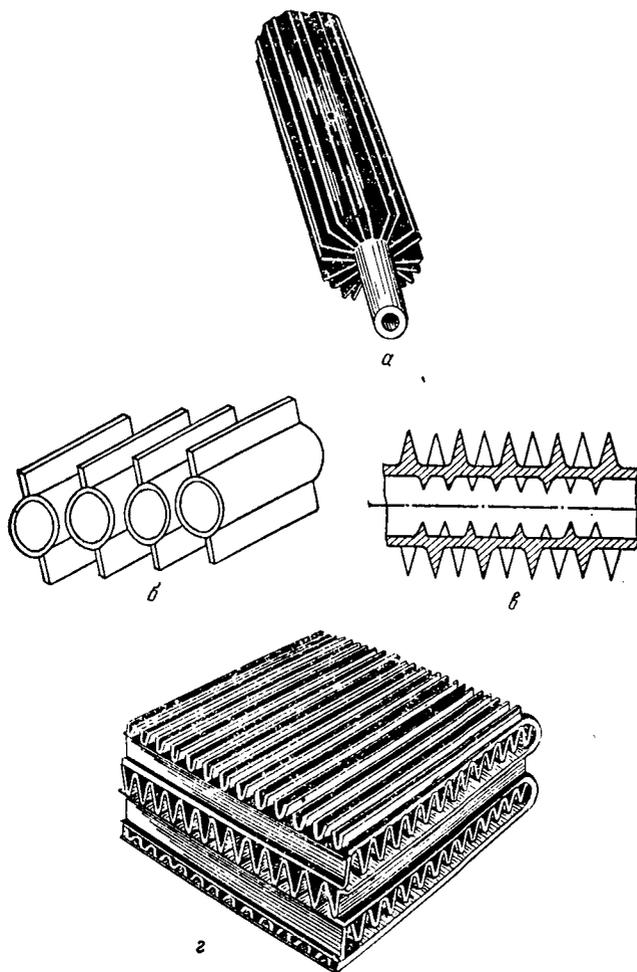
Энг оддий ғилофли аппаратнинг схемаси 7. 13- расмда келтирилган, уларни энг кўпи билан 0,6 . . 1 МПа босимгача ишлатиш мумкин. Бундай аппаратларда иссиқлик алмашиниш юзаси 10 м<sup>2</sup> гача.

Аппаратдаги суюқликнинг иссиқлик бериш коэффициентини ошириш учун аралаштиргичлар ишлатилади. Бу аппаратлар кўпинча химиявий моддаларни синтез қилишда қўлланилади.



7.13- расм. Ғилофли иссиқлик алмашиниш аппарати:

а) паст босимлар учун; б) юқори босимлар учун, 1 — корпус; 2 — буге қобяғи; 3 — фланец.



7.14- расм. Қиррали иссиқлик алмашиниш аппарати:

а) қиррали, труба; б) силлиқ қиррали; в) нинасимон қиррали; г) қирра пластина.

Агар иссиқлик ташувчилардан бирининг иссиқлик бериш коэффициентини иккинчисиникидан анча кичик бўлса, у ҳолда  $\alpha$  нинг қиймати кичик бўлган томондаги иссиқлик алмашилиш юзаси катталаштирилади. Бундай шароитларда қиррали юзага эга бўлган иссиқлик алмашилиш аппаратлари ишлатилади. Буларга калорифер, радиаторлар мисол бўлади (7. 14- расм).

Қиррали иссиқлик алмашилиш аппаратлари ҳаво ва газларни иситиш учун, қуритиш аппаратларида корхона бинолари ва турар жойларнинг иситиш системаларида энг кўп қўлланилади.

## 7. 6- §. Иссиқлик алмашилиш аппаратларининг бошқа турлари

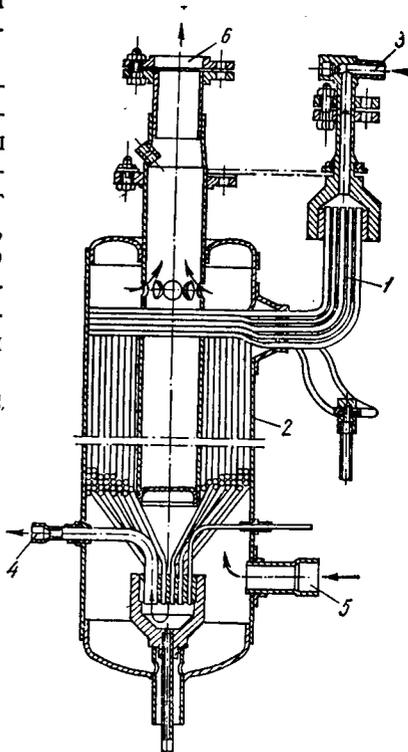
**Айланма иссиқлик алмашилиш аппаратлари.** Бу иситкичларнинг иситиш юзаси қобиқ ичига ўрнатилган концентрик змеевик трубаларнинг тўпламидан иборат. Змеевик трубалар махсус улагичлар орқали қобиққа бириктирилади (7. 15- расм).

Иссиқлик ташувчи агентларнинг бири змеевик трубаларидан, иккинчиси эса труба ва аппарат девори ўртасидаги оралиқдан ҳаракат қилади.

Бу типдаги иситкичлар юқори босимли аппаратларда газ аралашмаларини кучли совуқ остида ажратиш учун ишлатилади. Айланма иссиқлик алмашилиш аппаратларининг характерли хусусиятлари шундаки, бунда иссиқлик ташувчи агентлар орасидаги температуралар фарқи катта бўлганда ҳам змеевик трубаларининг узайиши ўз-ўзидан компенсация қилинади.

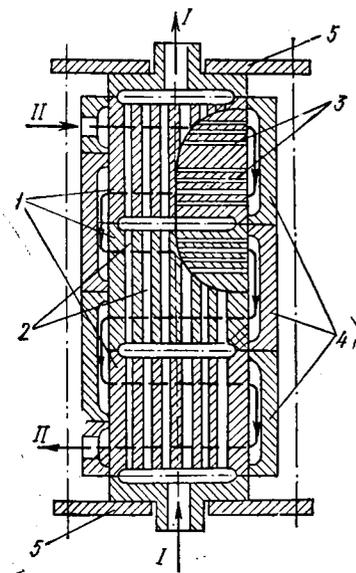
**Графитли иссиқлик алмашилиш аппаратлари.** Графитнинг иссиқлик ўтказиш хусусияти ва суюқлик таъсирида коррозияга учрамаслиги туфайли графитли иссиқлик алмашилиш аппаратлари саноатнинг барча тармоқларида ишлатиладиган иситкичларга нисбатан кенг тарқалган бўлиб, унинг афзалликларини ҳеч қандай иситкич билан солиштириб бўлмайди.

Саноатда блокли кожух-трубали ювилувчи иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг трубалари графитдан тайёрланади. Графитнинг химиявий мустақкамлигини ошириш учун унинг бўш ғовакларига фенол-формальдегид смоласи шимдирилади.



7.15- расм. Айланасимон иситкич:

1 — трубалар; 2 — ташқи деворнинг қалинлиги; 3, 4 — юқори босимли газнинг кириш ва чиқиш патрубкълари; 5, 6 — паст босимли газнинг кириш-чиқиш патрубкълари.



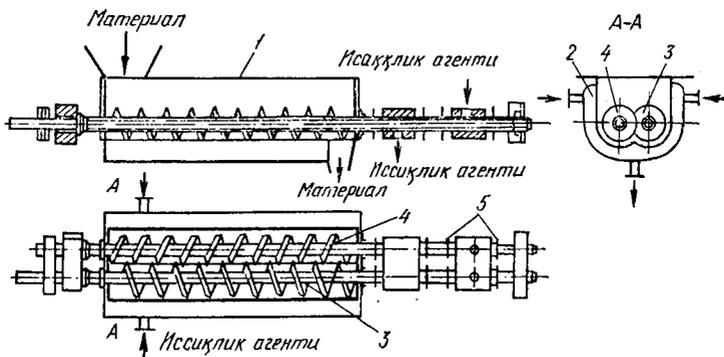
7.16-расм. Графитли иситкич:  
 1 — графит блоклари; 2 — вертикал думалоқ каналлар; 2 — горизонтал думалоқ каналлар; 4 — ён томондаги каналлар; 5 — қопқоқ.

Бундай графитдан тайёрланган иссиқлик алмашиниш қурилмалари химиявий агрессив муҳитларни (суюлтирилган сульфат ва фосфат кислоталар, қиздирилган хлорид кислота) иситиш ва совитиш учун ишлатилади. Бу иситкичларда графитнинг иссиқлик ўтказиш коэффициентини юқори бўлади, яъни  $\lambda = 92 \dots 116 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Графитли иссиқлик алмашиниш аппарати бир ва бир қанча тўғри бурчакли ёки цилиндрсимон блоклардан иборат (7.16-расм). Бу иситкичларда иссиқлик ташувчи агентларнинг ҳаракат қилиши учун кўндаланг кесими думалоқ бўлган вертикал каналлар ҳамда унга перпендикуляр бўлган каналчалар бор. Иссиқлик ташувчи агентларнинг биринчиси вертикал каналларда, иккинчиси эса горизонтал каналларда ҳаракат қилади. Ҳар хил блокларнинг горизонтал каналлари бир-бири билан ён томондаги камералар орқали боғланган. Графит блоклари ўзаро бир-бири билан резина қатлам орқали болт ёрдамида зичлаштирилади.

Графитли цилиндрсимон блокли иссиқлик алмашиниш аппаратларида горизонтал каналлар радиал равишда йўналган бўлади. Графитли блокли аппаратларда иш босимнинг қиймати  $2,9 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$  дан ошмаслиги керак.

**Шнекли иссиқлик алмашиниш аппаратлари.** Иссиқлик ўтказиш хусусияти кам ва қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни ҳамда сочилувчан моддаларни иситганда, иссиқлик алмашиниш тезлигини



7.17-расм. Шнекли иситкич:

1 — корпус; 2 — қобик; 3, 4 — шнеklar; 5 — сальниклар.

ошириш учун аппаратнинг деворига тегиб турган муҳитнинг юза қисмини доимий равишда янгилаб туриш лозим. Шу мақсадда бир вақтнинг ўзида моддаларни механик аралаштириб шнек ёрдамида узатиш лозим (7. 17- расм).

Аппаратнинг чекка қисмидан тушаётган материал бир-бирига қараб айланма ҳаракат қилаётган шнекларда аралашиб, шнеклар материални қарама-қарши томонга ҳаракатлантиради ва аппаратнинг иккинчи чекка томонидан чиқариб юборади.

### 7. 7-§. Сиртий иссиқлик алмашилиш аппаратларининг ҳисоби

Иссиқлик алмашилиш аппаратларини лойиҳалашда улар учун аввал турли ҳисоблаш ишлари бажарилади. Ҳисоблаш уч қисмдан иборат бўлади: а) иссиқлик ҳисоби; б) конструктив ҳисоблаш; в) гидравлик ҳисоблаш.

Аппаратларнинг иссиқлик ҳисобидан асосий мақсад зарур бўлган иссиқлик алмашилиш юзаси  $F$  ни топишдир.  $F$  ни аниқлаш учун иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфи, уларнинг дастлабки ва охириги температуралари берилган бўлади.

Бундай иссиқлик ҳисоби натижасида қуйидагилар аниқланади: 1) ўртача температуралар фарқи ва иш муҳитининг ўртача температуралари; 2) иссиқлик миқдори ва иш жисмларининг сарфи; 3) иссиқлик ўтказиш коэффициенти; 4) иситиш юзаси.

Иссиқлик ҳисоби конструктив ва гидравлик ҳисоблаш билан узлуксиз боғлиқликда олиб борилади.

Узлуксиз ишлайдиган, буғ-суюқлик муҳитларига мосланган труба баи иситкичнинг иссиқлик ҳисобини кўриб чиқамиз. Қуйидаги бошланғич маълумотлар берилган бўлиши керак:

1) Иситилаётган эритманинг миқдори  $G$ , кг/с.

2) Эритманинг концентрацияси  $C$ , %.

3) Эритманинг бошланғич ва охириги температуралари  $t_6$ ,  $t_0$ .

4) Иситкичнинг тури — вертикал, горизонтал трубалар, йўллар сони.

5) Иситувчи буғнинг босими  $P$  ёки температураси  $t$ .

6) Пулат трубаларнинг ички ва ташқи диаметри  $d_{и}$  ва  $d_{т}$ .

7) Трубаларнинг узунлиги  $l$  м.

8) Эритманинг ҳаракат тезлиги  $\omega$ , м/с.

9) Иситиш юзасидан фойдаланиш коэффициенти  $\phi$ .

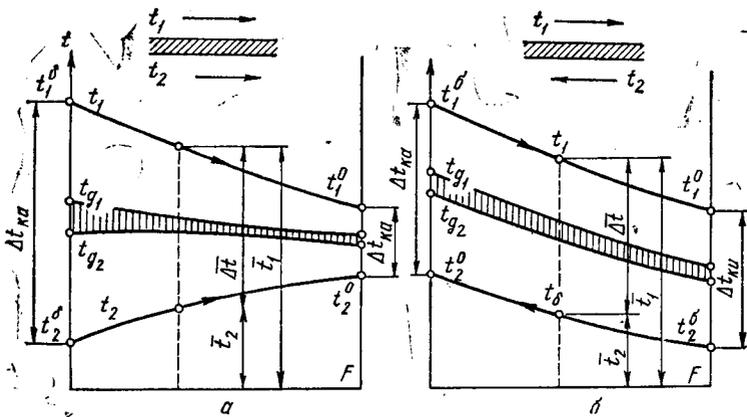
Ҳисоблаш қуйидаги тартибда олиб борилади.

**I. Иситкичнинг температура шартларини аниқлаш.** Тўйинган буғ босими  $P$  га кўра унинг тўйиниш температураси  $t_s$  махсус қўлланмалардан топилади. Иситишнинг бошланишида температураларнинг максимал фарқи:

$$\Delta t_{max} = t_s - t_6 = \Delta t_{ка}. \quad (7. 1)$$

Иситишнинг охиридаги муҳит температураларининг минимал фарқи:

$$\Delta t_{min} = t_s - t_0 = \Delta t_{ки}. \quad (7. 2)$$



7.18- расм. Ўртача логарифмик температуралар ва уларнинг фарқини аниқлаш.

$\Delta t_{\max}$  ва  $\Delta t_{\min}$  температуралар фарқининг қиймати 7. 18-расмдан аниқланади. Агар  $\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} > 2$  бўлса,

$$\Delta t_{\text{yp}} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}}; \quad (7.3)$$

$$\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} < 2 \text{ бўлса } \Delta t_{\text{yp}} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}. \quad (7.4)$$

Иситилаётган муҳитнинг ўртача температураси:

$$t = t_s - \Delta t_{\text{yp}}.$$

**II. Иситилаётган эритманинг физик катталикларини топиш.** Ўртача температура  $t$  ва  $C$  бўйича махсус қўлланмадаги жадваллардан фойдаланиб берилган иссиқлик ташувчи агентларнинг физик миқдорлари топилади:

- 1) қовушоқлик  $\mu$ ;  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  ёки  $\text{с}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .
- 2) zichlik  $\rho$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .
- 3) иссиқлик сифими  $C$ ,  $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .
- 4) иссиқлик ўтказувчанлик  $\lambda$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .
- 5) температура ўтказувчанлик  $a$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .
- 6) Прандтл сони аниқланади.

**III. Иссиқлик миқдори, буг ва сув сарфларини аниқлаш.** Суyoқликни иситиш учун кетган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Q = H G \cdot C (t_0 - t_6), \text{ Вт}; \quad (7.6)$$

бунда  $H = 1,02 \dots 1,05$  — иссиқликнинг йўқотилишини ҳисобга олувчи коэфффициент;  $G$  — суyoқлик сарфи,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $C$  — иссиқлик сифими,  $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $t_0$  — суyoқликнинг охириги температураси,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_6$  — суyoқликнинг бошланғич температураси,  $^{\circ}\text{C}$ .

Агар газ ёки суюқлик совитилаётган бўлса, совитувчи модданинг миқдори қуйидагича аниқланади:

$$G' = \frac{G \cdot C (t_0 - t_6)}{C' (t'_0 - t'_6)}, \text{ кг/с; } \quad (7.7)$$

бу ерда  $C'$ — совитувчи модданинг иссиқлик сифими;  $t'_0$ — совитувчи модданинг охириги температураси;  $t'_6$ — совитувчи модданинг бошланғич температураси.

Буғ сарфи қуйидагича топилади:

$$D = \frac{Q}{i - \Theta}, \text{ кг/с; } \quad (7.8)$$

$i$ — иситувчи буғнинг энтальпияси,  $\Theta$ — конденсатнинг энтальпияси, Ж/кг;

$$\Theta = t_s - (2 \dots 3^\circ \text{C}).$$

$i$ — махсус қўлланмаларда берилган буғ босими  $P$  бўйича олинади.

**IV. Иссиқлик ўтказиш коэффициентини аниқлаш.** Бир ва кўп қаватли яхлит деворлардан ҳамда трубанинг ички диаметри  $d_n$  ни унинг ташқи диаметри  $d_T$  га нисбати  $d_n/d_T > 0,5$  бўлган шароитда трубалардан иссиқлик ўтган пайтда иссиқлик ўтказиш коэффициентини қуйидаги тенглама билан топиш мумкин:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \sum r_3 + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}. \quad (7.9)$$

Трубалар (цилиндрсимон юзалар) учун иссиқлик ўтказишнинг чизиқли коэффициенти 1 м труба узунлигига нисбатан олинади ва қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$K_k = \frac{3,14}{\frac{1}{\alpha_1 d_n} + \sum \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_T}{d_n} + \frac{1}{\alpha_2 d_T} \sum \frac{r_1}{d_3}}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}. \quad (7.10)$$

бу ерда  $\alpha_1$ — иссиқ муҳитдан (иситувчи буғдан) деворга иссиқлик бериш коэффициенти, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $\alpha_2$ — девордан иситилаётган муҳитга иссиқлик бериш коэффициенти,  $\delta$ — девор қатламининг қалинлиги, м;  $\lambda$ — алоҳида олинган девор қатламининг иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/(м · К);  $\sum \frac{\delta}{\lambda}$ — девор қатламларининг умумий термик қаршилиги;  $\sum r_3$ — ифлосликларнинг термик қаршилиги, м;  $d_3$ — трубанинг ифлосликлар билан қопланган диаметри.

Иссиқлик бериш коэффициентлари  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  критериал тенгламалар ёрдамида топилади. Масалан, бизнинг мисол учун буғдан деворга берилаётган иссиқлик бериш коэффициенти  $\alpha_1$  қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t H}}. \quad (7.11)$$

Конденсатнинг физик-химиявий катталиклари  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\rho$  юпқа қатлам (плёнка) нинг ўртача температураси  $t_{пл} = \frac{t_{\tau} + t_{д}}{2}$  бўйича топилади. Конденсацияланиш иссиқлиги  $r$  тўйиниш температураси  $t_{\tau}$  га қараб аниқланади. Температуралар фарқи қуйидаги айирмага тенг:

$$\Delta t = t_{\tau} - t_{д};$$

Бу ерда  $t_{д}$  — деворнинг температураси;  $H$  — вертикал юзанинг қаландлиги.

Агар иситиш трубалари горизонтал бўлса, бунда буғнинг труба деворларига иссиқлик бериш коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t d}} \quad (7.12)$$

бу ерда  $d$  — трубанинг диаметри.

Деворлардан иситилаётган муҳитга, иссиқлик бериш коэффициенти ҳаракат режимига кўра ҳар хил критериал тенгламалар ёрдамида топилади. Ҳисоблаш тенгламасини топиш учун аввал Рейнольдс критерийси  $Re$  аниқланади. Агар  $Re > 10000$  бўлса, трубалардаги мажбурий конвекция вақтидаги иссиқлик бериш коэффициенти  $\alpha_2$  қуйидагига тенг бўлади:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (7.13)$$

Агар  $2300 > Re > 10000$  бўлса:

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (7.14)$$

Агар ламинар режимда  $Re < 2300$  бўлса:

$$Nu = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \quad (7.15)$$

Сўнгра  $\alpha$  нинг қиймати Нуссельт критерийси орқали топилади:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$$

**V. Иситиш юзасини топиш.** Иситкичнинг иситиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг умумий тенгламасидан топилади:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \text{ м}^2.$$

Бу юза учун қабул қилинган иситкичнинг схемаси трубаларнинг диаметри ва узунлигига кўра жойлаштирилади. Иситиш юзасини жойлаштириш иситкичнинг конструктив ҳисобини ташкил этади.

## 7.8-§. Иссиқлик алмашиниш аппаратларини конструктив ҳисоблаш

Конструктив ҳисоблашнинг умумий мақсади иссиқлик алмашиниш аппаратининг асосий ўлчамларини топишдан иборат. Бунда қуйидагилар аниқланади: аппарат трубали қисмининг ўлчамлари, трубаларнинг сони, тўрда трубаларнинг жойлашуви, аппаратнинг диаметри, аппаратнинг қаландлиги, патрубкларнинг диаметри.

1. Аппарат трубади қисмининг ўлчамларини аниқлаш. а) Битта йўлдаги трубаларнинг кўндаланг кесимини топамиз:

$$f_T = \frac{G}{\rho \cdot \omega}; \quad (7.16)$$

бу ерда  $G$  — суюқликнинг сарфи, кг/с;  $\rho$  — суюқликнинг вичлиги кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  — суюқликнинг тезлиги, м/с.

б) Битта йўлдаги трубаларнинг сони:

$$n = \frac{f_T}{0,785 \cdot d_n^2}; \quad (7.17)$$

$d_n$  — трубаининг ички диаметри, м.

в) Ҳамма йўллардаги трубаларнинг узунлиги:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_x \cdot n}; \quad (7.18)$$

бу ерда  $F$  — иситкичининг иситиш юзаси, м<sup>2</sup>,  $d_x$  — трубаларнинг ҳисобий диаметри, м;  $d_x$  нинг қиймати  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  нинг нисбатларига боғлиқ. Агар  $\alpha_1 \approx \alpha_2$  бўлса  $d_x = 0,5 (d_n + d_T)$ .

Агар  $\alpha_1 \gg \alpha_2$  бўлса  $d_x = d_n$ , агар  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  бўлса  $d_x = d_T$ .

г) Йўллар сони:

$$z = \frac{L}{l}; \quad (7.19)$$

бу ерда  $l$  — трубаларнинг қабул қилинган узунлиги ( $l = 1 \dots 3$ м).

Тўрда жойлашган трубаларнинг умумий сони:

$$n = z \cdot n \quad (7.20)$$

2. Трубаларнинг тўрда жойлашуви. Трубалар тўрда кўпинча тўғри бурчакли олтибурчакликнинг томонлари бўйлаб жойлаштирилади. Тўрдаги трубаларнинг сони қуйидагича аниқланилади:

$$n = 3a(a-1) + 1 = \frac{3}{4}(a^2 - 1) + 1; \quad (7.21)$$

$a$  — катта олтибурчакликнинг битта томонида жойлашган трубалар сони;  $a = 2a - 1$  — катта олтибурчакликнинг диагонали бўйлаб жойлашган трубалар сони.

Трубалар бу усул билан тўрда жойлаштирилганда (7.6-расм) тўрнинг бир қисми фойдаланилмай қолади. Шу сабабли агар  $a > b$  бўлса, умумий трубалар сонига нисбатан яна 10 ... 18% миқдорда трубалар жойлаштира бўлади. Шундай қилиб трубаларнинг умумий сони:

$$n_{\text{ум}} = (1,10 + 1,18) n. \quad (7.22)$$

Трубаларни қўшиш трубалар марказлари ўртасидаги масофа қадами ва уларни бириктириш усулларига кўра ҳар хил бўлади. Кавшарланган трубалар учун  $S = 1,25 \cdot d_T$  мм; развалцовка қилинган трубалар учун  $S = (1,3 \dots 1,6) d_T$  мм; сальниклар ёрдамида бириктирилган трубалар учун  $S = d_T + 9$ мм.

3. Аппаратнинг ички диаметрини аниқлаш. Иссиқлик алмашилиш аппаратини характерлайдиган асосий катталиклардан бири унинг ички диаметридир. Масалан, кожух-трубали иссиқлик алмашилиш аппаратининг ички диаметри қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$D = S(b - 1) + 4d_r. \quad (7.23)$$

4. Аппаратнинг тўла баландлигини топиш. Иссиқлик алмашилиш аппаратининг баландлиги (ёки узунлиги) қуйидаги тенглама билан топилади:

$$H = l + 2\delta + 2h; \quad (7.24)$$

бу ерда  $l$  — трубаларнинг узунлиги;  $\delta$  — тўрнинг қалинлиги, м;  $h$  — камеранинг баландлиги, м.

5. Патрубкларнинг ички диаметри берилган муҳитнинг сарфига ва ҳаракат тезлигига қараб аниқланади:

$$D_n = \sqrt{\frac{4 V_c}{\pi \cdot \omega}}; \quad (7.25)$$

бу ерда  $V_c$  — муҳитнинг сарфланиш миқдори, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  — муҳитнинг ҳаракат тезлиги, м/с.

Ҳисоблаш учун қуйидаги тезлик қийматларидан фойдаланиш мумкин:

суяқликлар учун  $\omega = 1 \dots 3$  м/с;  
 газлар учун  $\omega = 9 \dots 25$  м/с;  
 тўйинган сув буғи учун  $\omega = 20 \dots 30$  м/с;  
 қиздирилган сув буғи учун  $\omega = 30 \dots 50$  м/с.

Змеевикли иссиқлик алмашилиш аппаратларини конструктив ҳисоблашдан мақсад трубаларнинг умумий узунлигини, ўрамларнинг сонини ва змеевикнинг баландлигини аниқлашдир. Змеевик трубаларини  $d_{зм}$  ва ўрамлар орасидаги масофани  $h$  деб олсак, битта ўрамнинг узунлиги қуйидагича аниқланади:

$$l = \sqrt{(\pi \cdot d_{зм})^2 + h^2} \approx \pi d_{зм} \quad (7.26)$$

$h$  нинг миқдорини  $1,5 \dots 2d_{зм}$  га тенг деб олингани учун унинг қийматини ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

Ўрамлар сони бир нечта бўлса, у ҳолда змеевикнинг умумий узунлиги:

$$L = \pi \cdot n \cdot d_{зм}. \quad (7.27)$$

Бундан ўрамлар сони:

$$n = \frac{L}{\pi \cdot d_{зм}}.$$

Змеевик трубаларининг баландлиги эса:

$$H = n \cdot h.$$

Тўғри трубали змеевикларнинг иситиш юзаси  $F$  бўлганда, змеевикларнинг умумий узунлиги:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_x}; \quad (7.28)$$

бу ерда  $d_x$  — змеевик трубасининг ҳисобий диаметри.

Бундай змеевикли иситкичлардаги секциялар сони қуйидагича аниқланади:

$$m = \frac{4 V_c}{\pi d^2 \omega}; \quad (7.29)$$

бу ерда  $d$  — змеевик трубагининг диаметри.

Битта змеевик секциясининг узунлиги

$$l = \frac{L}{m}. \quad (7.30)$$

### 7.9-§. Иссиқлик алмашиниш аппаратларининг гидравлик ҳисоби

Гидравлик ҳисоблашдан асосий мақсад иссиқлик алмашиниш қурилмаларидаги ишқаланиш ҳамда маҳаллий қаршиликларни енгиш учун кетган босимни аниқлаб, умумий напорни ва иш муҳитини аппаратдан ўтказиш учун керак бўлган қувватни топишдан иборат.

Аппаратнинг гидравлик қаршилигини аниқлаш учун трубалараро ва трубаларда ҳаракат қилаётган муҳитларнинг қаршилигини билиш керак.

Трубалараро (яъни трубалар ва аппарат девори орасида) ҳаракат қилаётган муҳитнинг қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega^2}{2}; \quad (7.31)$$

бу ерда  $\omega$  — трубалараро ҳаракат қилаётган муҳитнинг ҳаракат тезлиги;  $\rho$  — ўртача температурада муҳитнинг зичлиги;  $\xi$  — трубалар орасидаги қаршилик коэффиценти,  $\xi$  нинг миқдори трубагинг узунлигига боғлиқ; узунлиги 6 м бўлган трубалар учун  $\xi = 350 - 450$ ; узунлиги 1 ... 3 м бўлган трубалар учун  $\xi = 0,5 - 1,5$ .

Трубаларнинг гидравлик қаршилиги трубадаги ишқаланиш қаршиликларини енгиш учун йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{я}}$  ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{мқ}}$  йиғиндисига тенг:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{мқ}}. \quad (7.32)$$

Тўғри каналларда ишқаланишни енгиш учун йўқотилган босим қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta P_{\text{я}} = \lambda \frac{l}{d_s} \cdot \frac{\omega^2 \rho}{2}, \text{ Н/м}^2; \quad (7.33)$$

бу ерда  $\lambda$  — ишқаланиш коэффиценти;  $d_s$  — каналларнинг эквивалент диаметри;  $\omega$  — иш муҳитининг каналлардаги тезлиги;  $\rho$  — муҳитнинг зичлиги;  $l$  — каналларнинг узунлиги.

Змеевикларда ишқаланишга йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{я}}$  қуйидаги эмпирик тенглама орқали топилади:

$$\Delta P_{\text{язм}} = \Delta P_{\text{я}} \left( 1 + 3,54 \frac{d}{D_{\text{зм}}} \right); \quad (7.34)$$

бу ерда  $d$  — змеевик трубагининг диаметри, м;  $D_{\text{зм}}$  — змеевик айланасининг диаметри, м;  $\Delta P_{\text{я}}$  — тўғри трубадаги ишқаланишни енгиш учун йўқотилган босим, Н/м<sup>2</sup>.

Маҳаллий қаршиликларни енгиз учун йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{мқ}}$  қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P_{\text{мқ}} = \sum \xi \frac{\omega^2 \rho}{2}; \quad (7.35)$$

$\xi$  — маҳаллий қаршиликлар коэффициенти.

Шундай қилиб, трубалардаги муҳит учун тўла гидравлик қаршилик қуйидагича топилади:

$$\Delta P = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2 \rho}{2}, \text{ Н/м}^2. \quad (7.36)$$

Қаналлар қўндаланг кесимининг шаклига кўра эквивалент диаметрининг қиймати 7.1-жадвалдан фойдаланиб ҳисобланади.

7.1-жадвал. Эквивалент диаметрининг қийматини аниқлаш

Қўндаланг кесимнинг шакли	Эслатма
Ҳалқасимон $D - d_{\text{и}}$	$D$ — ташқи диаметр, $d_{\text{и}}$ — ички диаметр
Квадрат $a$	$a$ — квадратнинг томони
Тўғри тўртбурчаклик $\frac{2a}{a + \epsilon}$	$a$ ва $\epsilon$ — тўғри тўртбурчакликнинг томонлари
Трубалар орасидаги бўшлиқ $\frac{D^2 - nd}{D - nd}$	$D$ — аппаратнинг ички диаметри, $d$ — трубаларнинг ташқи диаметри, $n$ — трубалар сони

Ишқаланиш коэффициенти  $\lambda$  муҳитнинг ҳаракат режимига ва труба деворларининг ғадир-будирлик даражасига боғлиқ. Ламинар режимда ( $Re < 2300$ ) ғадир-будирлик ишқаланиш коэффициентиға амалий жиҳатдан таъсир қилмайди ва қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (7.37)$$

Турбулент режимда, агар  $Re < 10^5$  бўлса, ғадир-будирлик ҳаракатга унча катта таъсир қилмайди, бунда  $\lambda$  қуйидагича аниқланади:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,8 \lg Re - 1,5. \quad (7.38)$$

Турбулент режимда, агар  $Re > 10^5$  бўлса,  $\lambda$  қуйидагича топилади:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3,7}{\epsilon}; \quad (7.39)$$

бу ерда  $\epsilon = k/d$  — трубаининг нисбий ғадир-будирлиги;  $d$  — трубаининг диаметри;  $k$  — труба юзасининг ўртача абсолют ғадир-будирлиги,  $k$  нинг тахминий қийматлари жадвалларда берилади.

Масалан: янги пўлат трубалар учун 0,06 — 0,1; фойдаланишда бўлган пўлат трубалар учун 0,1 — 0,2; янги чўян ва керамик трубалар учун 0,35 — 1; ифлосланган пўлат ва чўян трубалар учун 0,5 — 2.

Маҳаллий қаршиликлар коэффициенти кўпинча тажрибалар йўли билан топилади. Аппаратларни ҳисоблашда уларнинг қиймати махсус қўлланмалардаги жадвалдан олинади.

Иссиқлик алмашилиш аппаратларини лойиҳалашда иссиқлик, конструктив ва гидравлик ҳисоблашлардан сўнг механик ҳисоблашлар амалга оширилади. Аппаратларни механик ҳисоблаш йўллари тегишли адабиётларда берилган, шу сабабли бу усул устида тўхталмаймиз.

### 7.10-§. Сиртий ва аралаштирувчи конденсаторлар

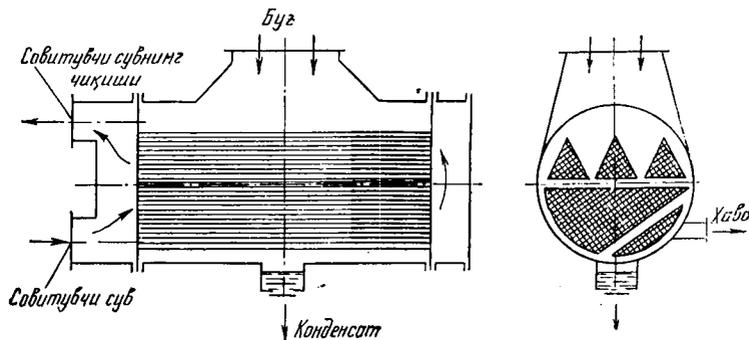
Буғ ёки газнинг суюқ ҳолатга ўтиш процесси *конденсация* дейилади. Химия ва озиқ-овқат саноатида конденсация процесси кенг тарқалган. Масалан; буғлатиш аппаратларида вакуум ҳосил қилиш учун, буғнинг конденсацияланиш иссиқлигидан фойдаланиб аппаратларни иситиш учун, ҳар хил сиқилиш температурали компонентлардан ташкил топган системаларни ажратиш учун конденсация процессидан фойдаланилади.

Конденсация процесси олиб бориладиган аппаратлар конденсаторлар дейилади. Совитувчи агент вазифасини кўпинча, сув, айрим ҳолларда ҳаво ва бошқа совуқ ташувчи агентлар бажаради.

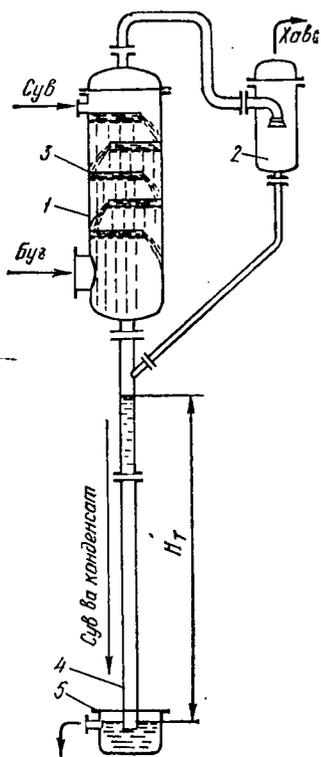
Конденсаторлар сиртий ва аралаштирувчи бўлади.

Сиртий конденсаторларда конденсацияланаётган буғ ва совитувчи сув ўзаро иссиқлик ўтказувчи девор орқали ажратилган бўлади. Аралаштирувчи конденсаторларда эса буғ сув билан тўғридан-тўғри аралашishi натижасида конденсацияга учрайди.

**Сиртий конденсаторлар.** Сиртий конденсаторлар тузилишига кўра сиртий иссиқлик алмашилиш аппаратларига ўхшайди. Кўпинча конденсация учун кожух-трубали, «труба ичида труба» типдаги ювилиб турувчи иссиқлик алмашилиш аппаратлари ишлатилади. 7.19- расмда горизонтал кожух-трубали конденсатор кўрсатилган. Конденсаторда тўйинган буғлар бир хил температурада ( $T_k$ ) конденсацияланади.



7.19- расм. Горизонтал кожух-трубали конденсатор.



7.20- расм. Барометрик конденсатор.

1 — конденсатор; 2 — томчи ушлагич;  
3 — токчалар; 4 — барометрик труба;  
5 — гидравлик затвор.

либ, токчалар чеккадаги планкалар ёрдамида ушлаб турилади. Токчаларнинг юзаси яхлит ёки ғалвирсимон бўлади. Кўпинча яхли токчалар ишлатилади. Буғ пастки токчанинг тагига берилади ва юқорига қараб ҳаракат қилади. Буғ токчалар орасида сув била аралашishi натижасида конденсацияга учрайди. Токчалар ўртасидаг масофа пастдан юқорига қараб камайиб боради, чунки буғнинг миқдори ҳам юқорига кўтарилган сари камаяди. Конденсаторга бу ва совитувчи сув билан бирга бирмунча ҳаво ҳам кириши мумкин.

Ҳаво конденсаторнинг юқориги қисмидан томчи ушлагич орқал сўриб олинади. Томчи ушлагичда ҳаводан сув томчилари ажратилади ажралган сув томчилари барометрик трубага тушади. Барометри трубада конденсатордаги вакуумнинг қийматига тўғри келадиган су устуни ушлаб турилади. Барометрик труба ташқаридаги ҳавонин аппаратга кирмаслигига тўсқинлик қилиб, гидравлик затвор вазифи сини бажаради. Конденсат ва сув барометрик труба орқали барометри идишга тушади, сўнгра ташқарига чиқариб юборилади.

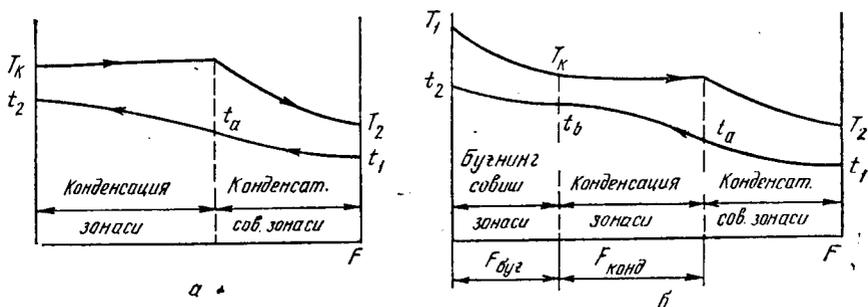
Бунда буғлар яширинган буғлатиш ис сиқлигини беради, бироқ унинг темпе ратураси конденсатнинг температураси  $T_k$  дан бир оз кам бўлади, чунки конден сат қайтадан совиш процессига учрай ди. Конденсатнинг температурасини  $T$  деб олсак, у ҳолда  $T_k - T_2$  конденс атнинг совиш даражасини белгилайди. Конденсатнинг совиш даражаси девор нинг температурасига, иссиқлик алма шиниш юзасининг жойлашувига, буғ даги ҳаво ва конденсацияга учрамай диган газларнинг миқдорига, буғнинг сарфига ва бошқа катталикларга боғлиқ.

**Аралаштирувчи конденсаторлар.** Б конденсаторлар вакуум остида ишлайди ган турли аппаратларда сийраклани ҳосил қилиш учун ишлатилади. Ара лаштирувчи конденсаторлардаги вакуум ни кўпайтириш учун совитувчи сувнинг температурасини камайтириш ва кон денсатордан газларни ташқарига чиқа риш зарур.

Буғ ва сувнинг ўзаро ҳаракатиг кўра аралаштирувчи конденсаторлар қарама-қарши ва тўғри йўналишл бўлади. 7.20- расмда қарама-қарши йў налишли барометрик конденсатор кўр сатилган. Қобиқда 5—7 та токчала бўлиб, уларда буғ ва сув ўзаро бевс сита контактга учрайди. Токчалард сувнинг баландлиги 40 мм га яқин бў

## 7.11- §. Сиртий конденсаторларни ҳисоблаш

Сиртий конденсаторларни ҳисоблаш учун иссиқлик алмашиниш озаси шартли равишда иккига бўлинади (7.21- расм); 1) конденсация юнаси; 2) конденсатнинг совитиш зонаси.



7.21- расм. Иситувчи агент температураларининг конденсация процессида ўзгариши: а) тўйинган буғнинг конденсацияланиши; б) ўта қизиган буғнинг конденсацияланиши.

Ҳар бир зонадаги иссиқлик ўтказиш коэффициентлари турли қийматга эга. Иссиқлик сарфлари ҳар бир зона учун алоҳида топилади:

$$Q_k = D_r = \omega (t_2 - t_a), \text{ Вт}; \quad (7.4)$$

$$Q_0 = D_{c1} (T_k - T_2) = \omega (t_a - t_1), \text{ Вт}; \quad (7.41)$$

бу ерда  $D$  — конденсацияланаётган буғнинг миқдори, кг/с;  $r$  — буғнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги, Ж/кг;  $t_a$  — конденсация ва совитиш зоналарининг шартли чегарасидаги сувнинг температураси, °С;  $t_1$  — совитувчи сувнинг дастлабки температураси, °С;  $t_2$  — совитувчи сувнинг охири температураси, °С;  $C_1$  — конденсатнинг иссиқлик сийими, Ж/кг·с;  $\omega$  — совитувчи сувнинг миқдори, кг/с.

(7.40) ва (7.41) тенгламалардан қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз;

$$\frac{Q_k}{Q_0} = \frac{t_2 - t_a}{t_a - t_1}. \quad (7.42)$$

Бу тенгламадан  $t_a$  нинг қиймати топилади;  $t_a$  нинг қиймати асосида температуралар фарқини, иссиқлик ўтказиш коэффициентлари ва зоналарнинг иссиқлик алмашиниш юзаларини топиш мумкин:

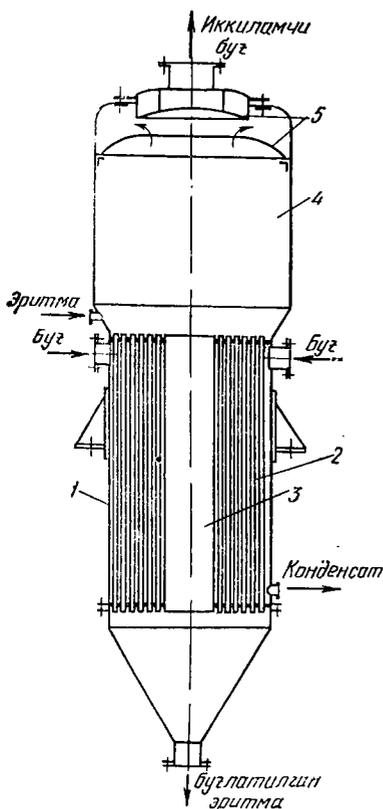
$$F_k = \frac{Q_k}{K_k \cdot \Delta t_k}, \quad (7.43)$$

$$F_0 = \frac{Q_0}{K \Delta t_0}. \quad (7.44)$$

Конденсаторнинг тўла юзаси:

$$F = F_k + F_0. \quad (7.45)$$

Ўта қизиган буғларнинг конденсацияланишида конденсаторнинг юзаси шартли равишда уч зонага бўлинади (7.21-расм): 1) буғнинг совитиш зонаси; 2) конденсация зонаси; 3) конденсатнинг совитиш зонаси.



7.22- расм. Марказий циркуляция трубали буғлатиш:

1 — корпус; 2 — иситувчи камера; 3 — марказий циркуляция трубаси; 4 — сепаратор; 5 — томчи ушлагич.

Совитувчи сувнинг сарфи қуйидаги иссиқлик баланси ёрдамида топилади:

$$D \cdot c_c (i - t_2) = W \cdot c_c (t_2 - t_1); \quad (7.49)$$

бу ерда:  $D$  — конденсацияланаётган буғнинг миқдори, кг/с;  $i$  — буғнинг энтальпияси, ж/кг;  $t_2$  — барометрик сувнинг температураси, °С;  $W$  — совитувчи сувнинг миқдори, кг/с;  $t_1$  — совитувчи сувнинг температураси, °С.  $c_c$  — сувнинг иссиқлик сийими ж/(кг·°С).

(7.49) тенгламадан

$$W = \frac{D (i - t_2)}{t_2 - t_1}, \text{ кг/с.} \quad (7.50)$$

Солиштирма сув сарфи:

$$m = \frac{W}{D} = \frac{i - t_2}{t_2 - t_1}.$$

Биринчи зонада буғ совийди. Бунда иссиқлик сарфи қуйидагича топилади:

$$Q_n = D \cdot c_n (T_1 - T_2), \text{ Вт.} \quad (7.46)$$

Ўта қизиган буғнинг конденсацияланишидаги температуралар фарқи  $\Delta t_n$  ни ва бу процессдаги иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K_n$  ни аниқлаб, сўнгра биринчи зонанинг юзаси аниқланади:

$$F_n = \frac{Q_n}{K_n \Delta t_n}. \quad (7.47)$$

Конденсатор умумий зонасининг юзаси

$$F = F_n + F_k + F_0; \quad (7.48)$$

бу ерда  $F_n$  конденсация ва  $F_0$  совитиш юзалари (7.43) ва (7.41) тенгламалар орқали аниқланади.

#### 7.12-§. Барометрик конденсаторни ҳисоблаш

Бундай конденсаторни ҳисоблаш пайтида қуйидагилар аниқланади: 1) совитувчи сувнинг сарфи; 2) конденсаторнинг ўлчамлари; 3) токчаларнинг сони; 4) барометрик трубаларнинг ўлчамлари; 5) тортиб олиниши лозим бўлган ҳавонинг миқдори.

Одатда  $m = 15 \dots 60$  га тенг бўлади.

Барометрик конденсаторнинг ўлчамларини ҳисоблаш усули яхши ишлаб чиқилмаган. Шу сабабли конденсаторнинг ўлчамлари унинг диаметри  $D_k$  га қараб топилади. Конденсаторнинг диаметрини ҳисоблаш учун буғнинг тезлигини  $\omega = 35 \dots 55$  м/с га тенг деб оламиз. Буғ ўтиши учун бўшлиқ юза конденсатор кўндаланг кесими юзасининг  $30 \dots 37\%$  ига тенг бўлади.

Токчалар сони одатда 5—7 та олинади. Юқориги токчалар орасидаги масофа  $h_{\min} = 0,30 \cdot D_k$ ; пастки токчалар орасидаги масофа эса  $h_{\max} = 0,6 \cdot D_k$  га тенг деб олинади.

Штуцерларнинг диаметрлари тезликка нисбатан қабул қилинади: буғ учун тезлик  $5 \dots 55$  м/с, ҳаво учун  $15$  м/с, совуқ сув учун  $1$  м/с. Барометрик трубадаги сувнинг тезлиги  $0,5 \dots 0,6$  м/с.

Барометрик трубанинг диаметри қуйидаги сарфланиш тенгламасидан топилади:

$$d_6 = \sqrt{\frac{D+W}{1000 \cdot 0,785 \omega}} \quad (7.51)$$

Барометрик трубанинг умумий баландлиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$H_6 = 10,3 \frac{e}{760} + \frac{\omega^2}{2g} \left( 1 + \frac{\lambda H_6}{d_6} + \sum \xi \right) + 0,5 \text{ м.} \quad (7.52)$$

бу ерда:  $e$  — конденсатордаги сийракланиш (вакуум);  $\lambda$  — ишқаланиш коэффициент;  $\xi$  — маҳаллий қаршилиқлар коэффициент;  $\omega$  — барометрик трубадаги сувнинг тезлиги.  $H_0 = 10,3 \frac{e}{760}$  — атмосфера босимини мувозанатда ушлаб туриш учун

зарур бўлган трубадаги сув устунининг баландлиги,  $m \cdot H_r = \frac{\omega^2}{2g} \left( 1 + \frac{\lambda H_6}{d_6} + \sum \xi \right) -$  барометрик трубадаги қаршилиқларни енгил учун ва сувга  $\omega$  тезлик бериш учун керак бўлган напорнинг баландлиги;  $0,5 \text{ м}$  — қўшимча баландлик, бу баландлик босим атмосфера босимидан ортиб кетганда конденсаторнинг буғ штуцерига сув кириб кетишининг олдини олиш учун қўшилади.

$680$  мм сим. уст. га тенг вакуумга эришиш учун барометрик трубанинг узунлиги  $11$  метрга тенг бўлади.

Сўриб олиниши керак бўлган ҳавонинг ҳажми қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$V = MD \frac{273+t}{760-e}, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (7.53)$$

$M = 0,0688$  — буғдаги газнинг миқдорини характерловчи коэффициент;  $t$  — насосга кираётган ҳавонинг температураси, одатда  $t = 25^\circ\text{C}$ ;  $e$  — конденсатордаги сийракланиш (вакуум), одатда  $e = 660 \dots 680$  мм сим. уст.

### 7.13-§. Циркуляцион трубади буғлатиш аппаратлари

Химия ва озиқ-овқат саноатида асосан уч хил буғлатиш аппаратлари кенг тарқалган.

1. Табиий циркуляция билан ишлайдиган вертикал буғлатиш аппаратлари.

2. Мажбурний циркуляция билан ишлайдиган вертикал буғлатиш аппаратлари.

3. Плёнкали буғлатиш аппаратлари.

Буғлатиш аппаратларининг конструктив тузилиши уч қисмдан иборат: иситиш камераси, буғ бўшлиғи ва томчи ажраткич.

**Марказий циркуляция трубали буғлатиш аппаратлари.** Буғлатилиши керак бўлган эритма иситиш камерасининг юқориги қисмидан берилади. Иситиш камераси бир неча трубалар тўпламидан иборат бўлиб, уларнинг учлари труба тўрига развальцовкалаб бириктирилган (7.22- расм, 198- бетга қаранг). Эритма трубаларнинг ичида қайнаб, буғ-суюқлик аралашмаси ҳолида трубанинг баландлиги бўйича кўтарилади ва аппаратнинг юқориги қисмида жойлашган буғ бўшлиғидаги ажраткичга ўтади. Иккиламчи буғдан озод бўлган эритма ва унинг томчилари марказий циркуляция трубасига тушади.

Эритманинг циркуляция тезлиги унинг физик хусусиятларига, иссиқлик миқдорига ҳамда циркуляция контурининг гидравлик қаршилигига боғлиқ. Қуюлтирилган эритма аппаратнинг пастки қисмидан чиқарилади. Иккиламчи буғ суюқлик устидаги ҳажми эгаллайди ва сўнгра аппаратнинг юқориги қисмида жойлашган томчи ушлагич орқали ўтказилиб узатилади. Буғлатиш процессини; 1) атмосфера босимида; 2) ортиқча босимда; 3) вакуум остида олиб бориш мумкин. Биринчи усул қўлланилганда эритмадан ажралган иккиламчи буғ атмосферага чиқариб юборилади. Бу усул энг оддий ҳисобланади, бироқ иссиқлик сарфлаш жиҳатидан тежамли эмас.

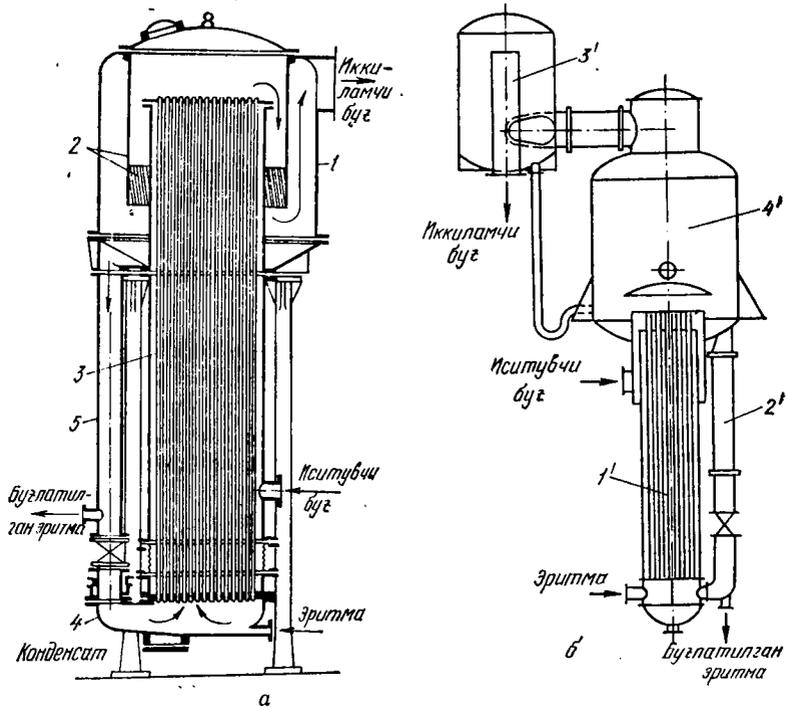
Ортиқча босим билан буғлатиш олиб борилганда иккиламчи буғ юқори температурага эга бўлади, шу сабабли бу иккиламчи буғдан кўпинча бошқа иссиқлик алмашилиш аппаратларини иситишда фойдаланилади.

Вакуум билан буғлатишда эритманинг қайнаш температураси пасаяди, бу ҳол буғлатиш аппаратларини иситиш учун паст босимли буғдан фойдаланиш имконини беради. Бу усул юқори температураларда парчаланиб кетадиган эритмаларни буғлатиш учун ишлатилади.

Қуюқланиш пайтида эритманинг физик хоссалари ўзгаради. Концентрация ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сиғими ва температура ўтказувчанлик камаяди, эритманинг қовушоқлиги ортади. Натижада иситиш юзасидан эритмага иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати камаяди.

Иситувчи трубалардаги суюқлик-буғ аралашмаси билан циркуляция трубасидаги буғланаётган эритманинг зичликлари ҳар хил бўлгани учун аппаратдаги эритма ўз-ўзидан циркуляция бўлади. Зичликларнинг фарқи қанча катта бўлса, буғлатиш процессининг интенсивлиги шунча юқори бўлади. Циркуляция трубасининг диаметри иситувчи камера диаметрининг  $1/3$  улушига тенг қилиб олинади. Бундай буғлатиш аппаратларининг тузилиши содда ва буғланаётган эритма табиий циркуляция қилинади.

Камчиликлари: трубалар труба тўрларига маҳкам ўрнатилган бўлади, циркуляция труба иситиш камераси ичида бўлганлиги сабабли процесс давомида исиб туради. Шу сабабли циркуляция трубадаги эритма билан иситувчи трубадаги суюқлик-буғ аралашмала-



7.23- расм. Ташқи циркуляция трубаги буғлатиш аппарати:

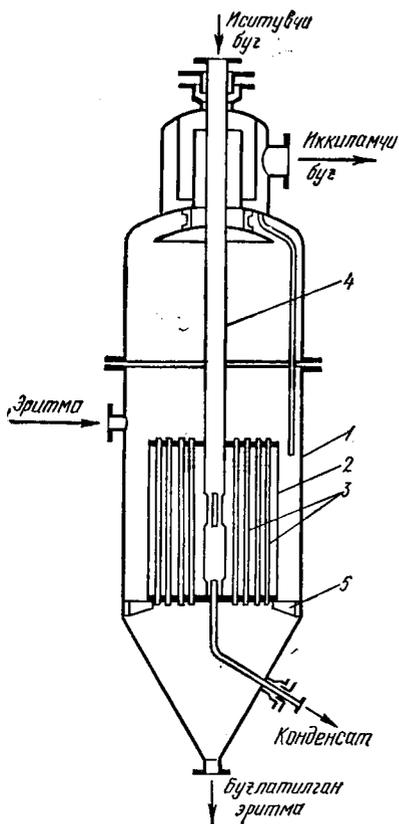
а) ташқи циркуляция трубаги; б) ажратилган циркуляция трубаги; 1 — буғ камераси; 2, 3' — томчи ушлагич; 1', 3 — иситиш камераси; 4 — пастки камера; 4' — буғ бўшлиғи.

рининг зичликлари орасидаги фарқ озаяди, натижада буғлатиш процессининг интенсивлиги камаяди. Шунинг учун буғлатиш аппаратларининг кўпчилигида циркуляция труба аппаратнинг ташқи қисмига ўрнатилади.

**Ташқи циркуляция трубаги буғлатиш аппарати.** Иситувчи камера юзасининг катта ва иситиш трубаларининг зич бўлишини таъминлаш мақсадида эритмани циркуляция қилиш трубаги буғлатиш аппарати-нинг ташқи томонига ўрнатилади (7.23- расм, а). Бундан ташқари, циркуляция труба иситиш камерасидан ташқарида жойлашгани учун, циркуляция бўлаётган эритманинг совизи натижасида унинг табиий циркуляция тезлиги ортада ҳамда иситувчи камеранинг диаметри аппарат диаметрига нисбатан бирмунча кичкина бўлиб, циркуляция труба эса иситувчи камеранинг атрофида ихчам жойлашади. Иккиламчи буғни сув томчиларидан ажратувчи томчи ушлагич ҳам аппаратдаги буғ бўшлигидан ташқарида жойлашган бўлади (7.23- расм, б).

Бу аппаратларнинг конструктив тузилиши анча мураккаб, ammo бу аппаратда иссиқлик ўтказиш самарадорлиги юқори ва  $1 \text{ м}^2$  иситиш юзасига марказий циркуляция буғлатиш аппаратларига нисбатан кам металл сарфланади.

**Осма иситиш камерали буғлатиш аппарати.** Бундай буғлатиш аппаратларида иситувчи камера аппаратнинг пастки қисмида эркин



7.24-расм. Осма иситиш камерали буғлатиш,:

1 — қобик; 2 — иситиш камераси; — иситувчи трубалар; 4 — буғ кирувчи труба; 5 — кровштейн.

температуралар фарқи катта бўлган пайтда трубалар ва аппаратнинг қобиғи деформация натижасида узайганда ҳам, трубаларнинг труба тўрида зич жойлашувига таъсир қилмайди. Осма иситувчи камеранинг трубалари ишга яроқсиз бўлиб қолса, уларни янгиси билан алмаштириш қулай ва осон. Эритманинг циркуляция интенсивлиги катта бўлгани учун трубаларнинг ичида қуйқалар ҳосил бўлиши камаяди. Циркуляция трубадаги эритма билан ҳалқасимон кўндаланг кесимдаги буғ-суюқлик аралашмалари орасидаги гидростатик босимлар фарқи эритманинг табиий циркуляция бўлишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади.

Аппаратнинг камчиликлари: иситувчи буғ ва конденсатнинг трубалардан кириши ва чиқиши қийин: иситиш юзасига сарфланадиган металл, марказий труба буғлаткичларга нисбатан кўп, қовушоқлиги катта ва кристалланувчи эритмалар буғлатилганда циркуляция

ҳолда ўрнатилган бўлади (7.24-расм). Буғ труба орқали трубалар орасидаги бўшлиққа берилади ва пастки қисмидан конденсат ажратиб олинади. Буғлатиладиган эритма ҳалқасимон кўндаланг канал орқали пастга қараб, аппарат қобиғи билан осма иситувчи камераларнинг девори бўйлаб ҳаракат қилади. Эритма иситувчи трубаларнинг баландлиги бўйлаб кўтарилиб, буғлатиш процесси эритмани циркуляция қилиш билан олиб борилади.

Иккиламчи буғ томчи ушлагичдан ўтиб, аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади. Иккиламчи буғдан ажралган эритма ва унинг томчилари вертикал труба орқали иситувчи трубаларга оқиб тушади. Аппаратдаги иситувчи трубаларнинг ички ва ташқи юзасида ҳосил бўлган қуйқалар (накип) маълум вақт давомида сув билан ювиб турилади.

Осма иситиш камерали буғлатиш аппаратларида циркуляция бўладиган эритма юзасининг кўндаланг кесими катта бўлиб, циркуляция труба иситиш камерасидан ташқарида жойлашганлиги учун эритмаларнинг буғланиши интенсив шароитда боради. Бундан ташқари, иситиш камераси алоҳида осма ҳолда жойлашганлиги туфайли,

интенсивлиги кам бўлганлиги учун осма иситиш камерали буғлатиш аппаратларини кўп вақтга тўхтатишга тўғри келади, чунки иситиш трубаларини тез-тез тозалаш туриш керак.

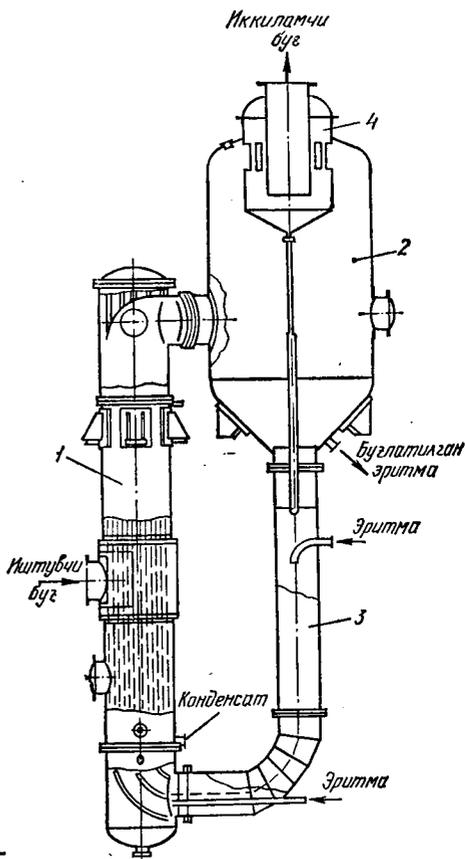
### 7.14-§. Ажратилган иситкичли буғлатиш аппаратлари

Бундай аппаратлар кристалланувчи ва кўпик ҳосил қилувчи эритмаларни буғлатиш учун ишлатилади. Бундай буғлатиш аппарати икки қисмга: иситувчи камера ва сепараторга ажратилган бўлади (7.25-расм). Иситкич трубаларида буғ-суюқлик аралашмаси ҳосил бўлади ва сепараторга ўтади. Сепараторда иккиламчи буғ ажралади, суюқлик циркуляция трубаси билан иситкич трубаларига қайтади. Иситкич трубаларининг узунлиги 7 метргача етади. Трубалар узунлигининг ортиши билан циркуляциянинг интенсивлиги ҳам кўпаяди, чунки бунда трубаларда ҳосил бўлган буғ-суюқлик аралашмаси ва циркуляция трубаси ичидаги суюқлик зичликлари ўртасидаги фарқ ортади. Иситкичнинг сепаратордан алоҳида жойлашиши трубаларни тозалаш ва тузатиш учун қулайлик яратади.

Циркуляция интенсивлиги ва исиклик ўтказиш коэффициентини ошириш учун сўнги йилларда химия ва озиқ-овқат саноатида мажбурий циркуляцияли аппаратлар ишлатилмоқда.

Ажратилган иситкичли буғлатиш аппаратларида эритмаларнинг циркуляция тезлиги 1,5 м/с га тенг. Бундай буғлатиш аппаратларида исиклик ўтказиш коэффициенти юқори ва ишлатиш қулай бўлганлиги учун улардан кенг миқёсда фойдаланилади.

Баъзи ажратилган иситкичли буғлатиш аппаратларида циркуляция трубаси бўлмайди. Бундай аппаратда буғлатилаётган эритма иситкич трубаларидан бир марта ўтиши биланоқ буғлатилади ва процесс тўғри йўналиши буғлатиш аппаратлариданга ўхшаш бўлади. Бу тўғри йў-



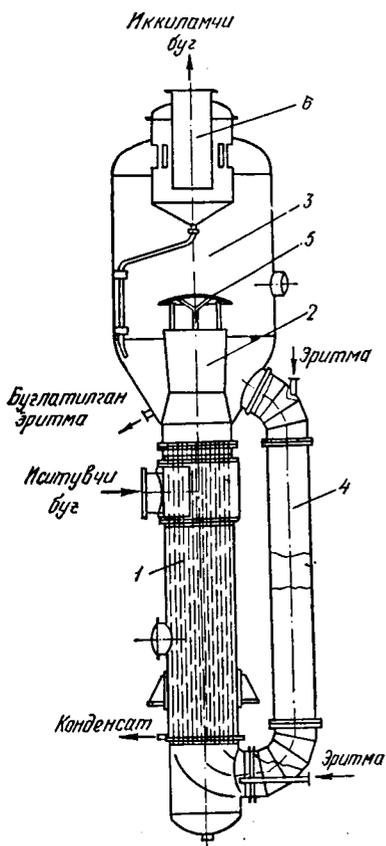
7.25- расм. Ажратилган иситкичли буғлатиш аппарати:

1 — иситиш камераси; 2 — сепаратор; 3 — циркуляция трубаси; 4 — томчи ушлагич.

налишли буғлатиш аппаратларида кристалланувчи эритмаларни буғлатиб бўлмади.

Ажратилган иситкичли буғлатиш аппаратларида иситкичлар вертикал, горизонтал ва оғма ҳолда ўрнатилади.

Буғлатиш процессининг интенсивлигини ошириш учун ажратилган қайнаш зонаси ва циркуляция трубаси ташқарига жойлаштирилган аппаратлардан фойдаланилади. Табиий циркуляцияли буғлатиш аппаратларида эритма 0,25 ... 1,5 м/с тезлик билан ҳаракат қилгани учун ва иссиқлик алмашилиш юзасида қаттиқ заррачалар тўпланиши натижасида унинг унумдорлиги камаяди. Аппаратни тозалаш учун у даврий равишда тўхтатиб турилади. Кристалланувчи эритмаларни буғлатишда иссиқлик алмашилиш юзасида ҳосил бўлган ифлосланишлар қатламини камайтириш учун эритмаларнинг циркуляция тезлиги



7.26- расм. Ажратилган ва циркуляция трубаси ташқарида ўрнатиш буғлатиш аппарати:

- 1 — иситиш камераси; 2 — қайнаш трубаси;
- 3 — сепаратор; 4 — циркуляция трубаси; 5 — тўсиқ; 6 — томчи ушлагич.

оширилади ва қайнаш зонаси иситиш камерасининг ташқарисига чиқарилади. Бундай буғлатиш аппаратларида буғлатилиши лозим бўлган эритма иситкич трубаларининг пастки қисмидан юқорига қараб ҳаракат қилади. Иситиш трубаларнинг баландлиги 4—7 м бўлиб, трубаларда гидростатик босим катта бўлгани учун, эритма қайнамайди. Иситиш трубаларидан чиққан эритма сепараторнинг пастки қисмида жойлашган иситиш камерасининг кенгайган қисмига ўтиб, гидростатик босим кам бўлганлиги учун қайнай бошлайди. Шундай қилиб, буғланиш процесси иситиш камераларининг юзасидан ташқарида юз беради.

Циркуляция қилинадиган эритма ташқаридаги иситилаётган трубага тушиб, яна иситиш камерасининг трубаларига берилади. Буғлатилган эритма сепараторнинг пастки қисмидан ажратиб олинади (7.26- расм). Иккиламчи буғ қайнаш зонасига ўрнатиш тўсиққа урилиб, томчи ушлагич орқали аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади. Иккиламчи буғдан ажралган сув томчилари циркуляция трубасига қайтиб тушади. Бундай аппаратларда буғлатилаётган эритма циркуляция трубасининг остидан ёки юқорисидан иситиш камерасининг тагига берилиши мумкин.

Эритма трубаларда қайнамаганлиги учун уларнинг ичида ифлосла-ниш қатламлари кам ҳосил бўлади.

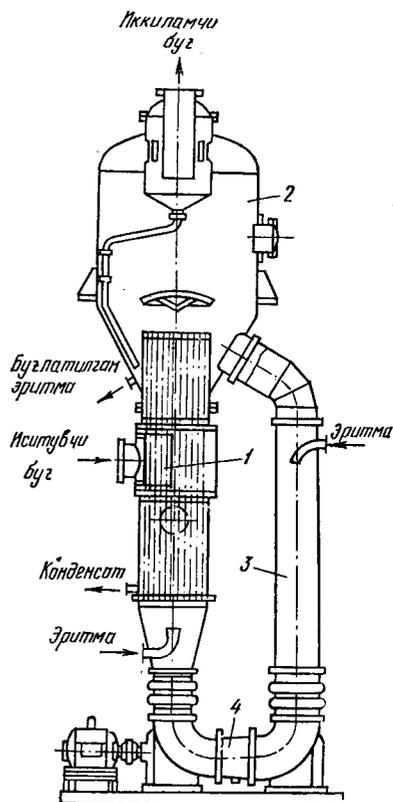
Буғ билан эритма ўртасида температуралар фарқи кўпроқ ( $30^{\circ}\text{C}$  гача) ва қайнаш зонасида напорнинг йўқолиши кам бўлганлиги учун бундай аппаратларда эритмаларнинг циркуляция тезлиги  $1.8 \dots 2 \text{ м/с}$  ни ташкил қилади. Циркуляция тезлигининг катталашуви натижасида аппаратнинг унумдорлиги ва иссиқлик алмашилишнинг интенсив-лиги самарали бўлади. Бундай буғлатиш аппаратлари қовушоқлиги ўртача ҳамда кристалланувчи эритмаларни буғлатишда ишлатилади.

### 7.15-§. Мажбурий циркуляция билан ишлайдиган буғлатиш аппаратлари

Қуюқ, солиштирма оғирлиги катта, қовушоқлиги юқори бўлган эритмаларнинг табиий циркуляция тезлиги жуда кам бўлади. Бу тур-даги эритмалар юқорида баён қи-лингган буғлатиш аппаратларида буғлатилганда иссиқлик ўтказиш коэффициентини ҳам кам бўлиб, ап-паратнинг унумдорлиги пасайиб кетади.

Циркуляция тезлигини ва ис-сиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун мажбурий цирку-ляцияли буғлатиш аппаратлари иш-латилади. Суяқликларнинг цирку-ляцияси пропеллерли ва марказдан қочма насослар ёрдамида амалга оширилади.

Дастлабки буғлатилиши керак бўлган эритма иситкич трубалари-нинг пастки қисмига насос орқали берилади, қуюқлашган эритма эса сепараторнинг пастки қисмидан ажратилади (7.27- расм). Иситувчи трубалар ичидаги суяқликларнинг циркуляция тезлиги  $1,5 \dots 3,5 \text{ м/с}$  ни ташкил қилади. Бундай ап-паратлар қуйидаги афзалликларга эга: табиий циркуляция билан иш-лайдиган аппаратларга нисбатан иссиқлик ўтказиш коэффициентини  $3-4$  марта катта, кристалланувчи эритмаларни буғлатишда иситувчи юзада ифлосланишлар пайдо бўл-майди. Бу аппаратларнинг камчи-лиги шундаки, насоснинг ишла-ши учун қўшимча энергия сарф-ланади.



7.27- расм. Мажбурий циркуляцияли буғлатиш аппарати:

1 — иситувчи камера; 2 — сепаратор; 3 — цир-куляция труба; 4 — циркуляция насоси.

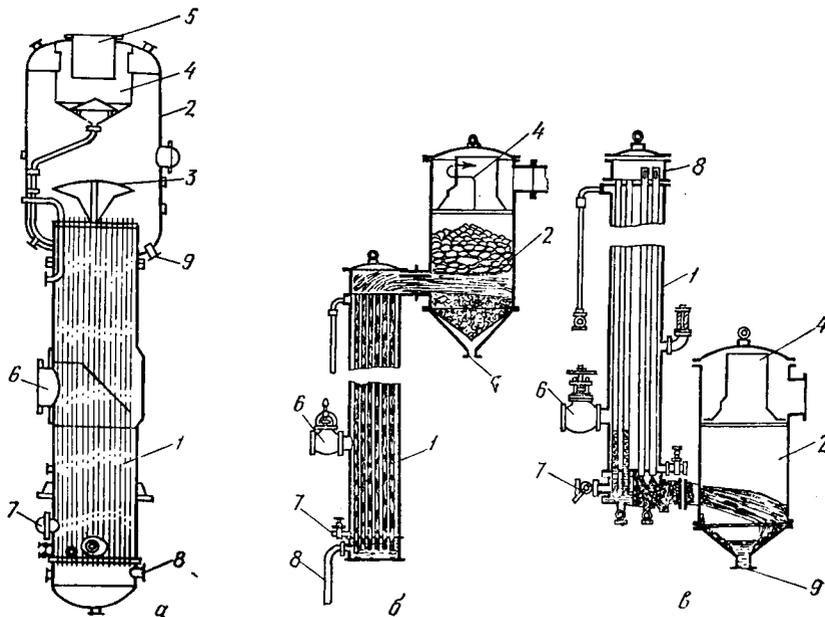
## 7.16-§. Плёнкали буглатиш аппаратлари

Кўпикланувчи ва иссиқликка чидамсиз эритмалар учун плёнкали буглатиш аппаратлари ишлатилади. Бундай аппаратларда эритма иситиш трубаларининг юзаси бўйлаб юпқа плёнка ҳолида ҳаракат қилади. Плёнкали буглатиш аппаратлари иситиш трубаларида ҳаракатланаётган эритманинг йўналишига қараб икки хил (кўтарилувчи ва пастга йўналувчи плёнкали) бўлади.

Кўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратининг иситиш камераси труба тўрига ўрнатилган, узунлиги 7—9 метрли трубалар тўпламидан ва ажратувчи сепаратордан иборат бўлади (7.28- расм, а).

Буглатилаётган эритма тўхтовсиз иситиш камерасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг  $1/4 \dots 1/5$  қисмини тўлдиради. Иситувчи буғ трубалар орасидаги бўшлиққа берилади. Буғ таъсирида эритма қайнаганда, трубаларнинг қолган қисмлари буғ-суюқлик аралашмаси билан тўлади. Бу аралашма иситиш трубаларининг девори атрофида суюқлик плёнкасига ва унинг марказида буғга ажралган бўлади. Суюқлик плёнкаси буғ оқимига ишқаланиши сабабли юқорига қараб трубаларнинг ички юзаси бўйлаб катта тезликда ҳаракат қилади ва бугланади. Иситиш трубаларининг юқориги қисмида буғнинг миқдори кўпайиб боради ва натижада эритманинг концентрацияси ҳам ошиб боради.

Иситиш трубаларидан чиқаётган иккиламчи буғга аралашган суюқлик томчилари сепаратордаги тўсиққа урилиб, пастдаги иситиш



7.28-расм. Плёнкали буглаткичлар:

а) кўтарилувчи плёнкали; б) ажратилган иситкичи; в) пастга йўналувчи плёнкали. 1 — иситувчи камера; 2 — сепаратор; 3 — тўсиқли диск; 4 — томчи ушлагич; 5, 6, 7, 8, 9- штуцерлар.

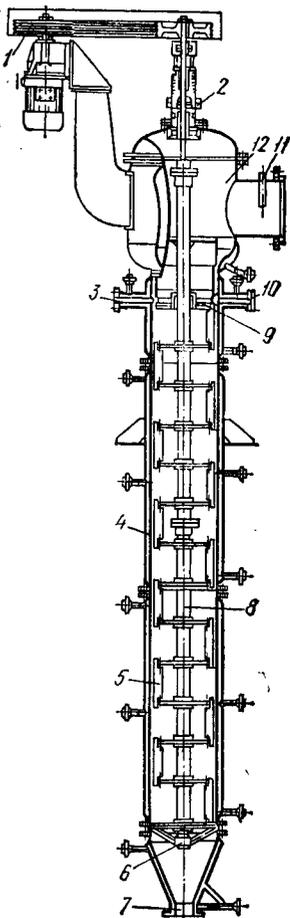
трубаларига тушади. Намланган буғ томчи ушлагичга тангенциал йўналишда кириб айланма ҳаракат қилади. Томчи ушлагичда иккиламчи буғ таркибида қолган сув томчилари марказдан қочма куч таъсирида унинг деворларига урилиб пастга оқиб тушади, иккиламчи буғ эса аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади.

Қуюлтирилган эритма сепараторнинг пастки қисмида ўрнатилган штуцер орқали олинади. Қўтарилувчи плёнкали буғлатиш аппаратларининг умумий баландлигини камайтириш мақсадида иситиш камераси билан сепаратор алоҳида тайёрланиб, ёнма-ён ўрнаилади (7.28-расм, б).

Қовушоқлиги катта бўлган эритмаларни буғлатиш учун пастга йўналувчи плёнкали буғлатиш аппаратлари ишлатилади. Бу аппаратларда буғлатилиши лозим бўлган эритма иситиш камерасининг юқориги қисмидан берилади. Эритма эса иситиш трубаларнинг юзаси бўйлаб юпқа плёнка ҳолида оғирлик кучи таъсирида пастга қараб ҳаракат қилади. Буғ-суюқлик аралашмаси ва иккиламчи буғ аппаратнинг пастки қисмидаги сепараторда ажратилади (7.28-расм, в). Плёнкали буғлатиш аппаратларининг иситиш камерасида буғланаётган эритма берилаётган буғ билан кам контактда бўлгани учун у юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга. Бу аппаратларнинг иситиш трубалари узун бўлгани учун фойдали температуралар фарқи гидростатик босим ҳисобига камаяди, бу нарса фақатгина плёнкали буғлатувчи аппаратларга хосдир. Иситиш трубаларида эритма бир марта циркуляция қилингани учун, эритма трубалардан тез вақт ичида ўтади. Натижада иссиқлик таъсирига мойил эритмалар буғлатилганда бу аппаратларда унинг хусусиятлари ўзгармайди.

Лекин бу аппаратларнинг қуйидаги камчиликлари ҳам бор: иситиш трубалари узун бўлгани учун уларни тозалаш ва бир хил унумдорликка эришиш қийин, иситувчи буғ босими ва эритманинг бошланғич концентрацияси ўзгарган пайтда буғлатиш процессини бошқариш қийинлашади, кристалланувчи эритмаларни буғлатиш мумкин эмас.

Кристалланувчи, қовушоқ ва иссиқликка чидамсиз эритмаларни буғлатиш учун ротор-плёнкали буғлатиш аппаратлари кенг қўлла-



7.29-расм. Ротор плёнкали буғлатиш аппарати:

- 1 — узатувчи механизм; 2 — валнинг маҳкамланиши; 3 — эритма кирадиган штуцер; 4 — буғ қобиги; 5 — куракча; 6 — таянч подшипник; 7 — эритма чиқадиган штуцер; 8 — ротор вали; 9 — эритма тақсимлагич; 10 — сакловчи клапан штуцери; 11 — термометр қўйилдиган гильза; 12 — сепаратор

нилмоқда. Бу аппарат вертикал қобиқли цилиндрдан иборат бўлиб, у бир неча иситувчи секциялардан ва сепаратордан иборат (7.29- расм). Иситувчи секцияларнинг деворлари орасига иситувчи агент берилади. Иситувчи агент сифатида сув, буғ, дифенил аралашмаси ишлатилади. Қобиқ ичига куракчалар бўлган вертикал вал (ротор) ўрнатилган. Ротор электромотор ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Роторга ўрнатилган пастдаги куракчалар 3 м/с тезлик билан айланма ҳаракат қилади. Штуцерлар орқали иситувчи секцияларга тангенциал йўналишда кирган эритма куракчалар ёрдамида бир хил тақсимланиб, иситилаётган эритма қобиқнинг ички юзасидан юпқа плёнка ҳолида тушади. Буғлатиб қуюқлаштирилган эритма конуссимон камеранинг пастки қисмига оқиб тушиб, тўхтовсиз равишда штуцер орқали ташқарига чиқариб турилади.

Ҳосил бўлган иккиламчи буғ сепараторда сув томчиларидан ажралади ва аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади, сув томчилари эса иситувчи секцияларга оқиб тушади.

Айланма ҳаракатдаги куракчалар марказдан қочма куч таъсирида эритмани иситилаётган юзага итариб, унинг пастга қараб ҳаракат қилишига имкон туғдиради.

Аппаратнинг ротори маҳкам зичланган радиал ва шарнирли куракчалар билан тўлдирилади. Радиал куракчали роторларда оқаётган суюқлик плёнкаларининг қалинлиги унинг сарфланиш миқдорига боғлиқ бўлиб, ички иситиш юзаси билан куракчаларнинг учлари орасидаги бўшлиқ орқали илгарига ҳаракат қилади.

Шарнирли куракчалар ротор айланганида иситиш юзасига қисилади. Демак, ротор айланиш тезлигининг ўзгаришига қараб, куракчалар оқаётган суюқлик плёнкасининг қалинлигини ростлаб туради.

Эритма билан иситилаётган юзанинг контактлашиш вақти эритманинг қовушоқлигига, ротордаги куракчаларнинг турига, айланиш тезлигига ва солиштирма унумдорлигига боғлиқ.

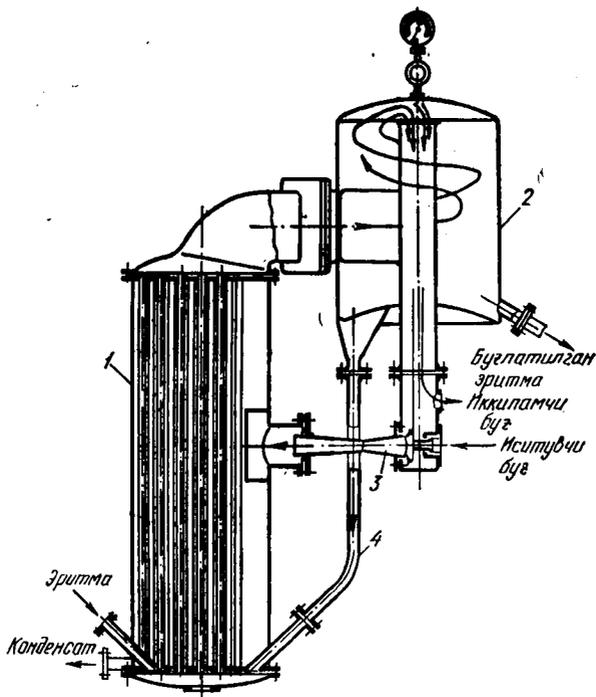
Плёнкали-роторли буғлатиш аппаратларида эритма иситиш юзасида кам вақт давомида контактда бўлгани учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти юқори бўлади. Иситиш юзалари куракчалар воситасида тозаланиб турилгани учун кристалланувчи эритмаларни қуруқ ҳолга келтиргунча буғлатиш мумкин.

Бу аппаратлар камчиликлардан ҳам ҳоли эмас: иситиш юзаси кам бўлгани учун унумдорлиги юқори эмас, конструктив тузилиши мураккаб, бошқа аппаратларга нисбатан қиммат.

### 7.17- §. Буғлатиш аппаратларининг махсус турлари

Бундай аппаратлар қаторига иссиқлик насосига эга бўлган ва барботажли буғлаткичлар киради.

Иссиқлик насосига эга бўлган буғлатиш аппаратлари саноатда ҳар хил мева шарбатларини, юқори температуралар таъсирига мойил эритмаларни буғлатиш учун ишлатилади. Бундай аппаратларда ҳосил бўлган иккиламчи буғ босими иситувчи буғнинг босимига тенг бўлгунча сиқилади (7.30- расм). Сиқилган буғ аппаратни иситиш учун ишлатилади. Иккиламчи буғни сиқиш учун компрессорлар ва буғ оқимли



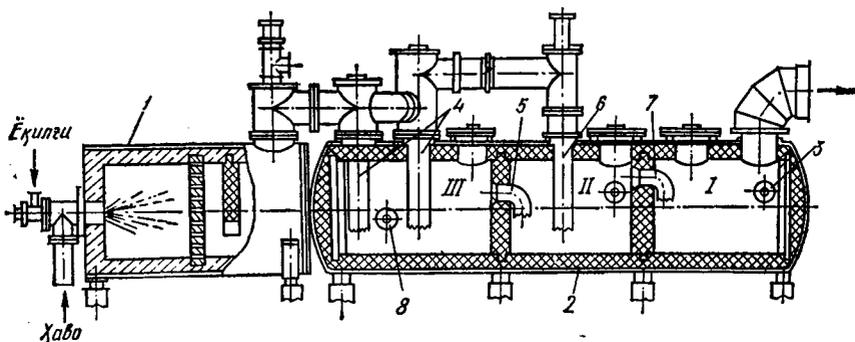
7.30- расм. Иссиқлик насосли буглатиш аппарати:  
 1 — қобик; 2 — сепаратор; 3 — буг оқимли инжектор; 4 — труба.

инжекторлар ишлатилади. Иссиқлик насосига эга бўлган буглатиш аппаратларида ташқаридан сарфланган энергия иккиламчи буг температурасини ошириш учун хизмат қилади. Аппаратни дастлаб ишга туширишда янги буг берилади. Бу буг билан эритма қайнагунча иситилади. Кейинчалик буглатиш иккиламчи буг ҳисобига боради. Иш пайтида назарий жиҳатдан ташқаридан буг талаб қилинмайди. Амалий жиҳатдан эса ташқаридан бир оз буг бериб туриш керак, чунки эритмани иситиш ва иссиқлик йўқолишларини қоплаш учун қўшимча буг талаб қилинади.

Иссиқлик насосли буглатиш аппаратлари эритма билан эритувчининг қайнаш температураларининг фарқи паст ( $5 \dots 10^\circ \text{C}$ ) бўлган вақтда ишлатилади. Эритманинг қайнаш температураси юқори бўлса, бу усул қўлланилмайди, чунки иккиламчи бугни сиқиш учун кўп энергия сарф бўлади.

**Барботажли буглатиш аппаратлари.** Юқори температурада қайнайдиган ва ўта агрессив эритмалар — сульфат, хлорид, фосфат кислоталарнинг эритмалари иситувчи инерт газларнинг бевосита контакти таъсирида барботажли буглатиш аппаратларида буглатилади.

Иссиқликни яхши ўтказадиган, зангламайдиган, юқори температураларга чидамли материалларни топиш қийин бўлгани учун, бун-



7.31- расм. Барботажли буғлатиш аппарати:

1 — ўтхона; 2 — футеровка қилинган цилиндрсимон қобқ; 3 — суюлтирилган эритма бериладиган труба; 4 — 7 — барботаж трубалари; 8 — буғлатилган кислота чиқадиган труба.

дай эритмаларни иситувчи агентни девор орқали бериш билан буғлатиб бўлмайди. Ички қисми ўтга чидамли ва зангламайдиган материал (ғишт, керамик плита) билан футеровка қилинган металл қобқли аппаратларда эритмалар бевосита тутун газларининг аралашуви таъсирида буғлатилади. Газ бериладиган барботаж трубалари термосилд, графит ва зангламайдиган материаллардан тайёрланади. Сульфат кислотани концентрлаштириш (концентрациясини ошириш) аппаратининг тузилиши 7.31- расмда кўрсатилган. Аппарат горизонтал цилиндрдан ва ташқи қисмида ўрнатилган ёқилғи ёнадиган ўтхонадан ташкил топган. Аппаратнинг горизонтал цилиндри бир неча камераларга бўлинади. Аппаратнинг бир қисми труба орқали суюлтирилган сульфат кислотанинг эритмаси билан тўлдирилади. Ёқилғидан чиққан газлар пастки қисми суюқликка ботирилган труба орқали берилади. Эритма билан газларнинг аралашуви натижасида эритувчи интенсив равишда, кислота эса қисман буғланади. Учинчи камерада газ барботаж трубаси орқали иккинчи камерага берилади. Бу камерада температурани ошириш учун унга барботаж труба орқали қўшимча ёқилғининг ёнишидан чиққан тутун газларининг янги порцияси берилади. Иккинчи камерада газ билан кислота ва сув барботаж труба орқали биринчи камерага ўтиб, ўзининг иссиқлигини суюлтирилган кислота эритмасини қиздириш учун беради. Бу аппаратда кислота билан газ бир-бирига қарама-қарши йўналгани учун ёқилғидан чиққан газларнинг иссиқлигидан самарали фойдаланилади, лекин аппаратдан чиқиб кетаётган газ билан бирга кўп миқдорда иссиқлик йўқотилади. Бундан ташқари, аппаратда газ билан бирга чиқиб кетаётган кислота буғларини ажратиш учун электрофилтёр назарда тутилган.

### 7.18-§. Буғлатиш аппаратларини ҳисоблаш

Буғлатиш аппаратларини лойиҳалаш ва ҳисоблаш учун уларнинг иситиш юзалари аниқланади. Саноатда кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари кенг қўлланилгани учун уч аппаратли буғлатиш қурилма-

сини ҳисоблаш усулларини кўриб чиқамиз. Бир аппаратли қурилмага нисбатан кўп аппаратли қурилмаларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, бунда ҳар битта аппарат (ёки корпус) учун умумий фойдали температуралар фарқи рационал тақсимланиши керак. Ҳар бир корпус учун буғнинг сарфланиш миқдори ва буғлатилаётган сув миқдори аниқланади.

Бундай қурилмани ҳисоблаш учун буғлатилиши лозим бўлган эритманинг миқдори  $G_6$ , унинг бошланғич ва охириги концентрациялари  $e_6$  ва  $e_k$ , аппаратга кираётган эритманинг температураси  $t$ , иситилаётган буғнинг температураси  $T_n$  ҳамда охириги, яъни учинчи корпусдан чиқаётган иккиламчи буғнинг конденсацияланиш температураси  $T_k'''$  маълум бўлиши керак.

1. Учала аппаратда буғланаётган эритувчининг умумий миқдорини аниқлаймиз:

$$W = G_6 \left( 1 - \frac{e_6}{e_k} \right), \text{ кг/с.} \quad (7.54)$$

2. Аппаратлардаги буғлатиладиган эритувчининг ўзаро нисбатини қабул қилиб, ҳар бир корпусдаги иккиламчи буғнинг миқдорини аниқлаймиз:

$$W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1,05 : 1,1. \quad (7.55)$$

3. Ҳар бир аппаратда ҳосил бўлган иккиламчи буғ миқдорини топамиз:

$$W_1 = \frac{W}{3,15}; \quad W_2 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,05; \quad W_3 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,1.$$

4. Ҳар бир аппаратга кираётган эритманинг концентрациясини аниқлаймиз:

$$B_1 = \frac{G_6 \cdot e_6}{G_6 - W_1}; \quad B_2 = \frac{G_6 \cdot e_6}{G_6 - W_1 - W_2}; \quad B_3 = \frac{G_6 \cdot e_6}{G_6 - W_1 - W_2 - W_3}. \quad (7.56)$$

5. Ҳар бир аппаратдаги иситувчи буғ босимини топамиз:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_1'''}{3}, \text{ Н/м}^2; \quad (7.57)$$

бу ерда:  $\Delta P$  — ҳар бир корпусда буғ босимининг камайиши.

а) учинчи аппаратдаги иситувчи ёки иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғнинг босимини топамиз:

$$P'' = P''' + \Delta P, \text{ Н/м}^2; \quad (7.58)$$

бу ерда:  $P'''$  — учинчи аппаратдан чиқаётган буғ босими, у иккиламчи буғнинг конденсацияланиш температурасига қараб аниқланилади.

б) биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғнинг ёки иккинчи аппаратга кираётган бирламчи буғнинг босимини топамиз:

$$P' = P'' + \Delta P, \text{ Н/м}^2. \quad (7.59)$$

6. Ҳар бир аппаратдаги эритманинг қайнаш температурасини аниқлаймиз. а) учинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_3 = t_3^3 + \Delta t_d'' + \Delta t_{\text{гидрост.}} \quad (7.60)$$

б) иккинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_2 = t_2^2 + \Delta t_d'' + \Delta t_{\text{гидрост.}} + \Delta t_{\text{гидравл.}} \quad (7.61)$$

в) биринчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_1 = t_1^1 + \Delta t_d'' + \Delta t_{\text{гидрост.}} + \Delta t_{\text{гидравл.}} \quad (7.62)$$

бу ерда  $t_3^3$ ,  $t_2^2$ ,  $t_1^1$  — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги эритувчининг қайнаш ва иккиламчи буғ температураси. Иккиламчи буғнинг температурасини буғнинг босимига қараб махсус адабиётлардан топилади;

$\Delta t_d''$ ,  $\Delta t_d''$ ,  $\Delta t_d''$  — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратлардаги эритманинг температура депрессиялари (яъни эритма билан эритувчининг қайнаш температуралари орасидаги фарқ), эритманинг концентрациясига қараб махсус адабиётлардан олинади;

$\Delta t_{\text{гидрост.}}$  — гидростатик эффект таъсирида қайнаш температурасининг пасайиши;

$\Delta t_{\text{гидравл.}}$  — гидравлик қаршилик таъсирида иккиламчи буғ температурасининг пасайиши. Аппаратларнинг сонига қараб  $\Delta t_{\text{гидравл.}} = 1 \dots 3^\circ\text{C}$  гача ўзгаради.

Иситиш трубаларининг юқориги қисмидан ювилувчи суюқликнинг иситиш юзасигача бўлган баландлик даражасини  $H$  деб белгиласак, у ҳолда аппаратлардаги гидростатик босимнинг ошиши  $\Delta P = \rho gH$  бўлади. Қўпинча буғлатиш аппаратларида  $H = 0,4$  м га тенг деб олинади. Бунда ўрта қатламдаги босим:  $P_y = P^1 + \Delta P$ .

$P^1$  ва  $P_y$  босимларга тўғри келадиган температуралар махсус адабиётлардан топилади, у вақтда:

$$\Delta t_{\text{гидрост.}} = P_y - P^1 = t_y - t_1.$$

Худди шундай ҳисоблаш усули билан эритма қайнаш температурасининг гидростатик эффект таъсирида йўқотилишини иккинчи ва учинчи корпуслар учун аниқланади.

Ҳар бир корпус учун иссиқлик ўтказиш коэффициентларини аниқлаймиз. Аппаратдаги эритмаларнинг қайнаш температураси ва концентрациясига қараб махсус справочник адабиётлардан эритманинг физик хоссалари (зичлик, қовушоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сиғими ва шу кабилар) аниқланади. Иситиш трубаларининг узунлиги ва диаметри буғлатиш аппаратининг турига қараб қабул қилинади. Сўнгра конденсацияланаётган буғ ва қайнаётган эритма учун тегишли критериал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари ( $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$ ) аниқланади. Кейинчалик иссиқлик бериш коэффициентларидан иссиқлик ўтказиш коэффициенти топилади:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{\delta}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2'}}; \quad K_3 = \frac{5}{\frac{1}{\alpha_1''} + \frac{\delta}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2''}} \quad (7.63)$$

7. Ҳар бир аппарат учун талаб қилинадиган иссиқлик миқдорини аниқлаймиз: б) биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = W_1 \cdot t_1, \text{ Вт}; \quad (7.64)$$

б) иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = W_2 \cdot r_2 - (G_0 - W_1) C_1 (t_1 - t_2), \text{ Вт}; \quad (7.65)$$

в) учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = W_3 r_3 - (G_0 - W_1 - W_2) C_2 (t_2 - t_3), \text{ Вт}; \quad (7.66)$$

бу ерда:  $r_1, r_2, r_3$  — биринчи, иккинчи ва учинчи корпусдаги буғларнинг ҳосил қилган иссиқлиги;  $C_1, C_2$  — иккинчи ва учинчи аппаратлардаги эритмаларнинг иссиқлик сифимлари.

Биринчи, иккинчи ва учинчи аппаратлардаги эритмаларни буғла-тиш учун керак бўладиган буғнинг миқдори қуйидагича аниқланади:

$$D_1 = \frac{Q_1}{r_1 x}; \quad D_2 = \frac{Q_2}{r_2 x}; \quad D_3 = \frac{Q_3}{r_3 x}, \text{ кг/с}; \quad (7.67)$$

бу ерда:  $x$  — буғнинг қуруқлик даражасини кўрсатади. Кўпинча  $x=0,9 \dots 1,0$  бўлади.

8. Фойдали температураларнинг корпуслар бўйича тақсимланиши. Фойдали температуралар фарқи  $\Delta t$  аппарат бўйича икки хил усулда тақсимланади: а) ҳамма аппаратларнинг иситиш юзаси бир хил бўлган шароитда; б) умумий иситиш юзаси энг кам бўлганда.

Фойдали температуралар фарқи биринчи усул билан тақсимланганда аппаратлар бўйича  $\Delta t$  қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{\frac{Q_1}{K_1} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \quad \Delta t_2 = \frac{\frac{Q_2}{K_2} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \quad \Delta t_3 = \frac{\frac{Q_3}{K_3} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}. \quad (7.68)$$

Фойдали температуралар фарқи иккинчи усул билан тақсимланганда аппаратлар бўйича  $\Delta t$  қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad \Delta t_2 = \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad \Delta t_3 = \frac{\sqrt{\frac{Q_3}{K_3}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad (7.69)$$

бу ерда  $\Delta t = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K}$ .

9. Ҳар бир аппаратнинг иситувчи юзасини топамиз:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}; \quad F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}; \quad F_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}. \quad (7.70)$$

Сўнгра буғлатиш аппаратининг асосий ўлчамларини аниқлаш учун худди иссиқлик алмашиниш аппаратларини ҳисоблашдаги каби, конструктив, иссиқлик трубаларида ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгилш учун кетган напорнинг йўқолишини гидравлик ҳисоблаш билан ва буғлатиш аппаратининг девор қалинликлари, фланец бирикмалардаги болтларнинг сони механик ҳисоблаш усуллари билан аниқланади.

## 7. 19-§. Иссиқлик алмашиниш, конденсатор ва буглатиш аппаратларини танлаш

**Иссиқлик алмашиниш аппаратларини танлаш.** Иссиқлик алмашиниш аппаратларининг конструкциялари аниқ бир шароитда олиб бориладиган иссиқлик алмашинуви процесси билан боғлиқ бўлган талабларни, яъни аппаратга керакли иссиқлик миқдори, процесснинг температура ва босими, иситувчи агентларнинг физик-химиявий хусусиятлари, химиявий агрессивлиги ва агрегат ҳолати, иссиқлик алмашиниш пайтида аппаратнинг юза қисмларидаги ифлосликларнинг ҳосил бўлишини ҳисобга олган ҳолда, бу талабларнинг барчасига жавоб бериши керак.

Иссиқлик алмашиниш аппаратларини танлаганда уларнинг тузилиши содда, ихчам ва  $1 \text{ м}^2$  иссиқлик алмашиниш юзасига кам металл сарфланиши ҳамда иқтисодий жиҳатдан техник кўрсаткичлари юқори бўлиши керак. Аксарият бу талабларнинг ҳаммасини қондирадиган иссиқлик алмашиниш аппаратларини топиш қийин, шунинг учун энг асосий эҳтиёжларини қондирадиган иссиқлик алмашиниш аппаратларининг конструкцияларини танлаш билангина чегараланади.

Бир йўлли кожух трубаги иссиқлик алмашиниш аппаратларида трубагарнинг умумий кўндаланг кесими катта бўлгани учун, фақатгина иситувчи агентларнинг ҳажмий сарфланиш миқдори катта бўлган пайтда уларнинг трубагардаги тезлиги ҳам катта бўлади. Шунинг учун, бу аппаратларда процесснинг тезлиги, фақатгина трубагараро бўшлиқдаги иссиқлик ўтказиш коэффициентининг катталиги билан аниқланади ва суюқликлар иситиш юзаси орқали буглатилганда ҳам кенг миқёсда қўлланилади.

Кўп йўлли кожух трубаги иссиқлик алмашиниш аппаратлари суюқликларни буғ билан иситишда, буғларнинг конденсацияланишида, суюқлик билан суюқликнинг ўзаро иссиқлик алмашинишида суюқлик билан газларни, кўп миқдордаги газ билан газни иситишда кенг қўлланилади.

Иситувчи агентлар орасидаги температуралар фарқи катта бўлса, линзали, компенсаторли ва *U*-симон кўп йўлли кожух трубаги иситиш аппаратлари ишлатилади.

Агар иситиш юзаси кичик бўлса, газ билан суюқликни, газ билан газни иситишда элементли иссиқлик алмашиниш аппаратлари ишлатилади.

Агрессив муҳитларни совитиш ва иситиш учун змеевикли, ювилиб турувчи иссиқлик алмашиниш аппаратлари ишлатилади. Бу аппаратларда иссиқлик алмашиниш процесси юқори босим остида борса ҳам, улардан фойдаланиш мумкин. Лекин бу аппаратлар иссиқлик нагрукаси кам бўлганда ишлайди.

Спиралли ва пластинаги иситиш аппаратлари ихчам ва юқори иссиқлик алмашиниш коэффициентига эга. Бу аппаратлар иссиқлик алмашинувчи муҳитларнинг босими ва температуралар фарқи кам бўлгандагина ишлатилади. Спиралли иссиқлик алмашиниш аппаратлари суюқлик, газларни ва буғ-газ аралашмаларини иситиш ҳамда совитиш

учун қўлланилади. Пластинали иссиқлик алмашиниш аппаратлари суюқликларни иситиш учун ишлатилади.

Қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни, сочилувчан материалларни иситиш учун шнекли иссиқлик алмашиниш аппаратларидан фойдаланилади.

Ута агрессив эритмаларни совитиш ва иситиш учун блокли иссиқлик алмашиниш аппаратлари қўлланилади.

Иссиқлик алмашиниш аппаратларини танлашда уларни ишлатиш учун аппаратнинг амортизациясига, гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган энергияларнинг сарфланиш миқдорини ҳамда уларнинг тайёрланиш қийматини аниқлаш муҳимдир.

Барча турдаги иссиқлик алмашиниш аппаратлари маълум технологик шароитда, берилган унумдорликда, оптимал режимда ишлаганида иссиқлик алмашиниш пайтида аниқланадиган процесснинг барча кўрсаткичларига сарфланадиган иссиқликнинг миқдори кам бўлиши керак.

**Конденсаторларни танлаш.** Химия ва озиқ-овқат саноатида дистилляция процессида ҳосил бўлган органик эритмаларнинг буғлари сув ёки бошқа совитувчи агент ёрдамида сиртий конденсаторларда конденсацияланади.

Буғлатувчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буғларни совитиш, кўп аппаратли буғлатувчи аппаратларда вакуум ҳосил қилиш учун аралаштирувчи барометрик конденсаторлар ишлатилади.

**Буғлатиш аппаратларини танлаш.** Буғлатиш аппаратларининг конструкциялари умуман қўйидаги талабларни қондириши керак: унумдорлиги юқори, кичик ҳажмли аппаратда иложи борича иссиқлик ўтказишнинг интенсивлиги катта, тузилиши содда, тайёрлаш учун кам металл сарфланиши, ишончли ишлайдиган иссиқлик алмашиниш юзасини тозалаш осон ва аппаратнинг баъзи бир қисмлари бузилганда тузатиш қулай бўлиши керак. Аппарат конструкцияси ва у тайёрланадиган материал буғлатилиши лозим бўлган эритманинг физик-химиявий хусусиятларига (қовушоқлик, температура депрессияси, кристалланиши, юқори температурага чидамлилиги, химиявий агрессивлиги ва шу кабилар) қараб танланади.

Буғлатиш аппаратининг унумдорлиги ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун циркуляция тезлиги кўпайтирилади. Лекин бунда буғлатиш учун кўп энергия сарф бўлиб, фойдали температуралар фарқи камаяди, чунки иситилаётган буғнинг температураси ўзгармас бўлгани учун гидравлик қаршиликлар кўпайиши билан эритманинг қайнаш температураси кўпаяди. Бу факторларнинг бир-бирига қарама-қаршилиги буғлатиш аппаратларининг оптимал конструкцияларини танлаганда бевосита ҳисобга олинади.

Буғлатиш аппаратлари баъзи ўзига хос афзалликларини ҳисобга олган ҳолда танланади.

Қовушоқлиги кам ( $8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) кристалл ҳосил қилмайдиган эритмаларни буғлатиш учун кўп қаррали табиий циркуляция бўладиган вертикал буғлатиш аппаратлари ишлатилади. Бу аппаратлар орасида иситиш камераси ажратилган ва циркуляция трубаси

ташқарига ўрнатилган буғлатиш аппаратлари энг эффектив ҳисобланади.

Кристалланмайдиган юқори қовушоқликка ( $100 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$  гача) эга бўлган эритмаларни буғлатиш учун мажбурий циркуляцияли, трубази айрим ҳолда тўғри пастга йўналувчи плёнкали ёки ротор плёнкали буғлатиш аппаратлари ишлатилади. Ротор плёнкали буғлатиш аппаратлари юқори температуралар таъсирига чидамли эритмаларни буғлатиш учун ҳам қўлланилади.

Мажбурий циркуляция трубази буғлатиш аппаратларидан кристалланувчи ва қовушоқ эритмаларни буғлатиш учун ҳам кенг фойдаланилади. Бундай эритмаларни табиий циркуляция билан ишлайдиган, иситиш зонаси ажратилган буғлатиш аппаратларида ҳам буғлатиш мумкин.

Кўпикланувчи эритмаларни буғлатиш учун тўғри йўналишли, кўтарувчи плёнкали буғлатиш аппаратларидан фойдаланиш тавсия қилинади.

Агрессив кислота ва ишқор эритмаларини буғлатиш учун барботажли буғлатиш аппаратлари, юқори температура таъсирида бузилувчи эритмаларни (ҳар хил мева шарбатларини) буғлатиш учун эса иссиқлик насосига эга бўлган буғлатиш аппаратлари қўлланилади.

## 8- боб. МОДДА АЛМАШИНИШ АСОСЛАРИ

### 8.1-§. Умумий тушунчалар

Химия ва озиқ-овқат маҳсулотлари ишлаб чиқариш технологиясида модда алмашиниш процесслари муҳим ўрин эгаллайди. Бундай процесслар бир фазадан иккинчи фазага моддаларнинг ўтишига асосланган. Фазалар суюқ, қаттиқ, газ ва буғ ҳолатида бўлиши мумкин.

Саноатда қуйидаги модда алмашиниш процесслари ишлатилади:

1. *Абсорбция*. Газ аралашмасидан бирор модданинг суюқ фазага ўтиши *абсорбция* деб аталади. Ютувчи суюқлик абсорбент дейилади. Тескари процесс, яъни ютилган компонентларнинг суюқликдан ажралиб чиқиши *десорбция* деб аталади.

2. *Суюқликларни экстракциялаш*. Бирор суюқликда эриган моддани бошқа суюқлик ёрдамида ажратиб олиш процесси *экстракциялаш* деб аталади. Бундай процессда бир ёки бир неча компонент бир суюқ фазадан иккинчи суюқ фазага ўтади.

3. *Суюқликларни ҳайдаш*. Суюқ ва буғ фазалар орасида компонентларнинг ўзаро алмашиниши йўли билан суюқлик аралашмаларини ажратиш процесси *ҳайдаш* деб аталади. Бу процесс иссиқлик таъсирида олиб борилади, оддий ҳайдаш (дистиллаш) ва мураккаб ҳайдаш (ректификация) процесслари бор.

4. *Адсорбция*. Газ, буғ ёки суюқлик аралашмаларидан бир хил ёки бир неча компонентларнинг ғоваксимон қаттиқ моддага ютилиш процесси *адсорбция* дейилади. Актив юзага эга бўлган қаттиқ материаллар адсорбентлар деб аталади. Тескари процесс, яъни десорбция адсорбциядан кейин олиб борилади ва кўпинча ютилган компонентни адсорбентдан ажратиб олиш учун (ёки адсорбентни регенерация қилиш учун) хизмат қилади.

Ион алмашиниш процесси адсорбциянинг бир тури бўлиб, айрим қаттиқ моддалар (ионитлар) ўзларининг ҳаракатчан ионларини электролит эритмалардаги ионларга алмаштириш қобилиятига асосланган.

5. *Қуритиш*. Қаттиқ материаллар таркибидаги намликни асосан буғлатиш йўли билан ажратиб чиқариш *қуритиш* дейилади. Бу процесс иссиқлик ва намлик ташувчи агентлар (иситилган ҳаво, тутунли газлар) ёрдамида олиб борилади. Қуритиш процессида намлик қаттиқ фазадан газ (ёки буғ) фазага ўтади.

6. *Қаттиқ моддаларни эритиш ва экстракциялаш.* Қаттиқ фазанинг суюқликка (эритувчига) ўтиши *эритиш процесси* деб аталади. Қаттиқ говаксимон материаллар таркибидан бир ёки бир неча компонентларни эритувчи ёрдамида ажратиб олиш процесси *экстракциялаш* дейилади. Агар эритиш процессида қаттиқ фаза тўла суюқ фазага ўтса, экстракциялаш пайтида эса қаттиқ фаза амалий жиҳатдан ўзгармай қолади, фақат унинг таркибидаги тегишли компонент суюқ фазага ўтади.

7. *Кристалланиш.* Суюқ эритмалар таркибидаги қаттиқ фазани кристаллар ҳолатида ажратиш процесси *кристалланиш* деб юритилади. Бу процесс эритмаларни ўта тўйинтириш ёки ўта совитиш натижасида содир бўлади. Кристалланиш пайтида модда суюқ фазадан қаттиқ фазага ўтади.

8. *Мембрана усули билан ажратиш.* Ярим ўтказувчи мембраналар ёрдамида углеводородларни, юқори ва қуйи молекулали бирикмалар аралашмаларини ажратиш; табиий газлардан гелий ва водородни, ҳаводан кислородни ажратиб олиш; сут маҳсулотларини, мева, сабзавот шарбатларини ва бошқа эритмаларни қуюлтириш, пивони пастеризация қилиш, юқори сифатли қанд моддаси олиш ва шу каби бир қатор муҳим вазифаларни бажариш мумкин. Бу процесс модда алмашилишининг янги йўналишидир. Мембрана ёрдамида ажратиш қуйидаги усуллар билан амалга оширилади; тескари осмос ультрабин ультрафилтрлаш, микрофилтрлаш, мембрана орқали буғланиш, диализ, электродиализ, газларни диффузия билан ажратиш.

Моддаларни ўтказиш мураккаб процесс бўлиб, бир ёки бир неча компонентни бир фазадан иккинчи фазага фазаларни ажратувчи юза орқали ўтишини белгилайди. Моддаларнинг бир фаза ичида тарқалиши моддаларнинг берилиши деб юритилади. Моддаларнинг берилиш интенсивлиги коэффициент  $\beta$  орқали ифодаланади. Моддаларни ўтказиш процессининг тезлиги эса коэффициент  $K$  билан белгиланади.

Фазаларни ажратувчи юза қўзғалувчан ва қўзғалмас бўлади. Газ-суюқлик (абсорбция), буғ-суюқлик (ҳайдаш), суюқлик-суюқлик (экстракциялаш) системаларида борадиган модда алмашилиш процессларидаги фазаларни ажратувчи юза қўзғалувчан бўлади. Қаттиқ фаза иштироки билан борадиган процессларда (адсорбция, қуриштиш, экстракциялаш, кристалланиш) фазаларни ажратувчи юза қўзғалмас бўлади.

Модда алмашилиш процессларининг тезлиги асосан молекуляр диффузияга боғлиқ бўлгани учун, кўпинча бундай процесслар диффузия процесслари деб ҳам юритилади. Бир фазадан иккинчи фазага ўтаётган модданинг миқдори фазаларни ажратувчи юзага ва ҳаракатлантирувчи кучга (концентрацияларнинг ўртача фарқи) пропорционал бўлади.

Фазалар таркиби қуйидагича ифодаланади; 1) ҳажмий концентрация билан бу миқдор берилган модданинг (фазанинг) ҳажм бирлигига тўғри келадиган сони (кг ёки кмоль ҳисобида), яъни  $\text{кг}/\text{м}^3$  ёки  $\text{кмоль}/\text{м}^3$ ; 2) массавий ёки моль улушлар билан бу миқдор берилган модда массасини бутун фаза массасига нисбати орқали; 3) нисбий концентрация-

лар билан, тарқалувчи модда массасининг модда алмашилиш процес-сида ўзгармай қоладиган ташувчи инерт компонент массасига нис-бати орқали белгиланади.

## 8.2- §. Мувозанат қоидалари

**Фазалар қоидаси.** Бу қоида модда алмашилиш процессларидаги мувозанат қоидаларининг асосини ташкил этади. Фазалар қоидаси қуйидагича ифодаланади:

$$\Phi + C = K + 2 \quad (8.1)$$

бу ерда  $\Phi$  — фазалар сони;  $C$  — эркинлик даражаси сони;  $K$  — системадаги компонентлар сони.

Фазалар қоидаси модда алмашилиш процессларининг мувозанат ҳолатларини ҳисоблашда параметрларнинг қанчасини ўзгартириш мумкинлигини белгилаб беради. Бу қоидадан модда алмашилиш процессларининг икки хил турида ҳам фойдаланиш мумкин; 1) ўзаро таъсир қилувчи иккала фаза таркибида тарқалувчи моддадан ташқари инерт компонент-ташувчи бўлади (масалан абсорбция, суюқликларни экстракциялаш); 2) иккала фазада ҳам инерт компонент қатнашмайди (ректификация).

Модда алмашилиш процессининг биринчи турига мисол: икки фазали ( $\Phi = 2$ ) ва уч компонентли, иккала фаза бўйича тарқалувчи модда ва иккала фазадаги ташувчи инерт компонентлардан иборат система учта эркинлик даражасига эга бўлади:

$$C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3.$$

Бундай шароитда исталган учта параметрни, яъни умумий босим ( $P$ ), температура ( $t$ ) ва фазалардан бирининг тарқалувчи модда бўйича концентрацияси  $x_A$  ёки  $y_A$  ни ўзгартириш мумкин. Демак, берилган температура ва босим қийматида ( $t = \text{const}$ ,  $P = \text{const}$ ) битта фазанинг айрим концентрациясига иккинчи фазанинг тегишли аниқ концентрация қиймати тўғри келади.

Модда алмашилиш процессининг иккинчи турига мисол: иккита фазадан ( $\Phi = 2$ ) ва иккита тарқалувчи компонентдан ( $K = 2$ ) иборат система иккита эркинлик даражасига эга бўлади:

$$C = K + 2 - \Phi = 2 + 2 - 2 = 2.$$

Агар модда алмашилиш процесслари одатда бир хил босимда ўтказилиши ҳисобга олинса, у ҳолда фазанинг концентрацияси ўзгариши билан температура  $t$  ўзгаради. Агарда бундай процесс ўзгармас температурада ( $t = \text{const}$ ) олиб борилса, фазанинг турли концентрацияларига турли босим қийматлари тўғри келади.

Ўзгарувчи параметрлар ўртасидаги боғлиқликлар фазавий диаграмма ёрдамида ифодаланади. Модда алмашилиш процессларини ҳисоблашда қуйидаги диаграммалардан фойдаланилади:

- 1) босимнинг концентрацияга боғлиқлиги ( $t = \text{const}$ );
- 2) температуранинг концентрацияга боғлиқлиги ( $p = \text{const}$ );

3) фазаларнинг мувозанат концентрациялари орасидаги боғлиқлик.

**Фазавий мувозанат.** Аммиак ва ҳаво аралашмасидан аммиакнинг тоза сувга ютилишини кўриб чиқамиз. Бу ютилиш процесси абсорбцияга мисол бўла олади. Аммиак иккала фазада ҳам тарқалувчи компонент ҳисобланади. Аммиакнинг газ фазасидаги  $\Phi_y$  концентрациясини, суюқ фазадаги  $\Phi_x$  дастлабки концентрациясини эса  $x = 0$  деб оламиз. Мувозанат ўрнатилмаган пайтда газ  $\Phi_y$  фазадан  $\Phi_x$  фазага ўтади. Аммиак сувда эришининг бошланиши билан бирга унинг бир қисм молекуласи тескари йўналишда газ фазаси томон ҳаракат қилади. Бу тескари йўналишнинг тезлиги аммиакнинг сувдаги ва фазаларни ажратувчи юзадаги концентрацияларига боғлиқ. Маълум вақт ўтгандан сўнг аммиакнинг сувга ўтиши камаяди, тескари йўналишнинг (яъни аммиакнинг қайтадан газ фазасига ўтишининг) тезлиги орта боради. Бу ҳол иккала йўналишдаги моддаларнинг ўтиш тезлиги бир хил бўлгунча давом этади. Ўтиш тезлиги бир хил бўлганда динамик мувозанат содир бўлади. Мувозанат пайтида модданинг бир фазадан иккинчи фазага ўтиши сезилмайди.

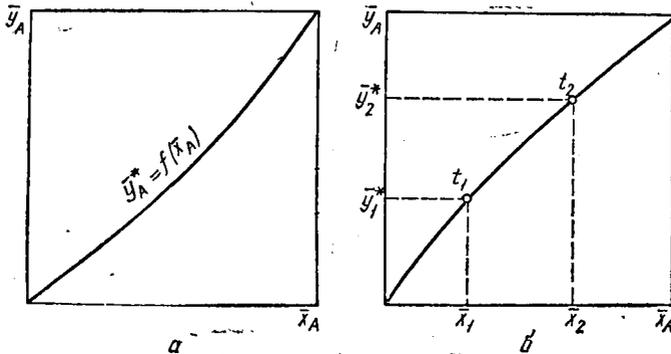
Мувозанат пайтида  $\bar{x}$  нинг маълум қийматига бошқа фазадаги тегишли аниқ бир қийматли мувозанат концентрацияси  $\bar{y}^*$  тўғри келади. Худди шунингдек,  $\bar{y}$  нинг маълум қийматига тегишли мувозанат концентрацияси  $\bar{x}^*$  тўғри келади. Мувозанат пайтида фазалардаги тарқалувчи компонент концентрациялари ўртасида умумий боғлиқлик қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{y}^* = f(\bar{x}) \quad (8.2)$$

ёки

$$\bar{x}^* = f(\bar{y}). \quad (8.3)$$

(8.2) ва (8.3) тенгламалар графикда мувозанат чизиғи билан ифода қилинади ва модда ўтказиш процессининг турига кўра ҳар хил кўринишга эга бўлади 8.1- расмда мувозанат диаграммалари кўрсатилган. 8.1- расм, *a* да газ фазасидаги мувозанат концентрациясининг суюқ фазадаги концентрация билан боғлиқлиги берилган ( $p = \text{const}$  ва



8.1- расм. Мувозанат диаграммалари.

$t = \text{const}$ ). 8.1- расм, б да эса ректификация процессининг мувозанат чизиғи кўрсатилган ( $p = \text{const}$ ). Расмда кўрсатилган ҳар бир нуқта маълум температураларга мос келади ( $t_1, t_2$  ва ҳоказо).

Мувозанат пайтидаги фазалар концентрацияларининг нисбати тарқалиш коэффициенти  $m$  деб юритилади:

$$m = \frac{\bar{y}^*}{\bar{x}}. \quad (8.4)$$

Суюқ эритмалар учун мувозанат чизиғи тўғри чизиққа яқин бўлади.  $m$  нинг қиймати амалий жиҳатдан ўзгармас ва мувозанат чизиғи ётиқлиги бурчагининг тангенсига тенг.

Конкрет шароитлар учун мувозанат ва иш чизиқлари ёрдамида аппаратнинг исталган нуқта-тасидаги процесснинг йўналишини, ҳаракат-лантирувчи кучни ва булар асосида модда алмашинишнинг тезлигини аниқлаш мумкин.

**Моддий баланс.** Саноатда ишлатиладиган аппаратларда иш концентрацияларининг қийматлари ҳеч вақт мувозанат концентрацияларига тенг бўлмайди. Фазаларда тарқалувчи компонент иш концентрациялари орасидаги боғлиқлик  $\bar{y} = f(\bar{x})$  ни ифода қилувчи чизиқ процесснинг иш чизиғи деб аталади. Иш чизиқнинг кўриниши процесснинг моддий баланси асосида аниқланилади.

Фазалар қарама-қарши йўналишда ҳаракат қиладиган модда алмашиниш аппаратининг схемасини кўриб чиқамиз (8.2- расм). Битта тарқалувчи компонент (масалан, аммиак) газ фазасидан суюқлик фазасига ўтади деб фарз қиламиз. Аппаратнинг пастки қисмидан  $G_0$  (кг/с) миқдорли ҳамда  $\bar{y}_0$  концентрацияли газ фазаси киради, бу фаза  $G_0$  (кг/с) миқдорда ва охириги концентрацияси  $\bar{y}_0$  га тенг бўлган ҳолда аппаратнинг юқориги қисмидан чиқади. Аппаратнинг юқориги қисмидан иккинчи фаза (суюқ фаза) киради ва бу фаза аппаратнинг пастки қисмидан чиқади. Суюқлик фазасининг киришдаги миқдорини  $L_0$  (кг/с) ва унинг концентрациясини  $\bar{x}_0$  деб олсак, чиқишда эса бу миқдорлар  $L_0$  (кг/с) ва  $\bar{x}_0$  бўлади. Одатда фазаларнинг концентрациялари тарқалувчи компонентнинг массавий улушларида ўлчанади.

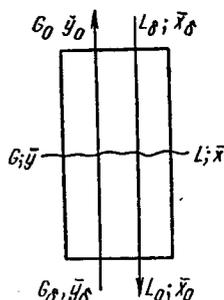
Умумий моддий баланс тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$G_0 + L_0 = G_1 + L_1. \quad (8.5)$$

Тарқалувчи компонент бўйича моддий баланс:

$$G_0 \bar{y}_0 + L_0 \bar{x}_0 = G_1 \bar{y}_1 + L_1 \bar{x}_1. \quad (8.6)$$

Аппаратнинг хоҳлаган бир кесими учун моддий баланс тенгламасини тузамиз. Бу кесим учун фазалар сарфини  $G$  ва  $L$  (кг/с), уларнинг концентрацияларини  $\bar{y}$  ва  $\bar{x}$  билан белгилаймиз. Бунда умумий моддий баланс ва тарқалувчи компонент бўйича олинган моддий баланс тенгламалари қуйидагича бўлади:



8.2- расм. Қарама-қарши йўналган модда алмашиниш аппаратида моддий баланс тенгламасини аниқлаш

$$G_0 + L = G + L_0; \quad (8.7)$$

$$G_0 \bar{y}_0 + L \bar{x} = G \bar{y} + L_0 \bar{x}_0 \quad (8.8)$$

Охирги тенгламани  $y$  га нисбатан ечиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G_0 \bar{y}_0 - L_0 \bar{x}_0}{G}. \quad (8.9)$$

(8.9) тенглама аппаратнинг исталган бир кесими учун фазалардаги тарқалувчи компонент иш концентрациялари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди ва иш чизиқ тенгламасини билдиради.

Айрим процессларда (масалан, ректификация) фазалар сарфи ўзгармас бўлади. Бошқа процессларда эса аппаратнинг баландлиги бўйича фазаларнинг концентрациялари жуда кам ўзгаради, шу сабабли амалий ҳисоблашлар учун  $L = \text{const}$  ва  $G = \text{const}$  деб олинади. Бунда  $L_0 = L$ ,  $G_0 = G$  ва (8.9) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \left( \bar{y}_0 - \frac{L}{G} \bar{x}_0 \right); \quad (8.10)$$

$$\frac{L}{G} = A \text{ ва } \bar{y}_0 - \frac{L}{G} \bar{x}_0 = B$$

деб белгилаб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$y = Ax + B. \quad (8.11)$$

(8.10) ва (8.11) тенгламалар иш чизиғи тенгламаларини ифодалайди. Бу тенгламалардан одатда модда алмашилиш аппаратларини ҳисоблашда фойдаланилади.

Шундай қилиб, иш чизиқ тенгламаси тўғри чизиқдан иборат бўлиб, горизонтга маълум бурчак остида (қия) жойлашган бўлади. Бурчакнинг тангенси  $A$  га тенг. Ушбу тўғри чизиқ ордината ўқидан  $B$  га тенг бўлган қирқимни ажратади. Иш чизиғи  $\bar{x}_0$  ва  $\bar{y}_0$  (аппаратнинг юқориги қисмида) ҳамда  $\underline{y}_0$  ва  $\underline{x}_0$  (аппаратнинг пастки қисмида) координаталар билан чегараланиб туради.

Мувозанат ва иш чизиқларининг  $\bar{y} - \bar{x}$  диаграммасидаги ўзаро жойлашувига кўра модда алмашилиш процессининг йўналишини аниқлаш мумкин. Одатда тарқалувчи компонент концентрацияси мувозанат концентрациясидан юқори бўлган фазадан концентрацияси мувозанат концентрациясидан паст бўлган фазага ўтади.

### 8.3- §. Молекуляр ва турбулент диффузиялар

Моддаларнинг бир фаза ичида тарқалиши ва бир фазадан иккинчи фазага ўтиши молекуляр диффузия ҳамда турбулент диффузия йўли билан боради.

**Молекуляр диффузия.** Молекула, атом, ион ва коллоид заррачаларнинг тартибсиз иссиқлик ҳаракати таъсирида модданинг тарқалиши *молекуляр диффузия* деб аталади. Қўзғалмас муҳитда, ламинар оқимда ва фазаларни ажратувчи юза яқинида турбулент оқимда модда

молекуляр диффузия ёрдамида тарқалади. Молекуляр диффузия Фикнинг биринчи қонуни билан ифодаланади. Бу қонунга кўра, элементар юза  $dF$  дан маълум вақт  $dt$  давомида тарқалган модданинг массаси  $dM$  унинг концентрация градиенти  $\frac{dc}{dn}$  га тўғри пропорционалдир:

$$dM = -D dF d\tau \frac{dc}{dn} \quad (8.12)$$

ёки

$$M = -D \cdot F \cdot \tau \frac{dc}{dn} \quad (8.13)$$

(8.13) ифодага асосан, юза бирлигидан ( $F=1$ ) вақт бирлиги ичида ( $\tau=1$ ) модданинг молекуляр диффузия билан тарқалиши модданинг солиштирма оқими (ёки молекуляр диффузиянинг) тезлиги деб аталади:

$$q_m = \frac{M}{F \cdot \tau} = -D \frac{dc}{dn}. \quad (8.14)$$

Тенгламанинг ўнг томонидаги минус ишора молекуляр диффузиянинг тарқалувчи компонент концентрациясининг камайиши томонга қараб боришини кўрсатади. Тенгламадаги пропорционаллик коэффициентини  $D$  молекуляр диффузия коэффициенти ёки диффузия коэффициенти деб аталади. (8.13) тенгламага асосан диффузия коэффициентининг ўлчов бирлигини аниқлаймиз:

$$[D] = \left[ \frac{M dn}{dc \cdot F \cdot \tau} \right] = \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[ \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right].$$

Диффузия коэффициенти юза бирлигидан вақт бирлиги ичида, концентрация градиенти бирга тенг бўлганда тарқалган модданинг массасини билдиради. Молекуляр диффузия коэффициенти физик ўзгармас катталик бўлиб, модданинг диффузия йўли билан қўзғалмас муҳитга кириш қобилиятини белгилайди. Диффузия коэффициентининг қиймати процесснинг гидродинамик шарт-шароитларига боғлиқ эмас.

Диффузия коэффициенти тарқалувчи модда ва муҳитнинг хоссаларига, температурага ва босимга боғлиқ. Одатда диффузия коэффициенти температуранинг ортиши ва босимнинг камайиши (газлар учун) билан кўпаяди. Ҳар бир конкрет шароит учун  $D$  нинг қиймати тажриба йўли билан ёки тегишли тенгламалар ёрдамида аниқланади. Кўпчилик моддалар учун  $D$  нинг қиймати справочникларда берилган бўлади.

Газлардаги диффузия коэффициенти ( $D, \text{м}^2/\text{с}$ ) қуйидаги тенглама билан топилади:

$$D = 4,44 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{T^{3/2}}{P (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}; \quad (8.15)$$

бу ерда  $T$  — абсолют температура,  $K$ ;  $P$  — босим,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $V_A, V_B$  — газларнинг моляр ҳажмлари,  $\text{м}^3/\text{моль}$ ;  $M_A$  ва  $M_B$  — газларнинг молекуляр массалари.

8.1- жадвалда айрим газларнинг ҳаводаги диффузия коэффициентларининг қийматлари келтирилган ( $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $P = 9,81 \cdot 10^4 \text{Н}/\text{м}^2$ ).

8.1- жадвал. Айрим газларнинг диффузия коэффициенти

Газлар	Диффузия коэффициенти $D \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$	Газлар	Диффузия коэффициенти $D \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$
Қислород	17,8	Аммиак	17,0
Азот	13,2	Сув буғи	21,9
Водород	61,1	Метил спирт	13,3
Углерод (II)- оксид	13,8	Этил спирт	10,2
Олтингугурт (II)- оксид	10,3	Олтингугурт ангидрид	9,4

Суюқликда  $20^\circ \text{C}$  температурада эриган газнинг диффузия коэффициенти ( $D, \text{м}^2/\text{с}$ ) тахминий ҳисоблашлар учун қуйидаги тенгламадан топилиши мумкин:

$$D = \frac{10^{-6}}{AB \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}; \quad (8.16)$$

бу ерда  $\mu$  — суюқликнинг қовушоқлиги,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ;  $V_A$  ва  $V_B$  — газ ва суюқликнинг моляр ҳажмлари,  $\text{м}^3/\text{моль}$ ;  $M_A$  ва  $M_B$  — газ ва суюқликнинг молекуляр массалари;  $A$  — эриган модда учун тузатиш коэффициенти;  $B$  — эритувчи модда учун тузатиш коэффициенти.

Айрим моддаларнинг  $20^\circ \text{C}$  температурада сувдаги диффузия коэффициентларининг қийматлари 8.2- жадвалда берилган.

8.2- жадвал. Айрим моддаларнинг сувдаги диффузия коэффициентлари

Модда	Диффузия коэффициенти, $D \cdot 10^9 \text{ м}^2/\text{с}$	Модда	Диффузия коэффициенти, $D \cdot 10^9 \text{ м}^2/\text{с}$
Азот	1,64	Сирка кислота	0,88
Аммиак	1,76	Хлор	1,22
Водород	5,13	Водород хлорид	2,64
Глюкоза	0,60	Натрий хлорид	1,35
Углерод (II)- оксид	1,77	Кислород	1,80
Сахароза	0,45		

Пахта ёғининг  $20^\circ \text{C}$  да экстракция бензинидаги диффузия коэффициенти  $D = 0,71 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ ; газнинг бошқа бирор газ таркибида тарқалиш диффузия коэффициенти тахминан  $0,1-1,0 \text{ см}^2/\text{с}$ ; газнинг суюқликка ўтиш диффузия коэффициенти эса  $10^4-10^6$  марта кам бўлиб, тахминан  $1 \text{ см}^2/\text{суткага}$  тенг. Демак, молекуляр диффузия жуда секинлик билан борадиган (айниқса суюқликларда) процессдир.

**Турбулент диффузия.** Диффузиянинг бу тури макрокинетика тushunchasi билан боғлиқ бўлиб, модда муҳитнинг моляр (яъни катта миқдордаги молекулалардан ташкил топган) қисмларининг ҳаракати ёрдамида алмашинади. Турбулент диффузиянинг тезлиги оқимнинг турбулентлик даражасига, процесснинг гидродинамик ҳолатига боғлиқ. Турбулент диффузия уярма диффузия деб ҳам юритилади. Суюқ-

ликнинг уюрма ҳаракати таъсирида оқимда модданинг қўшимча ўтказилиши юз беради.

Бирор фаза миқёсида турбулент диффузия орқали тарқалган модданинг массаси  $dM_T$  юза  $dF$  га, вақт  $dt$  га ва концентрация градиенти  $dc/dn$  га тўғри пропорционалдир ва қуйидаги тенглама билан топилади:

$$dM_T = -D_T dF \cdot dt \frac{dc}{dn} \quad (8.17)$$

бу ерда  $D_T$  — турбулент диффузия ёки уюрма диффузия коэффициентини.

Турбулент диффузия йўли билан юза бирлигидан вақт бирлиги ичида ўтган модданинг солиштирма оқими ёки турбулент диффузиянинг тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$q_T = \frac{M_T}{F \cdot \tau} = -D_T \frac{dc}{dn} \quad (8.18)$$

Турбулент диффузия коэффициентини вақт бирлиги ичида концентрация градиенти бирга тенг бўлганда юза бирлигидан турбулент диффузия йўли билан ўтган модданинг массасини билдиради. Турбулент диффузия коэффициентини молекуляр диффузия коэффициентини каби  $m^2/s$  ўлчов бирлигига эга.  $D_T$  нинг  $D$  дан фарқи шундаки, турбулент диффузия коэффициентини ўзгарувчан физик катталиқ бўлиб, унинг қиймати процесснинг гидродинамик шарт-шароитларига боғлиқ. Бу ерда гидродинамик шарт-шароит оқимнинг тезлиги ва турбулентлик масштабига қараб аниқланади.

Уюрма ҳаракатнинг даражасининг турбулентлик даражасининг кучайишига, оқимда аралаштириш интенсивлигининг кўпайишига олиб келади. Натижада кўндаланг кесим бўйича модда алмашиниш ва оқимнинг ўқи йўналиши бўйича аралаштириш ҳолати вужудга келади. Бундай пайтда оқимнинг ўқи йўналишида концентрация градиенти камаяди ва модда алмашиниш процесси сусаяди. Турбулент диффузия коэффициентини  $D_T$  нинг қиймати ортган сари аралаштириш эффектнинг таъсири ҳам ортади.

Шундай қилиб,  $D_T$  нинг қиймати диффузия процессларидаги аралаштириш интенсивлигини белгилайди.

Турбулентлик даражасининг ортиши доим ҳам модда алмашинувини тезлаштиравермайди. Шу сабабли аппаратлардаги модда алмашиниш процессини шундай ташкил қилиш керакки, бунда турбулентлик ортиши билан оқимнинг ўқи бўйича юз берадиган аралаштириш эффекти минимал қийматга эга бўлсин. Амалда бундай процесс майда насадкаларни ишлатиш, махсус конструкцияли тарелкали аппаратларда газ ва суюқликнинг бир томонга йўналган оқимини ташкил этиш ва оқимчали аппаратлардан фойдаланиш орқали амалга оширилмоқда.

Молекуляр ва турбулент диффузиялар ёрдамида ўтказилган модданинг умумий солиштирма оқими қуйидагича топилади.

$$q = q_m + q_T = -(D_m + D_T) \frac{dc}{dn} \quad (8.19)$$

Модда алмашиниш процессларини амалий ҳисоблашларда ўтказилган модданинг умумий солиштирма оқимини аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади:

$$q = K \Delta c, \quad (8.20)$$

бу ерда  $K$  — модда алмашиниш коэффициентининг ўлчов бирлиги концентрацияларнинг қабул қилинган ўлчов бирликларига боғлиқ;  $\Delta c$  — концентрациялар фарқи ёки процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи.

(8.19) ва (8.20) тенгламаларни ўзаро солиштириш натижасида қуйидаги ифодаларга эришамиз:

$$q = (D_m + D_t) \frac{\Delta c}{dn}, \quad (8.21)$$

$$K \approx \frac{D_m + D_t}{dn}. \quad (8.22)$$

Охириги ифодадан кўриниб турибдики, модда алмашиниш коэффициенти  $K$  молекуляр ва турбулент диффузиялар ёрдамида моддани ўтказиш ҳолатларини ҳисобга олувчи муҳим коэффициентдир.

#### 8.4- §. Модда бериш процесси

Фазаларни ажратувчи юзадан моддани суюқ ёки газсимон фазанинг марказига берилиши ёки аксинча фазанинг марказидан ажратувчи юзага модданинг берилиши конвектив диффузия ёки модда бериш процесси деб аталади.

Ҳаракатланувчи суюқлик ёки газда модда молекуляр ва турбулент диффузиялар ёрдамида тарқалади, бу процессларнинг йиғиндиси конвектив диффузия деб аталади.

Конвектив диффузия концентрация градиенти, муҳитнинг тезлиги ва физик хоссаларига боғлиқ. Конвектив диффузия икки хил бўлади: табиий (ёки эркин) ва мажбурий. Концентрациялар ёки температуралар фарқи таъсирида суюқлик муҳитининг ҳар хил қисмларида зичликлар фарқи пайдо бўлади; бу зичликлар фарқи таъсирида модданинг тарқалиши эркин конвекция дейилади. Ташқи кучлар (насос, аранлаштиргич ва бошқалар) таъсирида модданинг суюқ ёки газ муҳитида тарқалиши мажбурий конвекция деб аталади.

Агар тарқалувчи модда  $\Phi_y$  фазадан  $\Phi_x$  фазага ўтади деб олинса, ҳар бир фазада вақт бирлиги ичида тарқалган модданинг миқдори  $M$  модда бериш процессининг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$\Phi_y \text{ фазада } M = \beta_y \cdot F \cdot (y - y_4), \quad (8.23)$$

$$\Phi_x \text{ фазада } M = \beta_x F (x_4 - x), \quad (8.24)$$

бу ерда  $(y - y_4)$  — модда беришнинг  $\Phi_y$  фазадаги ҳаракатлантирувчи кучи;  $(x_4 - x)$  — модда беришнинг  $\Phi_x$  фазадаги ҳаракатлантирувчи кучи;  $y$  ва  $x$  — ҳар бир фазанинг марказидаги ўртача концентрациялар ёки иш концентрациялар;  $y_4$  ва  $x_4$  — тегишли фазалар чегарасидаги концентрациялар;  $F$  — фазаларни ажратувчи юза;  $\beta_y$ ,  $\beta_x$  —  $\Phi_y$  ва  $\Phi_x$  фазалардаги модда бериш коэффициентлари.

Модда бериш коэффициентлари ( $\beta_y$  ва  $\beta_x$ ) вақт бирлиги ичида процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи бирга тенг бўлганда юза бирлигидан фазаларни ажратувчи юзадан фазанинг марказига (ёки тескари йўналда — фазанинг марказидан ажратувчи юзага томон) ўтган модданинг массасини билдиради.

Модда бериш коэффициентини физик ўзгармас катталиқ эмас, у фазанинг физик хоссаларига (зичлик, қовушоқлик ва бошқалар), муҳитнинг гидродинамик режимларига (ламинар ёки турбулент оқим), модда алмашилиш аппаратининг конструктив тузилишига ва унинг ўлчамларига боғлиқ бўлган кинетик катталиқдир.

Шундай қилиб, модда бериш коэффициентини  $\beta$  нинг бир қатор ўзгарувчан факторларга боғлиқлиги сабабли, унинг қийматини ҳисоблаш ёки тажриба йўли билан топиш анча мураккабдир.

Тарқалувчи компонент ва ҳаракатлантирувчи куч учун қабул қилинган ўлчов бирликларига кўра  $\beta$  нинг ўлчов бирлиги турлича бўлади (8.3-жадвал). Агар модданинг массаси килограмм ҳисобида берилса, у ҳолда модда бериш коэффициентини умумий ҳолда қуйидаги ўлчов бирлигига эга бўлади:

$$[\beta] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot (\text{ҳаракат, куч бирлиги})} \right].$$

8.3-жадвал. Модда бериш коэффициентининг ўлчов бирликлари

Ҳаракатлантирувчи кучнинг фойдаланиши	Модда бериш коэффициентининг ўлчов бирлиги
Ҳажмий концентрациялар фарқи, кг/м <sup>3</sup>	$\beta_c$ [м/с]
Нисбий концентрациялар фарқи, кг/кг	$\beta_G$ $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right]$
Моль улушлари фарқи	$\beta_m$ $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{моль улушлари}} \right]$
Газ ёки буғ фазаси учун парциал босимларнинг фарқи, Н/м <sup>2</sup>	$\beta_p$ $\left[ \frac{\text{с}}{\text{м}} \right]$

### 8.5-§. Конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси

Конвектив диффузия ёки модда бериш процессининг дифференциал тенгламасини ҳосил қилиш учун берилган фаза оқимидан томонлари  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  бўлган элементар параллелепипед ажратамиз ва турғун бўлмаган модда алмашилиш процессини кўриб чиқамиз. Параллелепипед учун тарқалувчи компонент бўйича моддий баланс тенгламаси асосида Фикнинг биринчи қонунидан фойдаланиб ва диффузия коэффициентини ўзгармас қийматга эга деб, конвектив диффузиянинг қуйидаги дифференциал тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (8.25)$$

ёки

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \omega \text{grad} = D \Delta^2 c, \quad (8.26)$$

бу ерда  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ва  $\omega_z$  — тегишлича координаталар бўйича чизикли тезликлар.

(8.25) тенгламанинг чап томони нотурғун  $\frac{\partial c}{\partial t}$  ва турғун  $\omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z}$  қисмлардан ташкил топган.

Тенгламанинг ўнг томони эса текширилаётган нуқта яқинидаги концентрациянинг фазодаги тарқалишини ифодалайди.

(8.25) ифода конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламасидир. Бу тенглама нотурғун модда алмашиниш процессининг ҳаракатдаги муҳитда берилган компонент концентрациясининг тарқалиш қонунини ифодалайди.

Турғун модда алмашиниш процесслари учун (8.25) тенглама қуйидаги кўринишга эга:

$$\omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (8.27)$$

Қўзғалмас муҳитдаги модда алмашиниш процессида  $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0$  бўлгани учун (8.25) тенглама молекуляр диффузиянинг дифференциал тенгламаси кўринишига келади:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (8.28)$$

(8.28) тенглама Фикнинг иккинчи қонуни деб юритилади. Тенгламанинг чап томони фазода олинган алоҳида нуқтадаги концентрациянинг вақт бўйича ўзгариш тезлигини белгилайди.

Конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламасида концентрациядан ташқари оқимнинг тезлиги ҳам ўзгарувчан катталиқдир. Шу сабабли бу тенглама гидродинамиканинг дифференциал ва узлуксиз тенгламалари билан бирга ечилиши керак. Аммо тенгламалар системасининг аналитик ечими йўқ. Амалда эса ҳисоблаш ишлари учун конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси ўхшашлик назарияси асосида қайта ишлаб чиқилган ва тегишли критериялар тенгламалар олинган.

## 8.6- §. Модда ўтказиш процесси

Модданинг бир фазадан иккинчи фазага ажратувчи юза орқали ўтиш процесси *модда ўтказиш* процесси деб аталади. Модда ўтказиш мураккаб процесс бўлиб, фазаларни ажратувчи юзанинг икки томонида юз бераётган модда бериш процессларидан ташкил топган бўлади. 8.3- расмда суюқлик ва газ (буғ) ёки икки суюқлик ўртасидаги модда ўтказиш процессини тушунтирувчи схема кўрсатилган. Фазалар бир-бирига нисбатан маълум тезликда, яъни турбулент режимда ҳаракат қилади ва қўзғалувчан ажратувчи юзага эга.

Тарқалувчи модда (масалан, аммиак) газ фазасидан ( $\Phi_y$ ) суюқлик фазасига ( $\Phi_x$ ) ўтади. Масалан, газ фазаси сифатида аммиакнинг ҳаво билан аралашмасини, суюқ фаза сифатида эса сувни оламинг. Газ фазасида тарқалувчи модда концентрацияси мувозанат концентрациясидан юқори.  $\Phi_y$  фазанинг марказидан ажратувчи юзага ва ажратувчи

юзадан  $\Phi_x$  фазанинг марказига аммиак модда бериш процесси орқали ўтади. Модда ўтказиш процессига ажратувчи юза ҳам қаршилиқ кўрсатади.

Модда ўтказиш процесси ҳар бир фазадаги турбулент оқимнинг структурасига боғлиқ. Гидродинамикадан маълумки, турбулент оқимда қаттиқ юза устида чегара қатлам ҳосил бўлади. Ҳар бир фазада иккита зона бор: фазанинг ядроси (ёки фазанинг асосий массаси) ва фазанинг чегарасидаги юпқа чегара қатлам. Фазанинг ядросида модда асосан турбулент пульсациялар ёрдамида тарқалади ва тарқалувчи модданинг концентрацияси ( $C_{oy}$  ва  $C_{ox}$ ) амалий жиҳатдан ўзгармас қийматга эга бўлади. Чегара қатламда турбулент режим аста-секин сўниб боради, натижада ажратувчи юзага яқинлашган сари концентрация ўзгариб боради. Ажратувчи юзанинг ўзида модданинг тарқалиши жуда секинлашади, чунки модданинг ўтиши фақат молекуляр диффузиянинг тезлигига боғлиқ бўлиб қолади. Фазалар ўртасидаги ишқаланиш ва суюқ фаза чегарасидаги сирт таранглик кучлари таъсирида ажратувчи юза яқинида концентрация кескин, тахминан тўғри чизиқ бўйича ўзгаради.

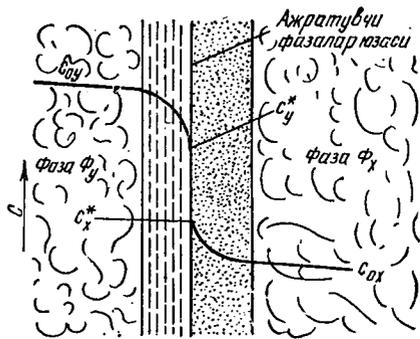
Шундай қилиб, турбулент оқимда фазанинг марказидан фазаларни ажратувчи чегарагача (ёки тескари йўналишда) модданинг берилиши параллел равишда молекуляр ва турбулент диффузиялар ёрдамида амалга оширилади, бироқ фазанинг асосий массасида модданинг берилиш процесси диффузия йўли билан боради. Чегара қатламда эса модданинг берилиши молекуляр диффузиянинг тезлигига боғлиқ. Демак, модданинг бир фазадан иккинчи фазага ўтиш процессини тезлатиш учун чегара қатлам қалинлигини камайтириш ва оқимнинг турбулентлик даражасини (маълум чегарагача) кўпайтириш лозим. Оқимнинг турбулентлик даражасини кўпайтириш учун фазанинг тезлигини ошириш (маълум чегарагача) зарур бўлса, чегара қатлам қалинлигини камайтириш учун эса ташқи кучлардан (масалан, техникавий усулда аралаштириш, ультратовуш, пульсация ёки вибрация билан тебраниш, электромагнит майдон ва ҳоказодан) фойдаланиш керак.

Бир фазадан иккинчи фазага вақт бирлиги ичида ўтган модданинг массаси  $M$  ни аниқлаш учун модда ўтказишнинг асосий тенгламасидан фойдаланилади:

$$M = K_y \cdot F \cdot (y - y^*), \quad (8.29)$$

$$M = K_x \cdot F \cdot (x^* - x), \quad (8.30)$$

Бу ерда  $y^*$ ,  $x^*$  — берилган фазадаги мувозанат концентрациялари;  $y$ ,  $x$  — фазалардаги иш концентрациялар;  $K_y$ ,  $K_x$  — газ ёки суюқлик концентрациялари орқали фойдаланган модда ўтказиш коэффициентлари;  $F$  — фазаларнинг контакт юзаси.



8.3-расм. Модда ўтказиш процессида фазаларда концентрациянинг тақсимланиши.

Мувозанат концентрацияларни аппаратнинг ишлаш пайтида ўлчаб бўлмади, уларнинг қийматлари справочниклардан олинади.

Бу тенгламаларда процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи сифатида иш ва мувозанат концентрациялар (ёки аксинча) орасидаги фарқдан фойдаланилади. Концентрацияларнинг бу фарқи системанинг мувозанат ҳолатдан қанча узоқлигини билдиради.

Фазалар ажратувчи юза бўйлаб ҳаракат қилганда уларнинг концентрациялари ўзгаради, натижада процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи ҳам ўзгаради. Шу сабабли модда ўтказишнинг асосий тенгламасига ўртача ҳаракатлантирувчи куч тушунчаси ( $\Delta y_y$  ёки  $\Delta x_x$ ) киритилади:

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta y_y, \quad (8.31)$$

$$M = K_x \cdot F \cdot \Delta x_x. \quad (8.32)$$

Модда ўтказиш коэффициентлари ( $K_y$  ёки  $K_x$ ) вақт бирлиги ичида фазаларнинг контакт юзаси бирлигидан, процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи бирга тенг бўлганда, бир фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг массасини билдиради.

Физик маъноси бўйича модда бериш  $\beta$  ва модда ўтказиш  $K$  коэффициентлари ўртасида фарқ бор, бироқ иккала коэффициент ҳам бир хил ўлчов бирликларига эга:

$$m/c, \text{ кг}/(m^2 \cdot c), \text{ кг}/[m^2 \cdot c \text{ (моль улушлар)}], c/m.$$

(8.31) ва (8.32) тенгламалар ёрдамида фазаларнинг контакт юзаси  $F$  ва  $y$  орқали аппаратнинг асосий ўлчамлари аниқланади.  $M$  нинг қиймати моддий баланс тенгламасидан топилади ёки ҳисоблаб чиқарилади. Модда ўтказиш коэффициенти ва ўртача ҳаракатлантирувчи куч қийматлари тегишли тенгламалар ёрдамида аниқланилади.

Модда ўтказиш ва модда бериш коэффициентлари ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш учун фазаларни ажратувчи юзада мувозанат ҳолат ўрнатилган деб фараз қилинади. Бу ҳол фазаларни ажратувчи чегарадан модданинг ўтишига қаршилик йўқ деган маънони билдиради. Натижада фазавий қаршиликларнинг аддитивлик қондаси келиб чиқади. Бу қондага асосан  $K$  ва  $\beta$  ўртасида қуйидаги боғлиқликлар бор:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}, \quad (8.33)$$

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y \cdot m}. \quad (8.34)$$

бу ерда  $m$  — мувозанат чизиғи қиялиги бурчагининг тангенсин.

Бу тенгламаларнинг чап томонлари модданинг бир фазадан иккинчи фазага ўтиши учун умумий қаршиликни, ўнг томонлари эса фазалардаги модда бериш процесслари қаршиликларининг йиғиндисини билдиради. Шу сабабли (8.33) ва (8.34) ифодалар фазавий диффузия қаршиликларининг аддитивлик тенгламалари деб юритилади.

Ҳар бир фаза диффузия қаршилигининг улуши гидродинамик шартитга, муҳитдаги диффузия коэффициентларининг қийматига ҳамда

мувозанат шартларига боғлиқ. Айрим шароитларда бирор фазанинг диффузия қаршилиги иккинчисига нисбатан анча кам бўлиши мумкин. Масалан,  $\Phi_x$  фазанинг қаршилиги анча кам бўлса, бу ҳолда модда бериш коэффициенти  $\beta_x$  нинг қиймати анча катта бўлади, ўз навбатида фазанинг диффузия қаршилиги  $1/\beta_x$  жуда кичик бўлади. (8.33) тенгламадаги  $m/\beta_x$  ( $m$  нинг берилган қиймати бўйича) нисбатнинг қиймати жуда кичик.  $\Phi_x$  фазадаги диффузия қаршилигини ҳисобга олмасдан қуйидаги ифодага эришамиз:  $K_y \approx \beta_y$ . Бу шароитда модда ўтказиш процессининг тезлиги  $\Phi_y$  фазанинг қаршилиги орқали аниқланилади.

Аксинча, масалан,  $\Phi_y$  фазанинг қаршилиги кам бўлса  $\beta_y$  нинг қиймати жуда катта,  $1/\beta_y$   $m$  нинг қиймати эса анча кичик бўлади. Бунда (8.34) тенгламадаги модда ўтказиш коэффициенти  $K_x$  модда бериш коэффициенти  $\beta_x$  га боғлиқ бўлиб қолади. Демак,  $K_x \approx \beta_x$ . Бу иккинчи мисолда модда ўтказиш процессининг тезлиги  $\Phi_x$  фазанинг қаршилиги орқали топилади.

Кўпчилик шароитларда фазаларнинг контакт юзаси  $F$  ни аниқлаш қийин. Шу сабабли модда бериш ва модда ўтказиш коэффициентларини аппаратнинг иш ҳажми  $V$  га нисбатан олиш қулай ҳисобланади. Аппаратнинг иш ҳажми билан фазаларнинг контакт юзаси ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$V = \frac{F}{a};$$

бу ерда  $a$  — фазаларнинг солиштирма контакт юзаси, бу аппаратнинг иш ҳажми бирлигига нисбатан олинган юза,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Модда бериш ва модда ўтказиш тенгламасидаги  $F$  нинг ўрнига  $aV$  ни қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$M = \beta_y \cdot aV (y - y_u) = \beta_{yV} \cdot V \cdot (y - y_u), \quad (8.35)$$

$$M = \beta_x \cdot aV (x_u - x) = \beta_{xV} \cdot V \cdot (x_u - x), \quad (8.36)$$

$$M = K_y \cdot aV (y - y^*) = K_{yV} \cdot V (y - y^*), \quad (8.37)$$

$$M = K_x \cdot aV (x^* - x) = K_{xV} \cdot V (x^* - x), \quad (8.38)$$

бу ерда  $\beta_{yV} = \beta_y \cdot a$  ва  $\beta_{xV} = \beta_x \cdot a$  — модда беришнинг ҳажмий коэффициентлари;  $K_{yV} = K_y \cdot a$  ва  $K_{xV} = K_x \cdot a$  — модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициентлари.

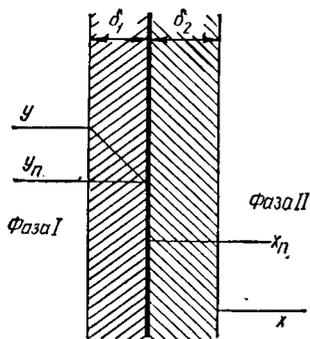
Агар вақт бирлиги ичида тарқалаётган модданинг массаси  $\text{кг}/\text{с}$ , процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи эса  $\text{кг}/\text{м}^3$  ҳисобида ўлчанса, у ҳолда модда бериш ва модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициентлари қуйидагича ифодаланади:

$$\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] = [\text{с}^{-1}].$$

$\beta_{yV}$  ва  $\beta_{xV}$  нинг қийматлари тегишли критериял тенгламалар орқали топилади. Охириги тенгламалар (8.35) — (8.38) ёрдамида аппаратнинг иш ҳажми  $V$  топилади, у орқали модда алмашилиш аппаратининг асосий ўлчамларини аниқлаш мумкин.

## 8. 7-§. Модда алмашинишнинг назарий моделлари

Модда ўтказиш назариясининг асосий масаласи — фазалар ўртасидаги юзада қандай процесс боришини аниқлашдан иборат. Фазаларни ажратувчи юза орқали модда қандай йўл (молекуляр ёки турбулент диффузия) билан ўтишини аниқлаш ва уларнинг ўзаро таъсирини билиш муҳимдир. Икки фазали системаларда бир пайтнинг ўзида борадиган процесслар анча мураккаб бўлгани сабабли ҳозиргача фазалар ўртасида қўзғалувчан юза фазалар чегарасида борадиган модда ўтказишнинг назарий масалалари аниқ ишлаб чиқилмаган. Шу сабабли модда ўтказиш процессининг содда-лаштирилган бир неча назарий моделлари таклиф этилган.



8.4-расм. Модда ўтказиш апаратынинг икки плёнкали модели.

фазанинг марказида эса концентрация ўзгармас бўлиб, ўртача концентрацияларга тенг бўлади.

Икки плёнкали моделни ишлаб чиқишда қуйидаги принципларга амал қилинган:

1. Икки фазани (газ-суyoқлик, буғ-суyoқлик, суyoқлик-суyoқлик) ажратувчи чегарада ҳар бир фаза томонидан чегаравий плёнкалар (газ-буғ ёки суyoқлик плёнкалари) ҳосил бўлади. Бу плёнкалар модданинг бир фазадан иккинчисига ўтишида асосий қаршилиқни ҳосил қилади.

2. Икки фазани, яъни плёнкаларни ажратувчи чегарада қўзғалувчи мувозанат вужудга келади. Бунда модда алмашинишнинг турғун шароити ҳосил бўлади.

3. Ҳар бир фаза бўйлаб тарқалаётган модданинг диффузия оқими асосий масса ва чегара яқинидаги концентрациялар фарқига ёки компонентнинг парциал босимлари фарқига пропорционалдир.

Шундай қилиб, чегаравий плёнкаларда турбулент пульсациялар қатнашмайди ва концентрацияларнинг ўзгариши тўғри чизиқ бўйича боради деб олинади. Икки плёнкали моделга асосан, ҳар бир фаза бўйича вақт бирлиги ичида тарқалган модда миқдори қуйидаги тенглама орқали топилиши мумкин:

$$M = \frac{D_1}{\delta_1} (y - y_n) F = \frac{D_2}{\delta_2} (x_n - x) \cdot F, \quad (8.39)$$

бу ерда  $D_1$  ва  $D_2$  — ўзаро контактда бўлган фазаларда тарқалаётган модданинг молекуляр диффузия коэффициентлари;  $\delta_1$  ва  $\delta_2$  — плёнкаларнинг қалинликлари;  $y$  ва  $x$  — фазалар марказларида тарқалаётган модданинг концентрациялари;  $y_n$  ва  $x_n$  — тарқалаётган модданинг фазаларни ажратувчи юзадаги концентрациялари;  $F$  — фазаларни ажратувчи юза.

(8.39) тенгламадаги  $D_1/\delta_1$  ёки  $D_2/\delta_2$  нисбатлар модда беришни ифодаловчи коэффициентлардир.

Бундай моделда фазаларни ажратувчи чегара яқинидаги ҳақиқий гидродинамик шароитлар жуда соддалаштириб олинган. Молекуляр ва турбулент диффузияларнинг ажратувчи чегарасидаги турбулент пульсацияларнинг сўниши ва системанинг физик ҳамда геометрик катталиклари ҳисобга олинмаган. Шу сабабли кўпчилик тажрибаларда  $M \propto D$  боғлиқлик исботланмаган.

Бундан ташқари плёнканинг қалинлигини ўлчаб ёки ҳисоблаб топишнинг имкони йўқ.

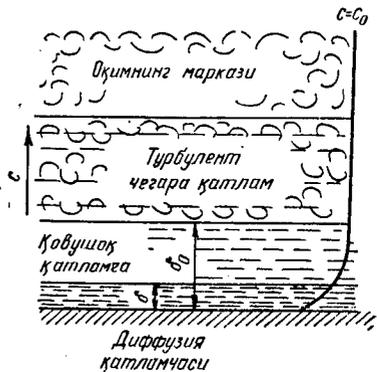
**Диффузия чегара қатламли модели.**

Фазаларни ажратувчи чегарадаги шароитлар Ландау ва Левич томонидан ишлаб чиқилган диффузия чегара қатламли моделда нисбатан аниқ ҳисобга олинган. 8.5-расмда диффузия чегара қатламли моделга асосан суюқлик ёки газ оқимининг структураси ва муҳитидаги концентрациянинг ўзгариши кўрсатилган. Бу схема қаттиқ жисм — суюқлик (газ) системаси учун берилган.

Бу моделга асосан, турбулент режимда ҳаракатланаётган суюқлик ёки газнинг оқими тўрт қатламга бўлинади: оқим маркази, турбулент чегара қатлам, қовушоқ қатламча, диффузия қатламчаси.

Фаза оқими марказида концентрация ўзгармас бўлиб ( $c_0 = \text{const}$ ), унинг қиймати турбулент чегара қатламида аста-секин камаяди. Турбулент чегара қатламининг бошланишида модда асосан турбулент пульсациялар ёрдамида тарқалади. Қовушоқ қатламчага яқинлашган сари турбулент пульсацияларнинг масштаби камай боради. Қовушоқ қатламчада концентрация сезиларли даражада камаяди. Бу ерда ишқаланиш кучлари таъсирида ҳаракат ламинар режимига яқинлашади, натижада молекуляр диффузия йўли билан тарқаладиган модданинг улуши ортади. Бироқ қовушоқ қатламнинг катта қисмида турбулент диффузия билан тарқалган модданинг миқдори молекуляр диффузия ёрдамида тарқалган модданинг миқдорига нисбатан кўп. Фақат юққа диффузия қатламчасида модда молекуляр диффузия билан ўтади.

Диффузия қатламчасида концентрация тез ўзгаради ва бу ўзгариш тахминан тўғри чизиқ бўйича боради. Қовушоқ қатламча қалинлиги  $\delta_0$  ва диффузия қатламчаси қалинлиги  $\delta$  ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор:



8.5-расм. Оқимнинг структураси ва муҳитидаги концентрациянинг ўзгариши.

$$\delta = \left(\frac{D}{v}\right)^{1/m} \cdot \delta_0 \quad (8.40)$$

бу ерда  $v$  — муҳитнинг кинематик қовушоқлиги;  $m$  — даража кўрсаткич, у фазаларни ажратувчи чегарадаги турбулент диффузия билан модда тарқалишининг сўниш қонунини белгилайди ва тажриба йўли билан топилади.

Диффузия қатламчаси қалинлиги  $\delta$  нинг қийматини (8.39) ифодага қўйиб, қуйидаги боғлиқликни оламиз:

$$M = \frac{D^{\frac{m-1}{m}}}{v^{\frac{1}{m}} \cdot \delta_0} (y - y_n) \cdot F. \quad (8.41)$$

Тажриба натижаларига кўра, қаттиқ жисм — суюқлик системаси учун  $m = 3$ , суюқлик-газ (буғ) ва суюқлик-суюқлик системалари учун эса  $m = 2$  ва (8.41) тенгламага асосан  $M \propto D^{2/3}$  ҳамда  $M \propto D^{1/2}$ .

Шундай қилиб, турбулентлик секин ва узлуксиз сўниб боради ва қаттиқ юзанинг устига етганида пульсация тезлиги нолга тенг бўлиб қолади, бунда  $D_T = 0$ . Ўзгарувчан ажратувчи юзага эга бўлган суюқлик-газ (буғ) ва суюқлик-суюқлик системаларидаги сирт таранглик кучлари, худди қаттиқ юзадаги ишқаланиш кучлари каби таъсир қилади. Бироқ ҳозиргача турбулент пульсацияларнинг фаза чегарасига яқинлашгандаги сўниш қонунияти аниқланмаган ва шу сабабли  $m$  нинг қийматини назарий йўл билан топиш мумкин эмас.

Икки плёнкали ва диффузия чегара қатламли моделлардан ташқари модда алмашинишнинг яна бир қатор назарий моделлари (Данквертц ва Кишеневскийнинг контакт юзанинг янгиланиш моделлари, адсорбция ҳодисасини ҳисобга олувчи модель, фазалар ўртасидаги турбулентлик асосида тузилган модель) таклиф этилган. Турбулент ҳаракат жуда мураккаб бўлиб, у ҳам яхши ўрганилмаган. Демак, ҳозирги кунгача мукамал текширилган ва аниқ натижалар берадиган модда ўтказишнинг модели ишлаб чиқилмаган. Шу сабабли бир фазадан контакт юзага ва бу юзадан иккинчи фазага ўтган модданинг тезлигини аниқлаш учун тажриба натижалари асосида олинган (8.23) ва (8.24) тенгламалардан фойдаланилади.

### 8.8-§. Модда алмашиниш процессларининг ўхшашлиги

Модда бериш коэффициенти  $\beta$  нинг қийматини аниқ ҳисоблаш учун ҳаракатланувчи муҳитдаги конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси (8.25) ни гидродинамиканинг Навье-Стокс ва оқимнинг узлуксизлиги тенгламалари билан биргаликда тегишлича бошланғич ва чегара шартлари асосида интеграллаш лозим. Бироқ бу тенгламалар системаси амалий жиҳатдан умумий ечимга эга эмас. Шу сабабли асосий тенгламалар системасини ечмасдан туриб ўхшашлик назариясининг методлари ёрдамида модда ўтказиш процессини ифодаловчи ўзгарувчан катталиклари ўртасидаги боғлиқликни ҳосил қилиш мумкин. Бундай боғлиқликни ифодаловчи тенгламалар модда беришнинг умумий ёки критериял тенгламалари деб аталади.

Ўхшашлик назарияси усуллари ёрдамида бир нечта диффузион ўхшашлик критерийлари ҳосил қилинган. Булар жумласига Нусельт ( $Nu'$ ), Фурье ( $Fo'$ ), Пекле ( $Pe'$ ), Прандтль ( $Pr'$ ) диффузион ўхшашлик критерийлари қиради:

Нусельт диффузия критерийси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot l}{D}, \quad (8.42)$$

бу ерда  $\beta$  — модда бериш коэффициенти;  $l$  — системанинг аниқловчи ўлчами;  $D$  — молекуляр диффузия коэффициенти.

Ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида  $Nu'$  критерийси бир хил қийматга эга бўлади. Бу ўхшашлик критерийси фазалар чегарасидаги модда ўтказиш интенсивлигини ифодалайди.

Фурье диффузия критерийси қуйидаги катталиклар орқали белгиланади:

$$Fo' = \frac{\tau D}{l^2}, \quad (8.43)$$

бу ерда  $\tau$  — процесснинг давомлиги.

Фурье критерийси нотургун ҳолдаги модда бериш процессларини ифодалайди. Нотургун ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида Фурье критерийси бир хил қийматга эга.

Пекле диффузия критерийси қуйидаги кўринишга эга:

$$Pe' = \frac{\omega \cdot l}{D}, \quad (8.44)$$

бу ерда  $\omega$  — оқимнинг тезлиги.

Пекле критерийси ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида конвектив ва молекуляр диффузиялар орқали ўтаётган модда массаларининг нисбати даражасини ифодалайди.

Кўп ҳолларда  $Pe'$  критерийси ўрнига Прандтль диффузия критерийси ишлатилади:

$$Pr' = \frac{Pe'}{Re'} = \frac{\frac{\omega l}{D}}{\frac{\omega l}{\nu}} = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho D}. \quad (8.45)$$

Прандтль критерийси ўхшаш оқимларнинг ўхшаш нуқталарида суюқлик (газ)нинг физик хоссалари нисбатининг ўзгармаслигини ифодалайди. Газлар учун  $Pr'$  нинг қиймати бирга яқин, суюқликлар учун эса:

$$Pr' \approx 10^3.$$

Модда бериш процессларининг ўхшашлигини ҳосил қилиш учун гидродинамик ўхшашлик шартлари ҳам бажарилиши керак. Ўхшаш оқимларнинг ўхшаш нуқталарида гидродинамик ўхшашлик критерийлари ҳам бир хил қийматларга эга бўлиши шарт. Гидродинамик ўх-

шашлик критерийлари қаторига Рейнольдс ( $Re$ ), Фруд ( $Fr$ ) ва Галлилей ( $Ga$ ) критерийлари киради.

Модда алмашилиш процесслари ўхшаш бўлиши учун геометрик ўхшашлик шартлари ҳам ҳисобга олиниши керак. Геометрик ўхшашлик симплекслар орқали ифода қилинади. Симплекслар (масалан  $\Gamma_1, \Gamma_2$ ) системанинг геометрик ўлчамларининг ( $l_1, l_2$ ) бирор белгиланган ўлчамга (масалан,  $l_0$ ) нисбатлари билан аниқланади.

Нуселът диффузия критерийси асосий аниқланиши лозим бўлган критерий бўлиб, унинг бошқа критерийлар ва симплекслар билан боғлиқлиги қуйидаги умумий кўринишга эга:

$$Nu' = f (Fo', Pe', Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2) \quad (8.46)$$

ёки

$$Nu' = f (Fo', Pr', Re, Ga, \Gamma_1, \Gamma_2). \quad (8.47)$$

Тургун модда бериш процесслари учун Фурье критерийсини тушириб қолдирса бўлади, бунда юқоридаги ифодалар қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu = f (Pe', Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2) \quad (8.48)$$

ёки

$$Nu' = f (Pr', Re, Ga, \Gamma_1, \Gamma_2). \quad (8.49)$$

Агар модда бериш процессига оғирлик кучларининг таъсири жуда кам бўлса, бунда (8.49) ифодадан Галлилей критерийси ҳам чиқариб ташланади:

$$Nu' = f (Pr', Re, \Gamma_1, \Gamma_2). \quad (8.50)$$

(8.46) — (8.50) ифодалар модда бериш процессининг умумий ёки критериал тенгламалари деб аталади. Бу критериал тенгламалар даража кўрсаткичлари билан ҳам ифодаланиши мумкин:

$$Nu = A \left( \frac{\mu}{\rho D} \right)^m \left( \frac{\omega l \rho}{\mu} \right)^n \left( \frac{l_1}{l_0} \right)^p \left( \frac{l_2}{l_0} \right)^q. \quad (8.51)$$

Охирги тенгламага кирган коэффициент  $A$  ва даража кўрсаткичлари  $m, n, p$  ва  $q$  нинг қийматлари тажриба натижаларини қайта ишлаш орқали топилади.

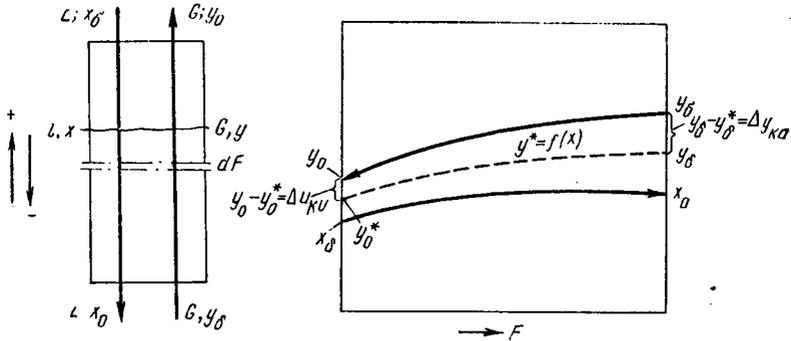
Критериал тенгламалардан топилган  $Nu'$  критерийсининг қиймати орқали модда бериш коэффициенти  $\beta$  ни аниқлаш мумкин:

$$\beta = \frac{Nu' \cdot D}{l}. \quad (8.52)$$

Модда бериш коэффициентларининг қийматлари орқали модда ўтказиш коэффициенти  $K$  топилади.

### 8.9-§. Модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучи

Модда ўтказиш процессининг ҳаракатлантирувчи кучи қиймати фазалар ҳаракатининг ўзаро йўналишига ва уларнинг ўзаро таъсир (ёки контакт) қилиш усулига боғлиқ. Фазалар ажратувчи юза бўйлаб ҳаракат қилганда уларнинг концентрацияси ўзгаради, натижада ҳаракатлантирувчи кучнинг қиймати ҳам ўзгаради. Шу сабабли модда ўтказишнинг асосий тенгламасига ҳаракатлантирувчи кучнинг ўртача қиймати деган катталиқ киритилган.



8.6- расм. Модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучининг қийматини аниқлаш.

**Модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучи.** Фазалар ҳаракати қарама-қарши бўлган колонналик аппарат учун модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучининг қийматини аниқлаймиз (8.6- расм). Модда ўтказиш процессини қуйидаги шартлар бўйи а боради деб қабул қиламиз: 1) мувозанат эгри чизиғи маълум  $y^* = f(x)$ ; 2) фазаларнинг сарфлари ўзгармас ( $G = \text{const}$ ,  $L = \text{const}$ ), яъни иш чизиғи тўғри чизиқдан иборат; 3) аппаратнинг баландлиги бўйича модда ўтказиш коэффициентлари ўзгармайди ( $K_y = \text{const}$ ;  $K_x = \text{const}$ ).

Модда  $\Phi_y$  фазадан (ёки газ фазасидан)  $\Phi_x$  фазага (ёки суюқлик фазасига) ўтади деб олинади. Модда ўтказиш натижасида элементар юза  $dF$  ва  $\Phi_y$  фазанинг концентрацияси  $dy$  га камайди ва газ фазасидан суюқ фазага ўтган модданинг массаси  $dM$  қуйидагича аниқланилади.

$$dM = -G dy. \quad (8.53)$$

Тенгламанинг ўнг томонидаги минус ишора  $\Phi_y$  фазадаги концентрациянинг камайишини билдиради.

Бу модданинг массаси  $dM$  фаза  $\Phi_x$  га ўтади, бунда суюқ фазанинг концентрацияси  $dx$  қийматга ўзгаради. Охирги ифода ва модда ўтказишнинг асосий тенгламасига асосан  $dF$  элементар юза учун қуйидагини ёзиш мумкин:

$$dM = -G dy = K_y (y - y^*) dF. \quad (8.54)$$

Ўзгарувчи қийматлар  $y$  ва  $F$  ни ажратиб, (8.54) тенгламани интеграллаймиз. Бунда концентрация бутун аппарат бўйича  $y_6$  дан  $y_0$  гача, фазаларнинг контакт юзаси эса 0 дан  $F$  гача ўзгаради. Натижада қуйидаги ифодага эришамиз:

$$-\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*} = \int_0^F \frac{K_y}{G} dF,$$

бундан

$$\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*} = \frac{K_y}{G} \cdot F. \quad (8.55)$$

Моддий баланс тенгламасига асосан, бутун аппарат бўйича биринчи фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг массаси қуйидагига тенг:

$$M = G (y_6 - y_0).$$

Охирги ифодадаги  $G$  нинг қийматини (8.55) тенгламага қўямиз.

$$\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*} = \frac{K_y \cdot F}{M} (y_6 - y_0).$$

Бундан

$$M = K_y \cdot F \frac{y_6 - y_0}{\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*}}. \quad (8.56)$$

(8.56) тенгламани модда ўтказишнинг асосий тенгламаси билан солиштириб, охирги тенгламанинг ўнг томонидаги охирги кўпайтма модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучини ташкил қилишини исботлаш мумкин:

$$\Delta y_{\bar{y}} = \frac{y_6 - y_0}{\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*}}. \quad (8.57)$$

Худди шунга ўхшаш,  $\Phi_x$  фазанинг концентрацияси бўйича  $\Delta x_{\bar{y}}$  учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\Delta x_{\bar{y}} = \frac{x_0 - x_6}{\int_{x_6}^{x_0} \frac{dx}{x^* - x}}. \quad (8.58)$$

Мувозанат графиги тўғри чизиқ бўлганда модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучининг ўртача логарифмик қиймати қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta y_{\bar{y}} = \frac{(y_6 - y_6^*) - (y_0 - y_0^*)}{\ln \frac{y_6 - y_6^*}{y_0 - y_0^*}} = \frac{\Delta y_{\text{ка}} - \Delta y_{\text{ки}}}{2,3 \lg \frac{\Delta y_{\text{ка}}}{\Delta y_{\text{ки}}}}, \quad (8.59)$$

бу ерда  $\Delta y_{\text{ка}}$  — аппаратнинг биринчи (ёки иккинчи) чеккасидаги концентрацияларнинг катта фарқи;  $\Delta y_{\text{ки}}$  — аппаратнинг иккинчи (ёки биринчи) чеккасидаги концентрацияларнинг кичик фарқи.

$\Phi_x$  фазанинг концентрацияси бўйича модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучи қуйидагича аниқланилади:

$$\Delta x_{\bar{y}} = \frac{(x_0^* - x_0) - (x_6^* - x_6)}{\ln \frac{x_0^* - x_0}{x_6^* - x_6}} = \frac{\Delta x_{\text{ка}} - \Delta x_{\text{ки}}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_{\text{ка}}}{\Delta x_{\text{ки}}}}. \quad (8.60)$$

Агар  $\frac{\Delta y_{\text{ка}}}{\Delta y_{\text{ки}}} \leq 2$  бўлса, техник ҳисоблашлар учун модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучи ўртача арифметик қиймат орқали топилади:

$$\Delta y_{\bar{y}} = \frac{\Delta y_{\text{ка}} + \Delta y_{\text{ки}}}{2}. \quad (8.61)$$

$$\text{Худди шунга ўхшаш, } \Delta x_{\bar{y}} = \frac{\Delta x_{\text{ка}} + \Delta x_{\text{ки}}}{2}. \quad (8.62)$$

Модда ўтказиш бирлигининг сони (8.57) ва (8.58) тенгламаларнинг махражидаги интеграл ўтказиш бирлигининг сони деб аталади ва  $n_{\text{оу}}$  ёки  $n_{\text{ох}}$  билан белгиланади:

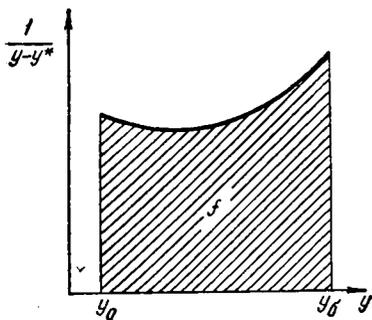
$$\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y - y^*} = n_{\text{оу}}, \quad (8.63)$$

$$\int_{x_6}^{x_0} \frac{dx}{x^* - x} = n_{\text{ох}}. \quad (8.64)$$

Охириг иккита тенгламалардан кўриниб турибдики, ўтказиш бирлигининг сони ва ўртача ҳаракатлантирувчи кучи ўртасида маълум боғлиқлик бор:

$$n_{\text{оу}} = \frac{y_6 - y_0}{\Delta y_{\bar{y}}}, \quad (8.65)$$

$$n_{\text{ох}} = \frac{x_0 - x_6}{\Delta x_{\bar{y}}}. \quad (8.66)$$



8\*7- расм. Ўтказиш бирлигининг сонини график усулда интеграллаб аниқлаш.

Шундай қилиб, ўтказиш бирлиги сони модда ўтказиш процессининг ўртача ҳаракатлантирувчи кучига тескари пропорционалдир. Ўтказиш бирлиги сони ҳаракатлантирувчи куч бирлигига мос келган фаза иш концентрациясининг ўзгаришини белгилайди. Ўтказиш бирлиги сонидан модда алмашиниш аппаратларининг иш баландлигини аниқлашда, айниқса фазаларнинг контакт юзасини топиш қийин бўлган пайтларда фойдаланилади.

Ўтказиш бирлиги сони интеграл тенгламалар орқали ифодалангани сабабли, уни аналитик йўл билан ечиш мумкин эмас, чунки  $y^* = f(x)$  ёки  $x^* = f(y)$  функцияларнинг кўриниши ҳар бир конкрет шароит учун турлича. Шу сабабли ўтказиш бирлиги сони интеграллашнинг график усули билан аниқланилади (8.7- расм).

$y_6$  ва  $y_0$  катталиклар ўртасида  $y$  га бир неча қиймат бериб,  $\frac{1}{y-y^*}$  нинг  $y$  га нисбатан эгри чизиқли боғлиқлиги чизилади ва расмда кўрсатилган  $f$  майдон ўлчанади. Сўнгра графикнинг ордината ва абсцисса ўқларининг 1 миллиметрига қанча ўтказиш бирлиги сони тўғри келиши (яъни  $M_1$  ва  $M_2$  масштаблар) аниқланади. Кейин  $M_1$  ва  $M_2$  масштаблар ҳисобга олинган ҳолда интегралнинг қиймати топилади:

$$\int_{y_0}^{y_6} \frac{dy}{y-y^*} = f M_1 M_2. \quad (8.67)$$

Худди шунингдек,  $\frac{1}{x^*-x}$  нинг  $x$  га нисбатан график боғлиқлиги дан фойдаланиб,  $n_{ox}$  нинг қийматини аниқлаш мумкин.

**Ўтказиш бирлигининг баландлиги.** Агар модда  $\Phi_y$  фазадан  $\Phi_x$  фазага ўтадиган бўлса ва ҳаракатлантирувчи куч  $\Phi_y$  фазанинг концентрацияси орқали белгиланса, биринчи фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг массаси қуйидагича топилади:

$$M = G (y_6 - y_0), \quad (8.68)$$

бу ерда  $G$  —  $\Phi_y$  фазанинг сарфи;  $y_6$  ва  $y_0$   $\Phi_y$  фазасидаги дастлабки ва охириги концентрациялари.

Биринчи фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг миқдори модда ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали ҳам аниқланиши мумкин:

$$M = K_y \cdot a \cdot S \cdot H \cdot \Delta y_y; \quad (8.69)$$

бу ерда  $K_y \cdot a$  — аппаратнинг баландлиги бўйича ўзгармас қилиб олинган модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициенти;  $H$  — аппаратнинг иш баландлиги;  $S$  — аппарат

нинг қўндаланг кесим юзаси;  $a$  — ҳажм бирлигига тўғри келган фазаларнинг контакт юзаси.

Охириги тенгламаларнинг ўнг томонларини тенглаштириб қуйидаги ифодага эришамиз:

$$K_y \cdot a \cdot S \cdot H \cdot \Delta y_y = G (y_6 - y_0).$$

$$\text{Бундан } H = \frac{G}{K_y \cdot a \cdot S} = \frac{y_6 - y_0}{\Delta y_y}. \quad (8.70)$$

(8.55) ва (8.63) тенгламаларга асосан қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$h_{oy} = \frac{H}{n_{oy}} = \frac{H \cdot G}{K_y \cdot F}$$

$F = a \cdot S \cdot H$  ни ҳисобга олган ҳолда:

$$h_{oy} = \frac{HG}{K_y \cdot a \cdot S \cdot H} = \frac{G}{K_y \cdot a \cdot S}. \quad (8.71)$$

$\Phi_x$  фазанинг концентрацияси бўйича олинса:

$$h_{ox} = \frac{L}{K_x \cdot a \cdot S}; \quad (8.72)$$

бу ерда  $L$  —  $\Phi_x$  фазанинг сарфи.

Ўтказиш бирлигининг баландлиги узунлик бирлиги орқали ўлчади:

$$[h_{oy}, h_{ox}] = [м].$$

Ўтказиш бирлигининг баландлиги битта ўтказиш бирлигига эквивалент бўлган аппаратнинг баландлигини ифодалайди. Ўтказиш бирлигининг баландлиги модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициентига тескари пропорционалдир. Демак, аппаратда модда ўтказиш процесси қанча тез борса, ўтказиш бирлигининг баландлиги шунча кичик бўлади. Ўтказиш бирлигининг баландлиги кўпинча тажриба йўли билан топилади.

**Ажратиб олиш коэффициенти.** Модда алмашилиш аппаратининг самарадорлигини керакли компонентни газ аралашмаси ёки суюқ эритмадан ажратиб олиш даражаси орқали белгилаш мумкин.

Аппаратнинг иши давомида бир фазадан иккинчи фазага ўтган компонент ҳақиқий массасининг максимал ўтиши мумкин бўлган массага нисбати модда алмашилиш аппаратининг муҳим катталиги ҳисобланиб, у ажратиб олиш коэффициенти деб юритилади. Айрим шароитларда (масалан, ректификация процессида) бу коэффициент бойитиш коэффициенти деб ҳам аталади:

$$\varphi = \frac{y_6 - y_0}{y_6 - y_0^*}. \quad (8.73)$$

Аралаштиришнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучга таъсири. Ўртача ҳаракатлантирувчи кучни ҳисоблаш учун тенгламалар чиқарилганда қуйидагилар қабул қилинган: фазаларнинг оқимлари аппарат-

нинг кўндаланг кесими бўйича бир текис тарқалган, аралаштириш йўқ, ҳар бир фазанинг ҳамма заррачалари бир хил тезликда ҳаракат қилади. Натижада фазаларнинг концентрациялари аппаратнинг кўндаланг кесими бўйича ўзгармас бўлиб, фақат аппаратнинг баландлиги бўйича ўзгаради. Бундай оқим поршенли оқим ёки идеал сиқиб чиқариш оқими деб аталади. Фазаларнинг ҳар бири идеал сиқиб чиқариш оқими режимда ҳаракат қилганда концентрациялар градиенти энг катта қийматга ва модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучи максимал қийматга эга бўлади.

Модда алмашиниш аппаратларида оқимлар ҳаракатининг физик ҳолати аралаштириш таъсирида анча мураккаб процесс ҳисобланади. Турбулент диффузия ва бошқа сабаблар таъсирида аппаратда оқимни ўқ бўйича аралаштириш юз беради. Бошқа сабабларга бир фазага қарама-қарши йўналган иккинчи фаза айрим қисмининг қўшилиб кетиши (масалан, барботаж процесси пайтида газ ёки буғ пуфакчаларининг суюқлик томчиларини ўзига қўшиб чиқиши), оқимнинг кўндаланг кесими бўйича тезликларнинг турлича бўлиши, тўхтаб қолган зоналарнинг ҳосил бўлиши ва ҳоказолар киреди.

Тарелкали колонналарда суюқлик томчиларининг кетиб қолиши натижасида тескари аралаштириш юз беради, бунда (газ ёки буғ) томчилар суюқликнинг асосий массаси ҳаракатига тескари бўлган йўналиш бўйича олиб чиқиб кетилади. Демак, суюқлик томчиларининг чиқиб кетишини тескари аралаштиришнинг хусусий кўрниши деб қараш мумкин. Бирор тарелкадан олиб чиқиб кетилган суюқлик ундан юқорида жойлашган тарелкадаги суюқлик билан қўшилиб кетади, натижада шу тарелкадаги суюқликнинг концентрацияси ортади, ҳаракатлантирувчи куч эса камаяди. Демак, тескари аралаштириш модда алмашиниш самарадорлигини камайтиради.

Юқорида айтиб ўтилган ҳодисалар аппаратнинг баландлиги бўйича фазалардаги концентрациялар градиентининг камайишига олиб келади, натижада модда ўтказишнинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучи камаяди. Ўртача ҳаракатлантирувчи кучга молекуляр диффузия ҳам худди шундай таъсир кўрсатади, чунки ҳар бир фаза ичида молекуляр диффузия тарқалувчи модда концентрациясининг пасайиши томонига қараб юз беради.

Фазаларнинг бошланғич ва охириги концентрацияларида идеал аралаштириш режимда ўртача ҳаракатлантирувчи куч минимал қийматга эга бўлади, чунки бундай режимда аппаратнинг баландлиги бўйича ҳар бир фазада концентрациянинг тезда тенглашиши содир бўлади.

Қарама-қарши йўналиш режими билан ишлайдиган реал модда алмашиниш аппаратларида оқимларнинг таркиби кўпинча идеал сиқиб чиқариш ва идеал аралаштириш режимларининг ўртасидаги оралиқ режими ташкил қилади.

Тескари аралаштиришнинг модда ўтказиш самарадорлигига таъсирини ҳисоблаш муҳим амалий аҳамиятга эга. Бундай ҳисоблаш лаборатория ва саноат аппаратлари кўрсаткичларини тўғри солиштириш ва анализ қилиш ҳамда лаборатория ва тажриба қурилмаларида олинган натижалар асосида саноат аппаратларининг иш баландлигини аниқ-



риш эпюри ( $ABCD$ ) кўрсатилган.  $\tau = \infty$  бўлганда қаттиқ фазадаги концентрация мувозанат концентрацияси  $c^*$  гача камаяди. Қаттиқ жисмдаги концентрация фазада ҳам, вақт давомида ҳам ўзгаради:  $c = f(x)$ ;  $c = \varphi(\tau)$ . Шу сабабли қаттиқ фаза ичида модданинг модда ўтказувчанлик таъсирида тарқалиши нотурғун процесс бўлади.

Модда ўтказувчанлик процесси молекуляр диффузия учун Фикнинг биринчи қонуни билан ифодаланади:

$$M = -D_M \cdot F \cdot \tau \cdot \frac{dc}{dn}, \quad (8.74)$$

бу ерда  $D_M$  — модда ўтказувчанлик коэффициенти.

Модда ўтказувчанлик коэффициенти ички диффузия коэффициенти бўлиб, температура ўтказувчанлик ёки молекуляр диффузия коэффициентлари каби  $m^2/s$  ҳисобида тажриба йўли билан топилади.

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини чиқаришда модда ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини ҳосил қилиш мумкин:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D_M \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (8.75)$$

Бу дифференциал тенглама фазаларнинг контакт чегарасида модда ўтказиш шартларини белгилловчи тенглама билан биргаликда кўрилиши лозим. Бу шартларни (8.74) тенгламани модда бериш тенгламаси билан солиштириш орқали олиш мумкин. Модда бериш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$M = \beta \cdot F \cdot \tau (c_s - c^*) = \beta \cdot F \cdot \tau \cdot \Delta c, \quad (8.76)$$

бу ерда  $\beta$  — модда бериш коэффициенти;  $F$  — фазаларнинг контакт юзаси;  $c_s$  — фазалар чегарасидаги концентрация;  $c^*$  — мувозанат концентрация;  $\Delta c$  — концентрациялар айирмаси;  $\tau$  — процесснинг давомийлиги.

(8.74) ва (8.76) тенгламаларнинг ўнг томонларини бир-бирига тенглаштириб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$-D_M \frac{dc}{dx} = \beta \Delta c. \quad (8.77)$$

Олинган дифференциал тенгламанинг ўнг томонини чап томонига бўлиб ва математик операторнинг белгиларини ҳисобга олмасдан, ўлчамсиз ўхшашлик критерийсини ҳосил қиламиз:

$$\frac{\beta l}{D_M} = Bi' = \text{idem} \quad (8.78)$$

Бу ўхшашлик критерийси қаттиқ ва суюқлик (газ ёки буғ) фазалари чегарасида тарқалувчи модда ўтиш процессининг ўхшашлигини белгилайди ва Био диффузия критерийси ( $Bi'$ ) деб юритилади.

Био критерийси таркибига ташқи ва ички диффузия тезликларини белгилловчи коэффициентлар ( $\beta$  ва  $D_M$ ) нинг нисбати киритилган. Шу сабабли бу критерий қаттиқ фазага системаларда борадиган модда алмашишни процессларини ўрганишда муҳим аҳамиятга эга. Био критерийсининг сон қиймати кичик бўлганда, модда ўтказиш процесси-

нинг тезлиги ташқи диффузиянинг тезлиги билан белгиланади. Био критерийсининг қиймати катта бўлса, у ҳолда модда ўтказиш тезлиги ички диффузиянинг тезлиги орқали ифодаланади.

Қаттиқ фазанинг марказида модда ўтказиш процессининг ўхшашлигини ифодалаш учун модда ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси (8.75) ни юқоридаги каби, ўхшашлик назарияси усуллари билан қайта ишлаб қуйидаги ифодани оламиз:

$$\frac{D_M \cdot \tau}{l^2} = Fo' = \text{idem.} \quad (8.79)$$

Бу катталикларнинг ўлчамсиз комплекси Фурьенинг диффузия критерийси ( $Fo'$ ) деб аталади. Фурье критерийси қаттиқ фаза ичида модданинг модда ўтказувчанлик йўли билан ўтиш тезлигининг ўхшашлигини ифодалайди.

Модда ўтказувчанлик йўли билан модда ўтиш процессининг ўхшашлигини тўла ифодалашда геометрик ўхшашлик ҳақиқатга олиниши керак. Масалан, модданинг бир ўлчамли оқими учун  $\frac{x}{\delta}$  симплексни ишлатиш мумкин (бу ерда  $x$  — қаттиқ жисмдаги берилган нуқтанинг координатаси,  $\delta$  — қаттиқ жисмнинг аниқловчи геометрик ўлчам). Шарсимон қаттиқ жисмлар учун аниқловчи геометрик ўлчам сифатида радиус ишлатилади, чексиз пластиналар учун аниқловчи ўлчам сифатида пластина қалинлигининг ярми олинади.

Аниқловчи катталик сифатида концентрацияларнинг ўлчамсиз симплексидан фойдаланилади:

$$\frac{c - c_4}{c_0 - c^*}$$

бу ерда  $c$  — вақтнинг  $\tau$  momenti учун қаттиқ фазанинг берилган нуқтасидаги концентрация;  $c_0$  — қаттиқ фазадаги бошланғич концентрация.

Шундай қилиб, қаттиқ фазалардаги модда ўтказувчанликнинг умумий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{c_0 - c_4}{c_0 - c^*} = f\left(Bi', Fo', \frac{x}{\delta}\right). \quad (8.80)$$

Бу функционал боғлиқлик оддий геометрик жисмлар (чексиз пластина, узлуксиз цилиндр, шар) учун аналитик ечимга эга. Бошқа шаклдаги қаттиқ жисмлар учун (8.80) боғлиқлик асосида қаттиқ фазанинг ҳажми бўйича ўртача концентрациялар тажриба йўли билан топилади ва тажриба натижалари қайта ишланиб ҳисоблаш тенгламаси чиқарилади. (8.80) тенглама орқали қаттиқ заррачаларнинг вақт бўйича ўртача концентрацияси топилади. Бу қиймат асосида процесснинг кинетикаси ва унинг самарадорлиги ҳақида тегишли маълумотлар олиш мумкин.

## 8.11-§. Модда ўтказиш процессларини интенсивлаш

Модда алмашилиш процессларини интенсивлаш тегишли аппаратнинг иш ҳажми бирлигига нисбатан олинган бир қатор катталикларга боғлиқ, яъни тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришнинг кўпайиши, ёқилги, буғ, хомашё ва энергия сарфларининг камайиши, аппаратни тайёрлаш учун сарфланадиган металлнинг миқдори ва ҳоказо. Бундан ташқари, интенсивлаш самарадорлигини аниқлашда контрол-ўлчов приборлари ва автоматлаштириш учун кетган сарфлар, аппаратнинг мураккаблиги ва унинг қисмларини тайёрлаш имкониятлари, аппаратни ишлатиш ва уни бошқариш учун зарур ишчи кучига бўлган сарфлар ҳисобга олинади.

Модда алмашилиш аппаратларининг ишини интенсивлаш учун уларда кетадиган процессларнинг физик моҳиятини чуқур ўрганиш керак. Модда ўтказишнинг асосий тенгламаси  $M = KF\Delta t$  га кўра, бир фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг миқдори фазаларнинг тўқнашув юзаси  $F$  га, модда ўтказиш коэффициенти  $K$  га ва ҳаракатлантирувчи куч  $\Delta t$  га тўғри пропорционал боғланган. Шу сабабли ҳар бир конкрет шароит учун процессни интенсивлашнинг тегишли усулини ишлатган мақсадга мувофиқдир.

Модда алмашилиш процессларини интенсивлашда фазаларнинг контакт юзасини кўпайтириш катта аҳамиятга эга. Қаттиқ фазали системалар (адсорбция, десорбция, қуритиш, экстракциялаш, эритиш) даги фазаларнинг контакт юзасини кўпайтириш учун қаттиқ заррачаларни майдалаш керак. Қаттиқ заррачаларнинг ўлчами кичрайиши билан процесснинг тезлиги кўпаяди. Бироқ заррачанинг ўлчамини жуда ҳам кичрайтириб юбориш ярамайди, чунки бунда аппарат ичидаги гидравлик қаршилик ортиб кетиб, суюқлик фазада қаттиқ модда заррачаларининг концентрацияси кўпаяди (натижада суюқлик фазани филтрлаш қийинлашади). Конкрет технологик процесс учун қаттиқ заррачанинг оптимал ўлчамлари тажриба йўли билан топилади.

Суюқлик-суюқлик системаси учун процесслар (масалан, суюқликларни экстракциялаш) нинг контакт юзасини кўпайтиришда фазаларнинг бирортаси майда заррачаларга ажратилади. Суюқлик-газ (буғ) системаларидаги процесслар (адсорбция, ректификация) нинг контакт юзасини кўпайтириш учун суюқлик аппаратга сочилиб берилади, яъни кўпикли ва эмульсия режимлари ҳосил қилинади; бунда қўзғалувчи насадкадан фойдаланилади.

Ҳаракатлантирувчи кучни кўпайтириш учун оқимларнинг ҳаракат йўналишини тўғри танлаш керак. Модда алмашилиш процессининг тезлигини қуйидаги ифода билан топиш мумкин:  $I = K\Delta t$ .

Бу тенгламадан кўриниб турибдики, процесснинг тезлиги ўртача ҳаракатлантирувчи кучга тўғри пропорционал боғланган. Ҳаракатлантирувчи кучнинг қиймати аппаратдаги моддий оқимларнинг харақатига, уларнинг йўналиши ва фазаларни аралаштириш усулига боғлиқ.

Моддий оқимлар бир-бирига нисбатан идеал равишда қарама-қарши йўналган бўлса (бундай ҳолат идеал сиқиб чиқариш режимига мансуб), аппаратда бораётган процесс оқимнинг йўналиши (ёки аппаратнинг

баландлиги) бўйича концентрацияларнинг энг катта градиентига эга бўлади. Бунда модда алмашиниш процесси ҳаракатлантувчи кучнинг максимал қиймати билан давом этади. Аммо реал аппаратларда қарама-қарши оқимларнинг ҳаракати идеал сиқиб чиқариш режимидан маълум даражада чекланган бўлади, натижада аппаратнинг баландлиги бўйича иккала фазанинг концентрациялар градиенти камаяди. Бунда модда алмашиниш процессининг ўртача ҳаракатлантувчи кучи ҳам камаяди. Демак, ҳаракатлантувчи кучни максимал қийматгача кўпайтириш учун процессни идеал сиқиб чиқариш ҳолатига яқин режимда олиб бориш мақсадга мувофиқ экан.

Модда ўтказиш коэффициентини асосан қуйидаги катталикларга боғлиқ:

$$K = f(\beta_1, \delta_1, \delta_2, \beta_2 \dots); \quad (8.82)$$

бу ерда  $\beta_1, \beta_2$  — фазалардаги модда бериш коэффициентлари;  $\delta_1, \delta_2$  — ҳар бир фаза томонидаги чегара қатламининг қалинлиги.

Процессни тезлатиш учун  $\beta_1$  ва  $\beta_2$  нинг қийматларини кўпайтириш,  $\delta_1$  ва  $\delta_2$  нинг қийматларини эса камайитириш зарур.

Модда бериш коэффициентларини ошириш учун процессни турбулент режимда олиб бориш керак. Турбулентликни кўпайтириш учун моддий оқимлар тезлигини ошириш ва температурани кўтариш лозим. Температура оширилганда қовушоқлик ва сирт таранглик кучи камаяди. Системанинг турбулентлиги ошганда уюрма оқимлар ҳосил бўлади, бу ҳол чегара қатламлар қалинлигининг камайишига ва фазалар контакт юзаларининг янгиланишига олиб келади.

Шундай қилиб, турбулентлик режими ортиши ва фазалар контакт юзаларининг янгиланиши сабабли модда ўтказиш коэффициентининг қиймати орта боради. Бундан ташқари, модда ўтказиш коэффициентининг ортишига қўшимча импульслар ҳам таъсир қилади.

Модда алмашиниш процессининг тезлигини оширишга сабаб бўладиган қўшимча импульсларга қуйидагилар киради: гетероген системаларда мавҳум қайнаш қатламини қўллаш, электромагнит ва ультратовуш майдон таъсиридан фойдаланиш, механик тебранишлар (пульсация ва вибрация тебранишлари) ни ишлатиш, ўзгарувчан температура майдонини ҳосил қилиш ва ҳоказо.

## 8.12-§. Модда алмашиниш аппаратларининг ўлчамларини аниқлаш

Модда алмашиниш аппаратларининг технологик ҳисобида уларнинг асосий ўлчамлари (диаметр ва иш баландлиги) аниқланади.

**Аппаратнинг диаметри.** Аппаратнинг диаметрини топиш учун сарф тенгламасидан фойдаланилади:

$$V_c = S \cdot \omega_0;$$

бу ерда  $V_c$  — тегишли фазанинг ҳажмий сарфи (масалан, адсорбция процессида газнинг сарфи, ректификацияда эса бугнинг сарфи ва ҳоказо);  $\omega_0$  — шу фазанинг мавҳум ёки келтирилган тезлиги (ёки тегишли фазанинг аппаратнинг тўла кесими-га нисбатан олинган тезлиги);  $S$  — аппарат кўндаланг кесим юзаси.

Думалоқ кўндаланг кесимли аппаратларда  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$  бўлгани сабабли:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D^3}{4} \omega_0.$$

Бундан

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_c}{\pi\omega_0}}. \quad (8.83)$$

Одатда  $V_c$  берилган бўлади ва аппаратнинг диаметри  $D$  ни топиш учун тегишли фаза (масалан, газ ёки буғ) нинг мавҳум тезлигини қабул қилиш керак. Тезликни қабул қилишда қуйидаги ҳол ҳисобга олиниши керак: оқимнинг тезлиги ортиши билан модда ўтказиш коэффициентининг қиймати кўпаяди, бироқ тезлик ортиши билан аппаратнинг гидравлик қаршилиги ҳам ортади (натихада процессни олиб бориш учун зарур бўлган энергия сарфи ортади). Шу сабабли ҳар бир конкрет шароит учун техник-иқтисодий ҳисоблашлар орқали газ ёки буғнинг оптимал тезлиги топилади.

Аппаратнинг баландлиги. Модда алмашиниш аппаратининг баландлиги фазалар контакти узлуксиз ёки поғонали бўлишига кўра икки хил усулда аниқланади:

а) Узлуксиз контактли аппаратларнинг баландлиги. Фазалар узлуксиз контактда бўлган аппаратларнинг баландлиги қуйидаги модда ўтказиш тенгламаси орқали топилади:

$$M = K_y \cdot a \cdot V \Delta y_{\text{ф}} \quad (8.84)$$

ёки

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot \Delta x_{\text{ф}}, \quad (8.85)$$

бу ерда  $F = a \cdot V$  — фазалар контакт юзаси;  $a$  — фазаларнинг солиштирма контакт юзаси;  $V$  — аппаратнинг иш ҳажми.

Аппаратнинг иш ҳажми.  $V = S \cdot H$  (бу ерда  $H$  — аппаратнинг иш баландлиги). Охириги тенгламалардан  $V$  нинг ўрнига  $S \cdot H$  ни қўйиб, уларни  $H$  га нисбатан ечсак, қуйидаги ифодаларни оламиз:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot S \cdot \Delta y_{\text{ф}}} \quad (8.86)$$

ёки

$$H = \frac{M}{K_x \cdot a \cdot S \cdot \Delta x_{\text{ф}}}. \quad (8.87)$$

(8.86) ва (8.87) тенгламалар бўйича  $H$  ни ҳисоблаш учун алоҳида солиштирма сирт  $a$  ва модда ўтказишнинг сиртий коэффициентини  $K_y$  ёки  $K_x$  нинг қийматларини ёхуд шу катталикларнинг кўпайтмасидан иборат бўлган модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициентини  $K_y \cdot a = K_v$  ёки  $K_x \cdot a = K_v$  ни билиш зарур. Айниқса, фазаларнинг контакт юзасини аниқлаш қийин бўлганда  $K_v$  ни топиш мақсадга мувофиқдир.

Аппаратнинг иш баландлиги ўтказиш бирлигининг сони ва ўтказиш бирлигининг баландлиги кўпайтмаси билан ҳам топилиши мумкин:

$$H = h_{0y} \cdot n_{0y} \quad (8.88)$$

ёки

$$H = h_{0x} \cdot n_{0x}. \quad (8.89)$$

б) Поғонали контакт аппаратларининг баландлиги. Бундай аппаратларнинг иш баландлиги қуйидаги тенглик орқали топилади:

$$H = n_x \cdot h \quad (8.90)$$

бу ерда  $n_x$  — аппаратлардаги ҳақиқий поғоналар ёки тарелкалар сони;  $h$  — поғоналар (тарелкалар) орасидаги масофа.

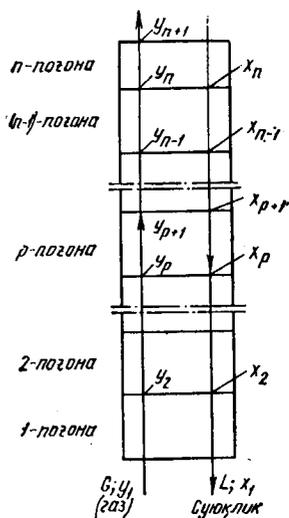
Мисол тариқасида  $n$  поғонали, қарама-қарши йўналишли модда алмашилиш аппаратини кўриб чиқамиз (8.9- расм). Фазалар сарфи ўзгармас ( $L = \text{const}$ ;  $G = \text{const}$ ), тарқалувчи компонент  $\Phi_y$  (масалан, газ) фазадан  $\Phi_x$  (масалан, суюқлик) фазага ўтади.  $\Phi_y$  фазанинг  $P$  поғонасига киришдаги концентрация  $y_P$  бўлса, чиқишдаги концентрация эса  $y_{P+1}$  бўлади. Бу фазанинг айна поғонадаги концентрацияларининг ўзгариши  $y_P - y_{P+1}$ .  $\Phi_y$  фазанинг бошқа фаза  $P$  поғонасидаги  $x_P$  концентрацияси билан мувозанатда бўлган концентрациясини  $y_P^*$  билан белгилаймиз. Бунда ушбу поғонага киришдаги модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучи ( $y_P - y_P^*$ ) га тенг бўлади.

Поғонанинг самарадорлиги одатда берилган фазанинг поғонадаги концентрациялар ўзгаришини шу фазанинг поғонага киришдаги ҳаракатлантирувчи кучига нисбати билан белгиланади.  $\Phi_y$  фаза бўйича  $P$  поғона учун қуйидаги нисбатни ёзиш мумкин:

$$E_y = \frac{y_P - y_{P+1}}{y_P - y_P^*}; \quad (8.91)$$

$E_y$  — поғонанинг фойдали иш коэффициенти (ФИК) деб юритилади.

Поғоналарнинг ҳақиқий сонини турли усуллар (аналитик, ҳисоблаш, кинетик эгри чизиқ усули билан, поғоналарнинг назарий сони орқали ва ҳоказо) билан топиш мумкин. Поғоналарнинг ҳақиқий сонини поғоналарнинг назарий сони орқали график усулда аниқлашни кўриб чиқамиз. Бу усулда поғоналарнинг ҳақиқий сони қуйидаги нисбат орқали топилади:



8.9- расм. Қарама-қарши йўналган поғонали модда алмашилиш аппарати.



абсорбент дейилади. Абсорбтив билан абсорбентнинг ўзаро таъсирига кўра абсорбция процесси икки хил бўлади: физик абсорбция ва химиявий абсорбция (хемосорбция). Физик абсорбцияда ютилаётган газ билан абсорбент ўзаро бир-бири билан химиявий бирикмайди. Агар ютилаётган газ абсорбент билан ўзаро бирикиб, химиявий бирикма ҳосил қилса, хемосорбция дейилади.

Физик абсорбция кўпинча қайтар процессдир, яъни суюқликка ютилган газни ажратиш олиш мумкин бўлади, бу ҳол десорбция дейилади. Абсорбция билан десорбция процессларини узлуксиз олиб бориш натижасида ютилган газни тоза ҳолда ажратиш олиш ва ютувчи абсорбентни бир неча марта қайта ишлатиш имкони туғилади. Абсорбтив ва абсорбент арзон ва иккиламчи маҳсулот бўлгани учун, улар абсорбция процессидан кейин кўпинча қайта ишлатилмайди (масалан, газларни тозалаганда).

Саноатда абсорбция процесси турли мақсадларда қўлланилади: 1) газ аралашмаларидан қимматбаҳо компонентларни (масалан, крекингланган газлардан ёки метан пиролизидан ацетиленни; кокс ва газ аралашмаларидан аммиак, бензолни; нефтни қайта ишлаш натижасида ҳосил бўлган газ аралашмаларидан ҳар хил углеводород ва шу кабиларни) ажратиш олишда; 2) компонентларни ҳар хил заҳарли моддалардан тозалаш учун (минерал ўғитларни олишда ҳосил бўлган газ аралашмаларини фтор бирикмаларидан, аммиак синтез қилганда азот-водород аралашмаларини  $\text{CO}$  ва  $\text{CO}_2$  оксидлардан тозалашда); 3) тайёр маҳсулотлар, масалан,  $\text{SO}_3$  ва азот оксидлар,  $\text{HCl}$  нинг сувда ютилиши натижасида сульфат, азот, хлорид кислоталар олишда ва ҳоказо.

## 9.2- §. Абсорбция процессининг мувозанати

**Фазаларо мувозанат.** Абсорбция процессида суюқлик таркибидаги газнинг миқдори суюқлик ва газнинг хусусиятига, босим, температура ва газ фазасининг таркибига боғлиқ. Суюқлик билан бирор газ аралашмасининг ўзаро таъсири натижасида тақсимланувчи компонент  $A$  ташувчи компонент  $B$  ёрдамида суюқликда эриган бўлса, фазалар қондасига мувофиқ компонентларнинг сони ва эркинлик даражаси учга тенг бўлади. Демак, газ-суюқлик системасида иккала фазанинг температураси, босими ва концентрацияси ўзгариши мумкин. Шунинг учун ўзгармас температура ва умумий босимда мувозанат ҳолатдаги газнинг парциал босими (ёки унинг концентрацияси) билан суюқ фаза таркибининг ўзаро боғланиши бир хил бўлади. Бу боғланиш Генри қонуни билан ифодаланиб, эриган газнинг парциал босими эритмадаги унинг моль қисмига пропорционалдир:

$$P_A^* = E \cdot x_A. \quad (9.1)$$

Суюқликдаги газнинг эрувчанлиги (ютилган компоненти  $A$ ) маълум температурада унинг суюқлик юзасидаги парциал босимига пропорционалдир:

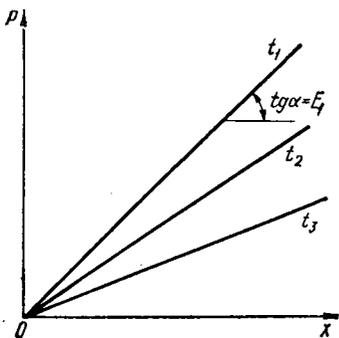
$$x_A^* = \frac{1}{E} \cdot P_A, \quad (9.2)$$

бу ерда  $P_A^*$  — мувозанат ҳолатидаги эритмада концентрацияси  $x_A$  бўлган юти-  
лаётган газнинг парциал босими;  $x^*$  — эритмадаги газнинг концентрацияси (моль  
ҳисобида), бу газ билан суюқлик фазалари мувозанатлашганда ютилаётган компо-  
нентнинг парциал босими  $P_A$  га тенг;  $E$  — пропорционаллик коэффициенти ёки  
Генри коэффициенти.

Генри коэффициентининг миқдори берилган газ учун ютаётган  
суюқлик ва газнинг таркибига, температурасига боғлиқ бўлиб, сис-  
теманинг умумий босимига боғлиқ эмас.  $E$  нинг температурага боғ-  
лиқлиги қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\ln E = -\frac{q}{R \cdot T} + C; \quad (9.3)$$

бу ерда  $q$  — эрийдиган газнинг дифференциал иссиқлиги;  $R$  — газ константаси;  
 $C$  — ютаётган суюқлик ва газнинг табиатига боғлиқ бўлган ўзгармас катталиқ.



9.1-расм. Газнинг суюқликда  
эришига температуранинг таъсири.

Идеал суюқликлар учун ҳар хил тем-  
пературада концентрациянинг босим бил-  
ан ўзаро боғланиши  $P - x$  диаграмма-  
да тўғри чизиқ кўринишида Генри коэф-  
фициентига тенг бўлган оғма чизиқлар  
орқали тасвирланади. 9.1-расмга ва  
(9.3) тенгламага мувофиқ, температура  
ортиши билан Генри коэффициентининг  
миқдори (бир хил шароитда) ортади, (9.2)  
тенгламага мувофиқ эса газнинг суюқ-  
ликдаги эрувчанлиги камаяди.

Газ аралашмасидан ажратиб олинаёт-  
ган компонентнинг моль улуши  $y_A$  ва  
системадаги умумий босим  $P$  бўлганда,  
парциал босим  $P_A$  Дальтон қонуни бўй-  
ича қуйидаги боғланиш орқали ифода-  
ланади:

$$p_A = P \cdot y_A. \quad (9.4)$$

$p_A$  нинг қийматини (9.1) тенгламага қўйсак:

$$y_A^* = \frac{E}{P} x_A \quad (9.5)$$

ёки Генри қонуни қуйидаги кўринишда бўлади:

$$y^* = m \cdot x. \quad (9.6)$$

бу ерда  $m = E/P$  тақсимланувчи коэффициент ёки мувозанат ҳолатдаги фаза-  
нинг константасини кўрсатади.

(9.6) тенглама берилган газ аралашмасидаги компонент билан  
шу компонент суюқлик фазаларининг ўзаро боғланишини координата  
бошидан маълум бурчак остида ўтувчи тўғри чизиқ орқали ифодалай-  
ди. Ҳосил бўлган тангенс бурчакнинг катталиги системаларнинг  
температура ва босимига боғлиқ. Босим ортиши ва температура ка-  
майиши билан бурчак қиймати ҳам камаяди.

Шундай қилиб, суюқликдаги газнинг эрувчанлиги босимнинг ортиши ва температуранинг камайиши билан кўпаяди. Агар суюқлик билан газ аралашмалари мувозанатда бўлса, у ҳолда Генри қонунига мувофиқ, газ аралашмаларидаги ҳар бир компонент алоҳида аниқланади. Генри қонуни критик температураси суюқлик температурасидан юқори бўлган газ эритмалари учун ва фақатгина идеал эритмалар учун қўлланилиши мумкин. Шунинг учун ўта суюлтирилган реал эритмалар ўз хусусиятлари бўйича идеал эритмаларга ўхшаш бўлган учун, улар ҳам Генри қонунига бўйсунди.

Генри қонунига асосан, яхши эрийдиган газларнинг эритмадаги концентрациялари юқори бўлса ҳам, уларнинг суюқликдаги эрувчанлиги кам бўлади. Генри қонунига бўйсунмайдиган системаларда (9.6) тенгламадаги тақсимланиш коэффициенти  $m$  ўзгарувчан бўлиб, мувозанат чизиғи эгри чизиқ кўринишида бўлади ва тажрибада олинган қийматлар бўйича аниқланади.

Газ ва ютаётган суюқлик бир-бирига таъсир қилмаганда (паст температура ва ўртача босимда) ўзаро газ билан суюқликнинг мувозанат ҳолати (9.6) тенглама билан ифодаланади. Юқори босимда газ билан суюқликнинг ўзаро мувозанат ҳолати Генри қонунига бўйсунмайди, чунки газнинг ҳажми ўзгариши билан суюқликда газнинг эриши натижасида унинг ҳажми ўзгариб, ўлчаш қийин бўлиб қолади. Бу вақтда мувозанатдаги фаза константаси қуйидагича аниқланади:

$$m = \frac{E}{f_0}; \quad (9.7)$$

бу ерда  $f_0$  — ютилаётган газнинг учувчанлиги, босим бирликларида ифодаланади.

Бинар эритмалар учун  $f_0$  нинг катталиги қуйидагича топилади:

$$\ln \frac{f_0}{x} = \ln E = \frac{A}{RT} [1 - (1 - x)^2]; \quad (9.8)$$

бу ерда  $A$  — ўзгармас коэффициент.

Агар фазаларнинг таркиби нисбий моль концентрация ҳисобида ифодаланса (9.5) тенглама қуйидагича бўлади:

$$\frac{y^*}{1 + y^*} = \frac{mx}{1 + x}.$$

Пропорционаллик қондасига мувофиқ:

$$\frac{y^*}{1 + y^* - y^*} = \frac{mx}{1 + x - x}$$

ёки

$$y^* = \frac{mx}{1 + x - mx} = \frac{mx}{1 + (1 - m)x}. \quad (9.9)$$

Газ-суюқлик системаларнинг мувозанат ҳолати нисбий концентрацияда ифодаланса, Генри қонуни  $x - y$  графикда эгри чизиқ орқали ифодаланади.

Ўта суюлтирилган эритмаларда (яъни суюқликда газнинг концентрацияси жуда кам бўлса)  $(1 - m)x = 0$  бўлгани учун (9.9) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$y^* = mx. \quad (9.10)$$

Тенгламадан кўриниб турибдики, бу ҳол учун Генри қонуни тўғри чизиқ билан ифодаланади.

Шундай қилиб, (9.1) (9.2), (9.6), (9.9), (9.10) тенгламалар Генри қонунининг ҳар хил кўринишини ифодалайди.

Кўп компонентли аралашмаларнинг мувозанат ҳолатда суюқликда ютилиши бир компонентли аралашмаларнинг ютилишига нисбатан жуда мураккабдир, айниқса, эритмаларнинг хусусияти идеал эритмалардан фарқ қилса бу ҳол яққол кўринади. Бу вақтда газ аралашмаларидаги ҳар бир компонентнинг парциал босими фақат уларнинг эритмадаги концентрациясига боғлиқ бўлиб қолмай, бошқа компонентларнинг ҳам эритмадаги концентрациясига боғлиқ бўлади ва ўзгарувчан катталикларнинг функцияси билан аниқланади. Бундай ҳолларда мувозанат ҳолати тажриба асосида олинган қийматлар орқали аниқланади.

### 9.3-§. Процесснинг материал баланси

**Материал баланс ва абсорбент сарфи.** Фазалар сарфини аппаратнинг баландлиги бўйича ўзгармас деб ва ютилаётган газнинг миқдорини нисбий моль концентрацияда қабул қиламиз. Материал баланс тенгламасини чиқариш учун абсорбция процессидаги физик катталикларни қуйидагича белгилаймиз:  $G$  — инерт газнинг сарфи, кмоль/с;  $Y_0$  ва  $Y_1$  — газ аралашмасидаги абсорбтивнинг дастлабки ва охириги концентрацияси, кмоль/кмоль инерт газга нисбатан;  $L$  — абсорбентнинг сарфи;  $X_0$  ва  $X_1$  абсорбентнинг концентрацияси, кмоль/кмоль. Бу ҳолда материал балансининг тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$G(Y_1 - Y_0) = L(X_1 - X_0). \quad (9.11)$$

Бу тенгламадан абсорбентнинг сарфи:

$$L = G \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}. \quad (9.12)$$

Унинг солиштирма сарфи эса кмоль/кмоль инерт газга нисбатан:

$$l = \frac{L}{G} = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}. \quad (9.13)$$

Бу тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Y_1 - Y_0 = l(X_1 - X_0). \quad (9.14)$$

(9.14) тенгламага асосан абсорбция аппаратидаги концентрация тўғри чизиқ бўйича ўзгаради, шунинг учун абсорбция процессининг графикадаги иш чизиги  $Y - x$  координатада тўғри чизиқ бўлиб, оғиш бурчигининг тангенци  $l = L/G$  га тенг бўлади.



#### 9.4-§. Абсорбциянинг асосий тенгламаси

Абсорбция процессининг тезлиги, агар ҳаракатлантирувчи куч газ фазасининг концентрацияси орқали ифодаланса, абсорбциянинг асосий тенгламаси билан ҳаракатланади:

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta y_f \cdot \tau. \quad (9.15)$$

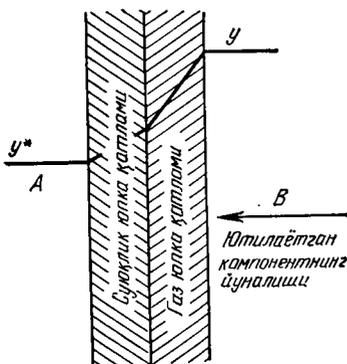
Ҳаракатлантирувчи куч суюқлик фазасининг концентрацияси билан ифодаланса тенглама қуйидагича бўлади:

$$M = K_x \cdot F \cdot \Delta x_f \cdot \tau, \quad (9.16)$$

бу ерда  $M$  — газ фазасидан суюқлик фазасига берилган модданинг миқдори, кг;  $F$  — фазаларнинг контакт юзаси,  $m^2$ ;  $\Delta y_f$ ,  $\Delta x_f$  — процессининг ҳаракатлантирувчи кучи бўлиб (кг/ $m^3$ , Н/ $m^2$ , мм симоб устуни) концентрациялар фарқини кўрсатади;  $K_y$ ,  $K_x$  — модда ўтказиш коэффициентларининг ўлчами, улар  $\Delta x_f$  ва  $\Delta y_f$  нинг ўлчамига боғлиқ:

$$[K] = \frac{\text{кг}}{m^2 \cdot \text{кг} (m^3 \cdot \text{соат})}; \quad [K] = \frac{\text{кг}}{m^2 H / (m^2 \cdot \text{соат})};$$

$$[K] = \frac{\text{кг}}{(m^2 \cdot \text{мм симоб устуни} \cdot \text{соат})};$$



9.3- расм. Абсорбция процессининг механизми.

Абсорбция процессининг механизми 9.3- расмда кўрсатилган. Бунда ҳар бир фаза асосий масса ва чегара плёнкасидан иборат. Асосий моддаларда ютилувчи компонент конвектив диффузия билан кетади. Иккала чегара плёнкаларида ютилувчи компонент молекуляр диффузия ёрдамида ўтказилади. Шу сабабли модда ўтказишга бўлган тўла қаршилик чегара плёнкалари йиғиндисидан иборат бўлади.

Суюқ плёнкадаги модда ўтказишга бўлган қаршиликни  $1/\beta_c$ , газ плёнкадаги қаршиликни эса  $m/\beta_g$  билан белгилаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_g} + \frac{m}{\beta_c}}; \quad (9.17)$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_c} + \frac{1}{\beta_g \cdot m}}; \quad (9.18)$$

бу ерда  $\beta_g$  — газ оқимидан фазаларнинг контакт юзасига берилаётган модда алмашиниш коэффициенти;  $\beta_c$  — фазаларнинг контакт юзасидан суюқлик оқимининг фазасига берилаётган модда алмашиниш коэффициенти;  $m$  — пропорционаллик коэффициенти, газ ва ютувчининг хоссасига ва температурасига боғлиқ.

Модда бериш коэффициентларининг қийматлари суюқлик ва газ фазалари ўртасида контакт ҳосил қилиш усулига, газ ва суюқликнинг

физик хоссаларига ва уларнинг ҳаракат тезликларига боғлиқ. Модда алмашилиш коэффициентларининг миқдори критериал ва эмпирик тенгламалар ёрдамида топилади.

Агар газ суюқликда жуда яхши эрувчан бўлса, пропорционаллик коэффициенти  $m$  нинг қиймати жуда кичик бўлади. Худди шунингдек, суюқ фазадаги диффузион қаршилиқ ҳам жуда кам бўлади. Бунда  $1/\beta_r \gg 1/\beta_c$  бўлгани учун  $K_y = \beta_r$  бўлади.

Суюқликда ёмон эрувчан газларда эса, газ фазасидаги диффузион қаршилиқни ҳисобга олмаса ҳам бўлади (чунки  $m$  ва  $\beta_r$  нинг қиймати жуда катта). Шунинг учун  $1/\beta_c \gg 1/\beta_r$   $m$  бўлгани сабабли  $K_a = \beta_c$  бўлади.

(9.15) тенгламадаги газ фазаларининг моль концентрацияларини газнинг парциал босими билан алмаштириб, уни умумий босим улушларида ифодаласак, абсорбциянинг асосий тенгламаси келиб чиқади:

$$M = K_p \cdot F \cdot \Delta p_y, \quad (9.19)$$

бу ерда  $\Delta p_y$  — босим бирликларида ифодаланган процесснинг ўртача ҳаракатлан-тирувчи кучи;  $K_p$  — ҳаракатлантирувчи кучга нисбатан олинган ютиливчи газнинг парциал босими билан ифодаланган масса ўтказиш коэффициенти.

Агар мувозанат чизиги тўғри бўлса, процесснинг ўртача ҳаракат кучи қуйидагича аниқланади:

$$\Delta p_y = \frac{\Delta p_{ка} - \Delta p_{ки}}{2,3 \lg \frac{\Delta p_{ка}}{\Delta p_{ки}}}; \quad (9.20)$$

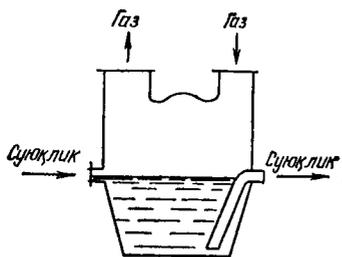
бу ерда  $\Delta p_{ка} = p_c - p_0^*$  ва  $\Delta p_{ки} = p_0 - p_c^*$  — абсорбция аппаратининг охириги қисмидаги ҳаракатлантирувчи кучи;  $p_c$  ва  $p_0$  — аппаратга кираётган ва чиқаётган газнинг парциал босими;  $p_0^*$ ,  $p_c^*$  — аппаратга кираётган ва чиқаётган мувозанат газнинг парциал босими.

Агар парциал босим умумий босимнинг улушларида ифодаланса, модда ўтказиш коэффициентлари  $K_p$  ва  $K_y$  ўзаро бир-бирига тенг бўлади. Парциал босим босим бирликларида ифодаланса,  $K_p = PK_y$  бўлади.

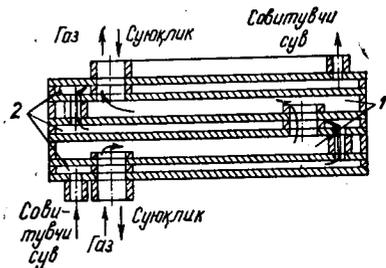
## 9.5-§. Абсорберларнинг тузилиши

Абсорбция процесслари олиб бориладиган аппаратлар абсорберлар дейилади. Масса ўтказишнинг бошқа турлари каби, абсорбция процесси ҳам контакт юзалар фазасида боради. Шунинг учун абсорберларда суюқлик билан газнинг ўзаро контакт юзалари катта бўлиши керак. Бу юзанинг ўлчамларига қараб абсорберлар тўрт гурпуга бўлинади; 1) сиртий ёки плёнкали; 2) насадкали; 3) тарелкали ёки барботажли; 4) сочилувчан.

**Сиртий абсорберлар.** Бу турдаги абсорберлар яхши эрийдиган газларнинг суюқлик ҳажмида ютилишида ишлатилади. Бундай аппаратларда ҳаракатсиз ва жуда секин ҳаракатланаётган суюқлик юза-



9.4- расм. Сиртий абсорбер.



9.5- расм. Пластинали абсорбер:

1 — абсорбент ва газ кирадиган канал; 2 — совитувчи агент оқадиган канал (совитувчи сув).

сидан газ ўтади (9.4- расм). Абсорберда газ билан сувоқликнинг контакт юзаси кичик бўлгани учун, бир неча аппарат кетма-кет уланади, газ билан сувоқлик эса бир-бирига қараб қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Абсорберда сувоқлик бир аппаратдан иккинчи аппаратга ўз-ўзича оқиб тушиши учун кейингиси олдингисидан пастроқ қилиб ўрнатилади. Абсорбция процессида ҳосил бўлган иссиқликни ажратиб олиш учун аппаратнинг ичига сув билан совитувчи эме-виклар ўрнатилади.

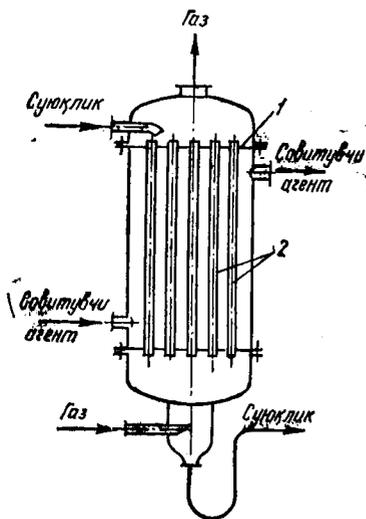
Пластинали абсорбер икки системали каналдан иборат бўлиб, кўндаланг кесими катта бўлган каналдан газ ва абсорбент, кўндаланг кесими кичик каналдан эса совитувчи агент (сув) ҳаракат қилади (9.5- расм). Пластинали абсорберлар кўпинча агрессив муҳитларга

чидамли, иссиқликни яхши ўтказиш хусусиятига эга бўлган графитдан тайёрланади.

Сиртий абсорберларнинг эффективлиги кам ва кўп жойни эгаллагани учун саноатда кам ишлатилади.

**Плёнкали абсорберлар.** Бу аппаратларнинг тузилиши сиртий абсорберларга нисбатан ихчам, эффективлиги юқори бўлгани учун кўпроқ ишлатилади. Плёнкали абсорберларда фазаларнинг контакт юзаси оқабётган сувоқлик плёнкалари орқали ҳосил қилинади. Бу абсорберлар қуйидаги турларга бўлинади; труба, листли - насадкали, кўтариладиган сувоқлик плёнкали абсорберлар.

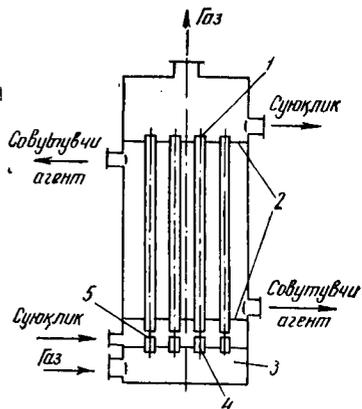
**Труба абсорберлар.** Бу аппаратларнинг тузилиши кожух-труба абсорберларнинг аппаратига ўхшаш (9.6- расм). Абсорбент аппаратнинг юқориги қисмидаги труба тў-



9.6- расм. Труба абсорбер:

1 — труба тўрлари; 2 — трубалар.

сиқлар орқали трубаларга махсус тақсимлагич воситасида бир меъёрда тақсимланиб, трубанинг баландлиги бўйлаб ички юзасидан юпқа плёнка ҳолда пастга ҳаракат қилади. Газ эса трубанинг пастки қисмидан юқорига, плёнка ҳолида оқиб келаётган суюқликка қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Суюқликка ютилган газ аппаратнинг пастки қисмидаги штуцер орқали ажратиб олинади. Ҳосил бўлган иссиқликни ажратиб олиш учун трубалар орасидаги бўшлиққа сув ёки совитувчи суюқлик берилади.



9.7-расм. Суюқлик кўтарилма ҳаракат қилувчи плёнкали абсорбер.

1 — трубалар; 2 — труба тўрлари; 3 — камера; 4 — газ бериладиган штуцер; 5 — абсорбент бериладиган тешик.

**Кўтариладиган суюқлик плёнкали абсорберлар.** Бу аппарат труба тўсиқларга ўрнатилган бир неча трубалар ва камерадан иборат (9.7-расм). Газ камерадан патрубкка орқали трубаларга, абсорбент эса тешиклар орқали трубаларга берилади. Катта тезлик билан ҳаракат қилаётган газ ўзи билан суюқлик плёнкасини пастдан юқорига олиб чиқиб кетади. Аппаратда абсорбент билан газ бир хил йўналишда юқорига қараб ҳаракат қилади. Трубалардан чиққан суюқлик труба тўсиқларга қўйилади ва патрубкка орқали ташқарига чиқиб кетади, тозаланган газ эса аппаратнинг юқориги қисмидан ташқарига чиқиб кетади. Процесс давомида ҳосил бўлган иссиқликни ажратиб олиш учун трубалар орасига совитувчи суюқлик берилади.

Кўтариладиган суюқлик плёнкали абсорберларда газнинг ҳаракат тезлиги (30 ... 40 м/с) катта бўлгани учун, масса ўтказиш коэффициентининг миқдори ҳам катта, аммо бу аппаратларда гидравлик қаршилик нисбатан юқори бўлади.

**Насадкали абсорберлар.** Ҳар хил шаклли қаттиқ жисмлар, яъни насадкалар билан тўлдирилган вертикал колонналарнинг тузилиши содда ва юқори самарадорликка эга бўлгани учун улар саноатда кенг ишлатилади. Насадкали колонналарда насадкалар газ ва суюқлик ўтадиган таянч тўрларга ўрнатилади. Газ тўрнинг тагига берилади, сўнгра насадка қатламидан ўтади (9.8-расм). Суюқлик эса колоннанинг юқориги қисмидан махсус тақсимлагичлар орқали сочиб берилади, у насадка қатламидан ўтаётганида пастдан берилаётган газ оқими билан учрашади. Колонна эффектив ишлаши учун суюқлик бир текисда, аппаратнинг бутун кўндаланг кесими бўйлаб бир хил сочиб берилиши керак. Бу аппаратларда контакт юза насадкалар ёрдамида ҳосил қилинади. Насадкалар максимал солиштира юзага, минимал массага, насадкалар эгаллаган юзага ва эркин ҳажмга эга бўлиши керак.

Насадкалар қуйидаги кўрсаткичлар билан характерланади:

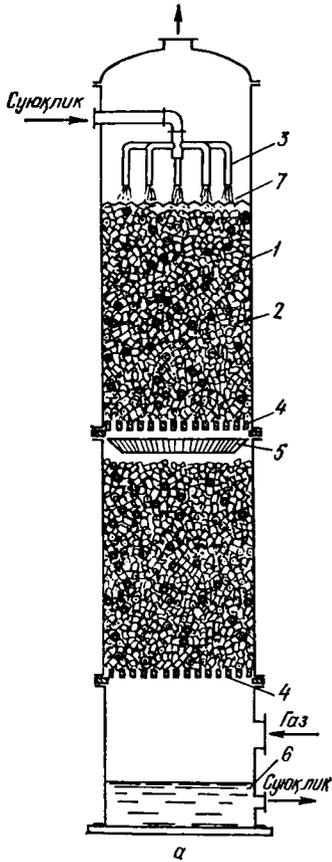
1. Солиштира юза  $\sigma$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; бу катталиқ абсорбернинг 1 м<sup>3</sup> ҳажмига тўлдирилган насадканинг юзасини билдиради.

2. Эркин ҳажм  $V$ ,  $m^3/m^3$ ; бу катталиқ  $1 m^3$  ҳажмдаги насадкаларнинг ичида қанча эркин ҳажм борлигини кўрсатади.

3.  $1 m^3$  насадканинг массаси  $M$ , кг.

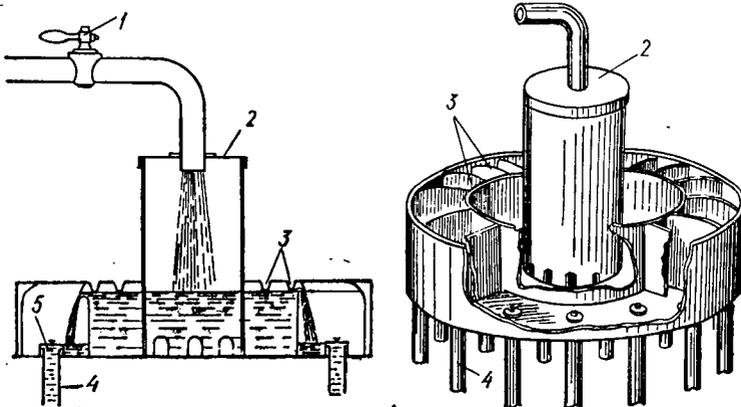
Насадкалар сифатида Рашиг ҳалқалари, керамик буюмлар, кокс, майдаланган кварц, полимер, ҳалқалар, металлдан тайёрланган тўрлар, шарлар, проппеллерлар, эгарсимон элементлар ва бошқалар ишлатилади (9.9- расм). Булар ичида ҳалқасимон насадкалар кўп тарқалган. Насадкали колонналарда газ ва суюқлик қарама-қарши ҳаракатда бўлади. Берилаётган суюқликнинг миқдори (намлаш зичлиги) ва газ ҳаракатининг тезлигига кўра аппарат тўрт хил режимда ишлаши мумкин. Колоннадаги бу режимлар ҳўлланган насадканинг гидравлик қаршилиги билан газ тезлигининг ўзаро боғланиш графиги орқали ифодаланади (9.10- расм).

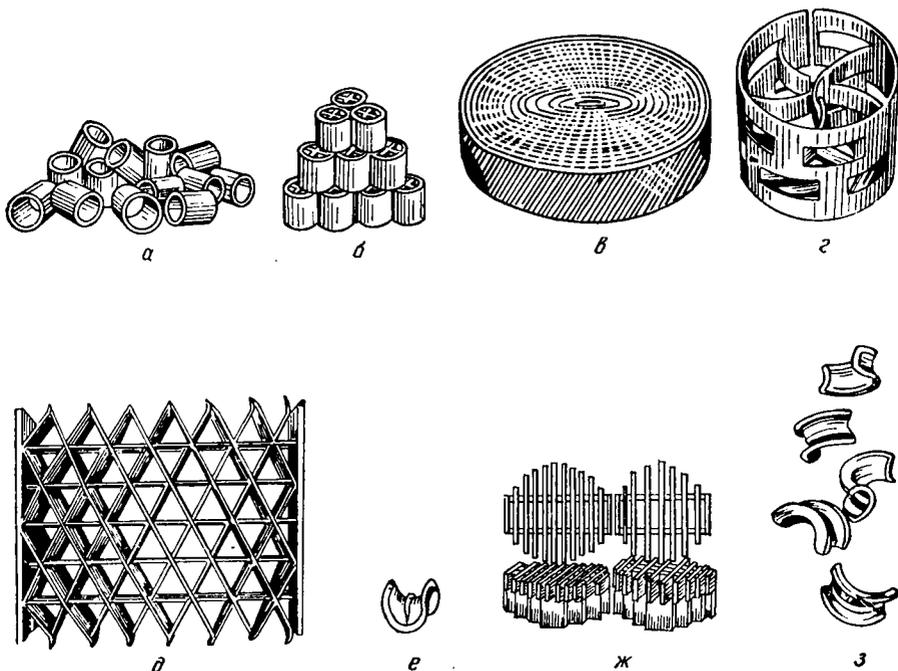
Газнинг кичик тезликларида ва суюқлик оз миқдорда берилганда плёнкали режим ҳосил бўлади. Бундай режимда суюқлик насадкалар бўйлаб томчи ва плёнкалар тарзида ҳаракат қилади. Суюқлик



9.8- расм. а) Насадкали абсорбер:

1 — цилиндрсимон қобик; 2 — насадка; 3 — суюқликни сочиб берувчи тақсимлагич; 4 — насадка қўйиладиган тўр; 5 — суюқлик тақсимлагич; 6 — гидравлик затвор; 7 — сетка; б) Социб берувчи тақсимлагич; 1 — кран; 2 — томчи камай; 3 — радиус бўйича суюқлик тақсимловчи тешиклари; 4 — трубалар; 5 — гидравлик затвор.



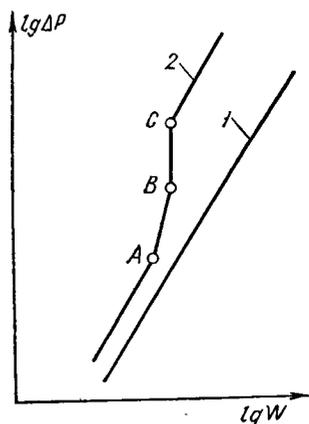


9.9-расм. Насадка турлари:

а) тартибсиз жойлаштирилган Рашиг ҳалқаси; б) тартибли жойлаштирилган ҳалқали тўсиқлар; в) Гудлой насадқаси; г) Паль ҳалқаси; д) Сирейпак ҳалқаси; е) Берль эгари; ж) хордли насадқа; з) Инталлокс эгари.

миқдори ва газнинг тезлиги бир оз кўпайганда оралиқ режим ҳосил бўлади. Бу режимда суюқликнинг плёнкали ҳаракатига газ тўсиқчилиги қилиб, унинг ҳаракатини секинлаштиради, натижада суюқлик уярма ҳаракат қилади. Газнинг тезлиги ошган сари суюқликнинг уярма ҳаракати тўлқинсимон (турбулент) ҳаракатга айланади. Тўлқинсимон режимда суюқлик фазаси турбулизация қилинган бўлади. Суюқ фазанинг турбулизацияланган плёнкалари юзасида фазалар ўзаро контактга учрайди.

Берилаётган суюқлик миқдори ва газ тезлиги анча кўпайганда эмульгацион режим ҳосил бўлади. Бу режим энг эффектив режим ҳисобланади. Бунда интенсив ара-лашиш юз беради, чунки суюқлик бўш ҳажмдаги насадқаларнинг ҳамма юзасини тўлдиради. Аммо колонна бу режимда иш-



9.10- расм. Насадқа гидравлик қаршилиги билан колоннадаги газ оқими тезлигининг ўзаро боғланиши:

1 — куруқ насадқа; 2 — ҳўлланган насадқа.

лаганда гидравлик қаршилиқ бошқа режимларга нисбатан юқори бўлади. Шунинг учун юқори босим остида ишлайдиган колонналарда гидравлик қаршилиқнинг таъсири бўлмагани учун, абсорбция процесси эмульгацион режимда олиб борилади.

Атмосфера босимида ишлайдиган колонналар гидравлик босимга таъсирчан бўлгани учун, улар плёнкали режимда ишлайди.

Суюқлик миқдори ва газнинг тезлиги яна ҳам ортиб кетса, у ҳолда суюқлик насадканинг устки сатҳидан ошиб, аппаратдан ташқарига чиқиб кетади. Бу режим амалда қўлланилмайди. Шу сабабли ҳар қандай шароитда техник-иқтисодий ҳисоблашлар орқали колонналарнинг ишлаши учун энг эффектив гидродинамик режим танланади.

Насадкалар эффектив ишлаши учун қуйидаги талаблар бажарилиши керак; 1) Насадкалар ҳажм бирлигида катта юзага эга бўлишлиги; 2) сочилиб берилувчи суюқлик билан яхши аралашishi; 3) газ оқими-га нисбатан кам гидравлик қаршилиқ кўрсатиши; 4) сочилувчан суюқликни бир хил тарқатиши; 5) колоннада ҳаракат қилаётган суюқлик ва газларнинг таъсирига нисбатан химиявий мустаҳкам бўлиши; 6) солиштира оғирлиги кам бўлиши; 7) механик жиҳатдан мустаҳкам; 8) арзон бўлиши лозим.

Лекин амалда бундай талабларни қондирадиган насадкалар учрамайди, масалан, солиштира юзанинг катта бўлиши, аппарат гидравлик қаршилиқнинг ортиб кетишига олиб келади. Шунинг учун саноатда абсорбция процессининг асосий талабларини қаноатландирадиган насадкалар ишлатилади.

Насадкали аппаратлар баландлиги бўйича бир-бирини устига тартибсиз ҳолда ва қаторма-қатор, бир-бирига нисбатан бир хил оралиқда, тартиб билан жойлаштирилади.

Тартиб билан жойлаштирилган насадкали аппаратларнинг гидравлик қаршилиги тартибсиз жойлаштирилган аппаратларникига нисбатан кам бўлиб, у газ ҳаракат тезлигининг катта бўлишини таъминлайди. Аммо тартиб билан жойлаштирилган аппаратларда насадкаларнинг яхши қўлланиши учун, суюқликни сочиб бериш қурилмаларининг конструкцiasi мураккаб бўлади.

Абсорбция колонналарининг диаметри катта бўлганда, ёғочдан тайёрланган махсус хордли насадкалар ишлатилади. Бундай насадкаларнинг тузилиши содда бўлиб, солиштира юзаси кичик бўлгани учун улар кичик бўш ҳажмга эга бўлади. Кейинги вақтларда металл симлардан спираль шаклда ва шиша толалардан тайёрланган насадкалар кўп ишлатилмоқда. Баъзи насадкаларнинг характеристикалари 9.1-жадвалда келтирилган.

Насадкаларни танлашда шу нарсага эътибор бериш керакки, насадка элементлари қанча катта бўлса, газларнинг тезлиги шунча юқори бўлиб, гидравлик қаршилиги кам бўлади. Абсорберларнинг умумий баҳоси насадка элементлари катта бўлганда арзон бўлади. Абсорберлар юқори босим остида ишлаганда кичик ўлчамли насадка элементлари ишлатилади, чунки бунда абсорбция аппаратларига гидравлик қаршилиқнинг таъсири бўлмайди. Бундан ташқари, насадка элементларнинг ўлчами кичик бўлса, унинг солиштира юзаси катта элементли насадкаларга нисбатан юқори бўлади ва абсорбция процес-

### 9.1- жа д в а л. Баъзи насадкаларнинг характеристикалари

Насадка тури	Элементларнинг ўлчами*, м	Солиштирма юзаси, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Бўш ҳажми, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1 м <sup>2</sup> насадканинг массаси, кг
1	2	3	4	5
Керамикадан тайёрланган	15×15×2	330	0,70	690
Рашиг ҳалқаси (тартибсиз жойлаштирилган)	25×25×3 50×50×5	200 90	0,74 0,785	530 530
Керамикадан тайёрланган Рашиг ҳалқаси (тартибли жойлаштирилган)	50×50×5 80×80×8 100×100×100	110 80 60	0,735 0,72 0,72	650 670 670
Пўлатдан тайёрланган Рашиг ҳалқаси (тартибсиз жойлаштирилган)	15×15×0,5 25×25×0,8 50×50×1	350 220 110	0,92 0,92 0,95	660 640 430
Паль ҳалқаси: керамикадан тайёрланган;	25×25×3	220	0,74	610
Пўлатдан тайёрланган	25×25×0,6	170	0,9	455
Керамик Берл эгари	20 25	310 250	0,69 0,70	800 720
Ёғочдан тайёрланган хордли насадка	10×100	100	0,55	210

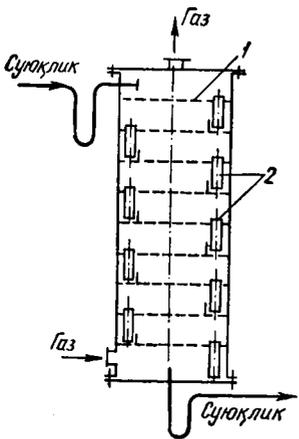
\* Элементларнинг ўлчами: бу ерда ташқи диаметр, баландлик ва девор қалинлиги берилган.

сида модаларнинг ажратувчи юза орқали бир фазадан иккинчи фазага ўтиш миқдори ҳам кўп бўлади.

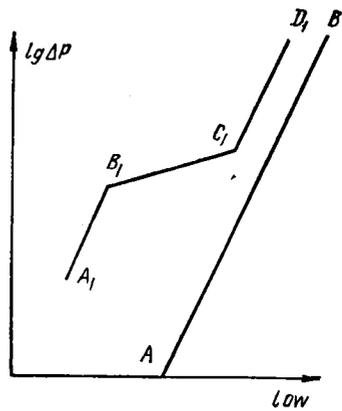
Насадкали колонналарда газларнинг ютилишида ажралиб чиқадиган иссиқликни йўқотиш қийин, бундан ташқари суюқликларнинг сочилиш миқдори кам бўлганда насадкалар ёмон ҳўлланади. Бу аппаратларда ҳосил бўладиган иссиқликни камайтириш, насадкаларни яхши ҳўллаш учун абсорбентларни насос орқали рециркуляция қилиш (яъни абсорбентнинг маълум қисмини қайтадан колоннага бериш) усули қўлланилади. Бу вақтда абсорбция қурилмасининг тузилиши мураккаблашади ва ортиқча насос киритиш натижасида унинг қиймати ортиб кетади. Насадкали колонналарда ифлосланган ёки лойқаланган суюқликларни ишлатиб бўлмайди. Шунинг учун бу ҳолда қайновчи насадкали колонналар ишлатилади. Насадка сифатида пластмассадан тайёрланган шарлар ишлатилади, газнинг тезлиги ортиши билан улар қайнай бошлайди. Бу абсорберларда газнинг тезлиги жуда ҳам юқори бўлиши мумкин.

**Тарелкали абсорберлар.** Бундай абсорберлар вертикал колоннадан иборат бўлиб, ички қисмига унинг баландлиги бўйлаб бир хил оралиқда бир нечта горизонтал тўсиқлар, яъни тарелкалар ўрнатилади. Тарелкалар орқали газ ва суюқлик бир-бири билан ўзаро тўқнашиб, уларнинг ҳаракати бошқарилади. Газларнинг суюқликдан ўтиши ва натижада томчи ҳамда кўпикларнинг ҳосил бўлиши *барботаж* дейилади.

Саноатда конструктив тузилиши турлича бўлган тарелкалар ишлатилади. Суюқликнинг бир тарелкадан иккинчи тарелкага қуйи-



9.11-расм. Қўйилиш қурилмаси бўлган тарелкали абсорбер.



9.12-расм. Тарелкали абсорберларнинг гидродинамик режими:

$A B$  — қуруқ тарелканинг ишлаш режими;  $A_1 B_1$  — пуфакли режим;  $B_1 C_1$  — кўпikli режим;  $C_1 D_1$  — оқимли режим

лишига қараб тарелкали абсорберлар: қўйилиш қурилмаси бор ва қўйилиш қурилмаси йўқ бўлади.

Қўйилиш қурилмаси бор тарелкали колонналарда суюқлик бир тарелкадан иккинчи тарелкага қўйилувчи труба ёки махсус қурилма орқали ўтади. Бунда трубанинг пастки қисми пастки тарелкадаги стаканга туширилган бўлиб, гидравлик затвор вазифасини бажаради, яъни бир тарелкадан иккинчи тарелкага фақат суюқликни ўтказиб газни ўтказмайди. 9.11-расмда қўйилиш қурилмаси бор тарелкали абсорбернинг ишлаш принципи кўрсатилган. Бунда суюқлик колоннанинг юқориги қисмидаги тарелкага берилиб, бу суюқлик тарелкадан тарелкаларга махсус қурилма орқали ўтиб, колоннанинг пастки қисмидан чиқиб кетади. Газ эса колоннанинг пастки қисмидаги тарелкаларнинг тешикчаларидан пуфакчалар ҳолида тақсимланиб, тарелкалардаги суюқлик қатламида кўпик қилиб юқорига ҳаракат қилади. Тарелкада ҳосил бўлган газ кўпиклари масса ва иссиқлик бериш процессининг асосий қисмини ташкил қилади. Тозаланган газ эса колоннанинг юқориги қисмидан чиқади. Қўйилиш трубалари шундай жойлаштириладики, бунда қўшни тарелкадаги суюқлик қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади.

Қўйилиш қурилмали абсорберларда элаксимон, қалпоқчали, клапанли ва пластинали тарелкалар ўрнатилади.

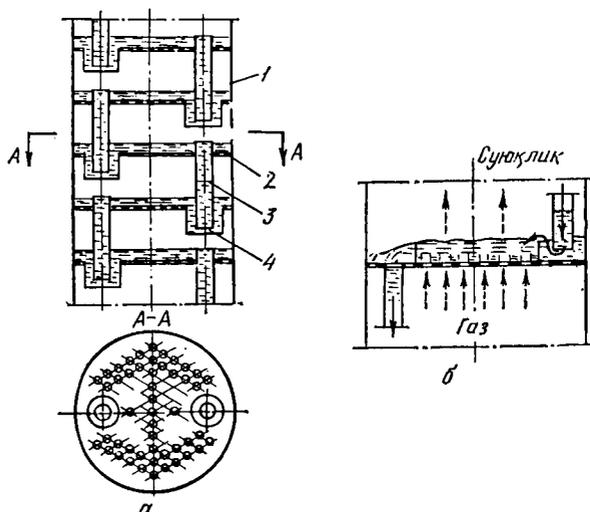
**Тарелкали абсорберларнинг гидродинамик режими.** Турли хилдаги бундай тарелкаларнинг самарали ишлаши гидродинамик ҳаракат режимида боғлиқ. Газларнинг тезлиги ва суюқликнинг тарелкаларда тақсимланишига қараб тарелкали абсорберлар уч хил: пуфакли, кўпikli, оқимли гидродинамик режимда ишлайди. Бу режимлар барботаж қатламининг структурасига қараб бир-бирдан фарқ қилиш билан бирга, контакт юзасининг катталиги, гидравлик қаршилик миқдорини ва баландлигини аниқлайди (9.12-расм).

**Пуфакли режим.** Газнинг тезлиги кичик бўлганда, у суюқлик қатламидан алоҳида пуфакчалар ҳолида ўтади. Бу тарелкалардаги газ билан суюқликнинг контакт юзаси кичик бўлади.

**Кўпикли режим.** Газнинг сарфи ортганда алоҳида пуфакчалар бир-бири билан бирлашиб, бир чизиқли оқим ҳосил қилади. Маълум масофадаги оқимда барботаж қатламининг қаршилиги натижасида оқимнинг бир чизиқлилиги бузилиб, катта пуфакчалар ҳосил бўлади. Бу вақтда тарелкада суюқлик — газ дисперс системаси ёки кўпиклар юзага келади. Бу система беқарор бўлиб, газнинг берилиши тўхташи билан кўпиклар ҳосил бўлмайди. Бу режимда газ билан суюқликнинг контакти газ пуфакчаларининг ёки газ оқимларининг юзасида, шунингдек, суюқлик томчиларининг сиртида юз беради. Кўпикли режимда ишлайдиган тарелкали абсорберларда газ билан суюқликнинг контакт юзаси миқдори катта бўлади.

**Оқимли режим.** Газ тезлиги яна ҳам кўпайтирилса, газ оқимларининг узунлиги катталашиб, улар барботаж қатламидан чиқиб кетади, лекин система барқарор бўлиб, бунда жуда кўп миқдорда томчилар ҳосил бўлади. Бу гидродинамик режимда фазаларнинг контакт юзаси бирдан камайиб кетади. Тарелкадаги бир режим иккинчисига аста-секин ўтади. Аммо барботаж процессининг тарелкалардаги гидродинамик режимларининг чегарасини умумий ҳисоблаш усуллари ҳали топилмаган. Шунинг учун тарелкали аппаратларни лойиҳалашда колоннанинг пастки ва юқориги қисмидаги тарелкаларга тўғри келадиган газ тезлиги аниқланади, сўнгра газнинг иш тезлиги танланади.

**Элаксимон тарелкали абсорберлар.** Бу аппаратларда вертикал цилиндрсимон қобиқ бўлиб, унинг ичига горизонтал тарелкалар ўрнатилади (9.13-расм). Тарелкаларнинг бутун юза қисми 1 ... 5 мм ли тешикчалардан иборат бўлади. Суюқликнинг бир тарелкадан иккинчисига ўтиши ва тарелкадаги суюқлик қатламининг баландлиги



9.13-расм. Элаксимон тарелкали абсорбер:

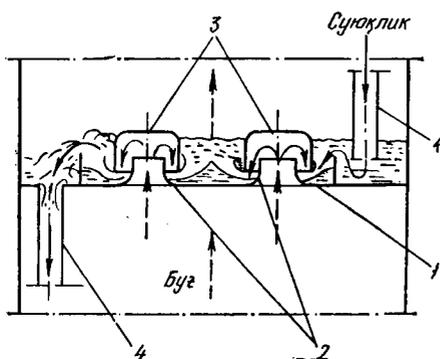
- а) колоннанинг тузилиши;  
 б) тарелканинг ишлаш принципи. 1 — қобиқ;  
 2 — тарелка; 3 — қуюлувчи труба; 4 — стакан.

қуйи қисми стаканга ўрнатилган қуйилувчи трубалар орқали ростланади. Газ тарелка тешикларидан ўтиб, суюқлик қатламида пуфакчалар ҳолида тақсимланади. Газ тезлиги жуда кам бўлса, бунда юқориги тарелкадаги суюқлик тешиклар орқали қуйи тарелкага оқиб тушиб кетади, натижада газ билан суюқликнинг масса алмашилиш самарадорлиги жуда ҳам камайиб кетади. Шунинг учун берилаётган газ тезлигининг миқдори ва унинг босими тарелкадаги суюқлик қатламининг босимидан юқори бўлиб, тарелкадан суюқликнинг оқиб тушишига йўл қўймаслик керак.

Элаксимон тарелкаларнинг тузилиши содда, монтаж қилиш, тузатиш ва кузатиб туриш осон, ҳамда гидравлик қаршилиги жуда кам. Элаксимон тарелкалар газнинг тезлиги катта интервалда ўзгарганда ҳам барқарор ишлайди. Бундан ташқари, бу тарелкалар газ ва суюқликнинг маълум миқдоридан энг эффектив ишлаш қобилиятига эга.

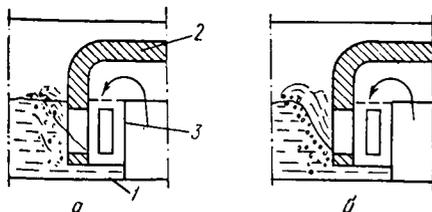
Элаксимон тарелкаларнинг тешиклари ифлосланади ва чўкиндилар таъсирида тез беркилиб қолади. Агар газнинг тезлиги ёки босими бирдан камайиб кетса ёки тўхтатиб қўйилса, тарелкалардаги суюқликнинг ҳаммаси қуйи тарелкаларга оқиб тушади ва процессни давом эттириш учун колонна қайтадан тўлдирилади.

**Қалпоқча тарелкали абсорберлар.** Элаксимон тарелкали абсорберларга



9.14- расм. Қалпоқчали тарелканинг ишлаш принципи:

1 — тарелка; 2 — газ патрубкиси; 3 — ҳалқали қалпоқчалар; 4 — қуйилиш трубалари.

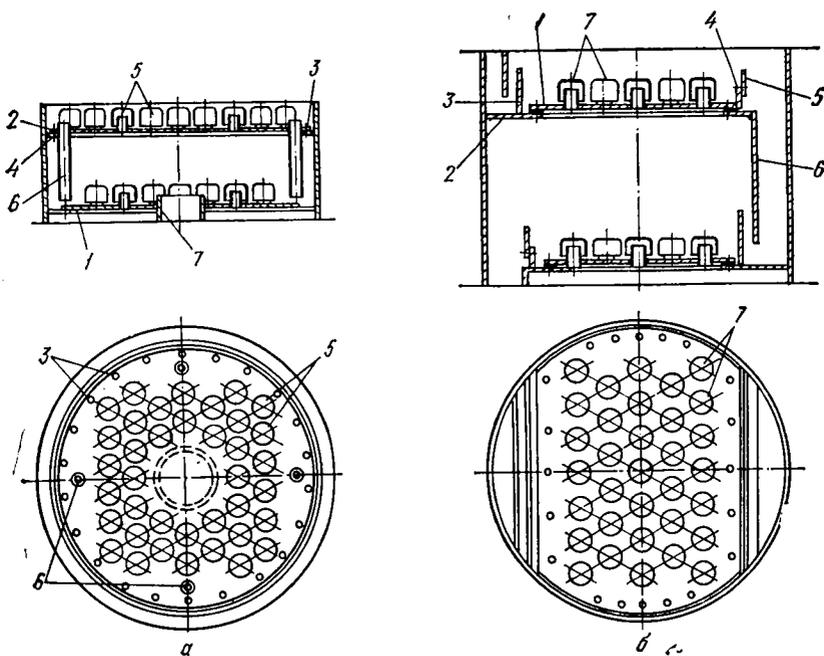


9.15- расм. Қалпоқча тешикларининг қisman ва тўла очилгандаги ишлаш принципи.

1 — тарелка; 2 — қалпоқча; 3 — газ патрубкиси;

абсорберларга нисбатан қалпоқча тарелкали абсорберлар газ аралашмалари ифлос бўлганда ҳам узоқ муддатда барқарор ишлайди. Газ тарелкаларга патрубклар орқали кириб, бир неча алоҳида оқим ҳолида қалпоқчаларнинг тешиги бўйлаб тақсимланади (9.14- расм). Қалпоқчаларнинг тешиклари тишли бўлади ва улар учбурчаклик тўғри бурчак шаклида тайёрланади. Кейин эса газ қуйиш қурилмаси орқали бир тарелкадан иккинчи тарелкага қуйилаётган суюқлик қатламиндан ўтади. Суюқлик қатламлиридаги ҳаракат давомида баъзи майда оқимчаларнинг бир қисми бўлиниб кетади, газ эса суюқликда пуфакчалар ҳолида тақсимланади. Қалпоқчали тарелкалардаги газ кўпиклари ва пуфакчаларнинг ҳосил бўлиши самарадорлиги газ ҳаракатининг тезлигига ва қалпоқчаларнинг суюқликка туширилган баландлигининг ўлчамига боғлиқ.

9.15- расмда қалпоқчали тарелка тешикларининг тўлиқсиз



9.16- расм. Суюқлик турлича қўйиладиган қалпоқчали тарелкалар:

а) радиус бўйлаб қўйилиш; 1 — диск; 2 — қистирма; 3 — болтлар; 4 — таянч ҳалқа; 5 — қалпоқча; 6 — қўйилиш трубалари; 7 — марказий қўйилиш трубаси; б) диаметр бўйлаб; 1 — диск; 2 — таянч лист; 3 — қабул қилувчи қисм; 4 — қуюлувчи қисм; 5 — кунгирали тароқ; 6 — тўсиқ; 7 — қалпоқча.

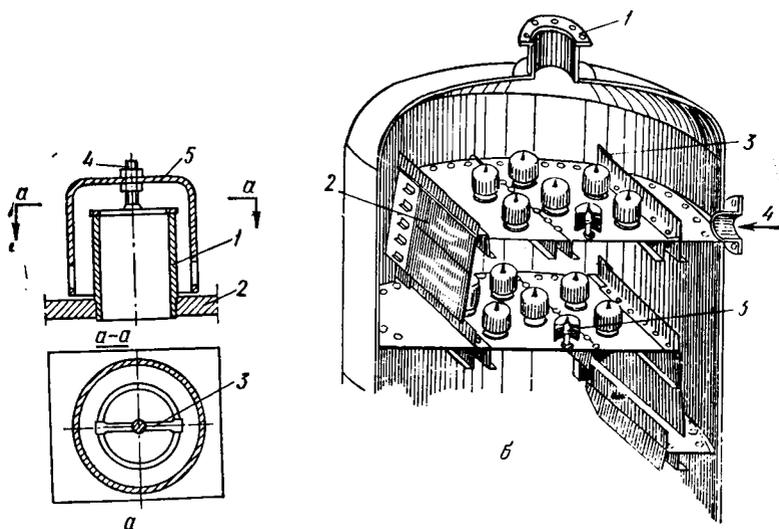
ва тўла очиқ ҳолдаги иш схемаси кўрсатилган. Қалпоқчаларнинг тешиги тўла очилганда улар энг эффектив ишлайди.

Қалпоқча тешигининг катталиги тор бўлиши керак, чунки бунда тақсимланаётган газ оқимлари жуда майда бўлакчаларга бўлиниши натижасида фазаларнинг контакт юзаси ортади. Контакт юзанинг катталиги қалпоқча тешигининг катталиги ва шаклига боғлиқ. Бундан ташқари, тарелкаларда бир-бирига яқин қилиб кўп қалпоқчалар ўрнатилиши сабабли контакт юзаси ортади.

Қалпоқчали тарелкалар суюқликни радиал ва диаметр бўйича тақсимлайдиган (қуядиган) қилиб тайёрланади. Радиал бўйлаб қўйиладиган тарелка таянч ҳалқага болт ва қистирма билан ўрнатилган пўлат дискдан иборат. Қалпоқчалар тарелкаларга шахмат усулида жойлаштирилади.

Суюқлик юқориги тарелкадан пастки тарелкага сиртқи қўйиш трубалари орқали қўйилиб, марказга томон ҳаракат қилади ва кейинги тарелкага марказий труба орқали ўтади. Сўнгра суюқлик яна сиртқи қўйиш трубаларига томон ҳаракат қилади, процесс қайта такрорланади (9.16- расм).

Суюқлик диаметр бўйлаб қўйиладиган қалпоқчали тарелка таянч листга ўрнатилган, икки томони кесилган дискдан иборат (9.16-



9.17- расм. Капсула қалпоқчали тарелка:

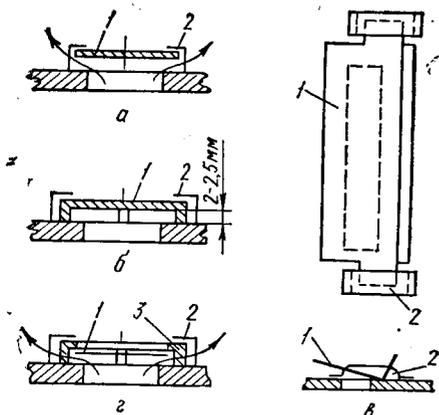
а) қалпоқчанинг тузилиши; 1 — буғ патрубкиси; 2 — тарелка; 3 — планка; 4 — болт.  
 б) ташқи кўриниши; 1 — газ чиқадиган штуцер; 2 — қуюлувчи тўсиқ; 3 — планка;  
 4 — суюқлик кирадиган штуцер; 5 — қалпоқча.

расм, б). Тарелка икки қисмдан иборат бўлиб, бир томонидан суюқлик оқиб тушса, иккинчи томонидан чиқиб кетади. Тарелкадаги суюқликнинг баландлиги тароққа ўхшаш кунгара билан контрол қилинади. Тарелкаларда қуйиш трубалари ўрнига тўсиқлар билан чегараланган сегментсимон тешиклар бўлгани учун суюқликнинг оқиш периметри катта бўлиб, қуйилаётган суюқликнинг кўпикланиши кам бўлади.

Шунга ўхшаш, абсорбция процессида штампланган капсула қалпоқчали тарелкалар ҳам ишлатилади (9.17- расм).

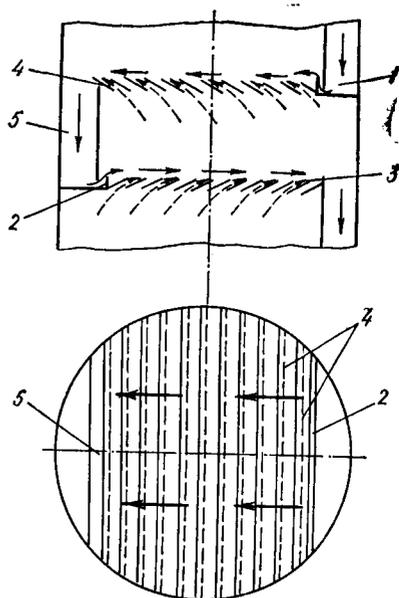
Қалпоқчали тарелкалар газ ва суюқликнинг сарфи катта бўлганда ҳам барқарор ишлайди. Камчиликлари: конструкцияси мураккаб, гидравлик қаршилиги катта, тозалаш қийин, қиммат туради, берилаётган газ миқдори кам бўлганда ёмон ишлайди.

Процесс давомида газларнинг тезлиги тез ўзгарса, клапанли тарелкалар ишлатилади. Тарелкадаги клапанлар думалоқ балласт пластина шаклида бўлади. Думалоқ клапанларнинг диаметри 45 ... 50 мм ва улар орасидаги масофа эса 75 ... 150 мм бўлади (9.18- расм). Умуман олганда клапанларнинг кўтарилиш баландлиги 6,5 ... 8 мм гача бўлади. Балласт тарелкалар бир меъёрда ишлаши, газнинг тезлиги, ҳар хил интервалда ўзгарганда ҳам суюқлик қайтиб тушмаслиги билан бошқа тарелкалардан фарқланади. Думалоқ клапанли ва балласт тарелкаларнинг газ бўйича ўтказувчанлиги юқори, газнинг миқдори катта бўлганда ҳам барқарор ва эффектив ишлайди. Камчиликлари: клапан ва балласт бўлганлиги сабабли гидравлик қаршилиги катта.



9.18- расм. Клапанли тарелкалар;

*a, б.* — думалоқ клапанлар; *в.* — пластинали клапанлар; *г.* — балластли; *1* — клапан; *2* — кронштейн; *3* — балласт;



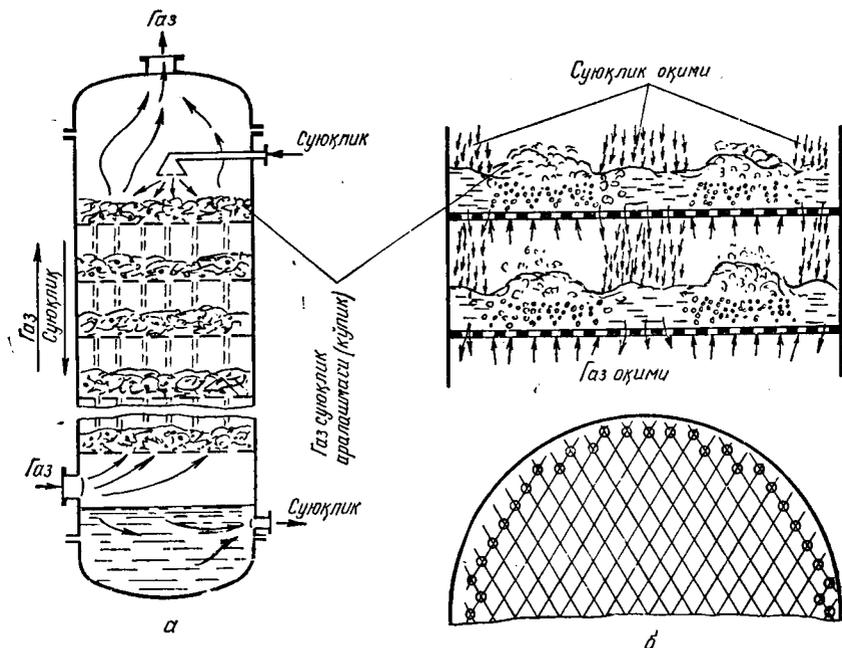
9.19- расм. Пластинали тарелка:

*1* — гидравлик затвор; *2* — қуюлувчи тўсиқ; *3* — тарелка; *4* — пластина; *5* — қуюлувчи чўнтак.

Пластинали тарелкаларда фазалар юқориги тарелкаларга нисбатан бир томонлама йўналишда ҳаракат қилади. Ҳар бир поғона тўғри йўналишда ишлагани учун газ ва суюқликнинг сарфини бирдан ошириш мумкин. Бутун колонна эса фазаларнинг қарама-қарши йўналишида ишлайди. Пластинали тарелка колоннада суюқлик юқориги тарелкадан гидравлик затворга тушиб, қуйиш тўсиқлари орқали оғма шаклда жойлашган қатор пластиналардан ташкил топган тарелкага тушади (9.19- расм). Тарелкага тушган суюқлик оғма пластиналардан ташкил топган пластиналарнинг биринчи тешигига кириши заҳоти тешикдан катта тезликда чиқиб келаётган газ билан тўқнашади (пунктир чизик).

Пластиналарнинг оғиш бурчаги кичик бўлгани (10 ... 15°) учун кираётган газ тарелка текислигига нисбатан бир оз параллел бўлади. Натижада суюқлик сиқилади ва газ оқимида суюқлик майда томчиларга ёйилиб, тарелка бўйича кейинги тешикларга отилади ва суюқлик билан газнинг тўқнашиши яна такрорланади. Бунда суюқлик катта тезликда тарелка бўйлаб қуйиш тўсиқларидан тўкиш чуқурчасига томон ҳаракат қилади.

Пластинали тарелкаларда бошқа конструкцияли тарелкаларга нисбатан суюқлик дисперс, яъни тарқалувчи фазада бўлиб, газ эса яхлит ҳолда бўлади. Газ билан суюқлик томчи ва кўпиклар сиртида тўқнашади. Тарелкадаги газ-суюқлик (дисперс) фазалардаги гидродинамик режим томчи ва кўпик ҳолида бўлади. Пластинали тарелкаларнинг гидравлик қаршилиги кам, уни тайёрлаш учун кам металл сарфланади, лойқаланган суюқликларда ҳам яхши ишлаши мумкин.



9.20-расм. Қуйилиш қурилмаси бўлмаган тарелкалар:  
 а) ағдарилма тарелка; б) икки ёни тешик ағдарилма тарелка.

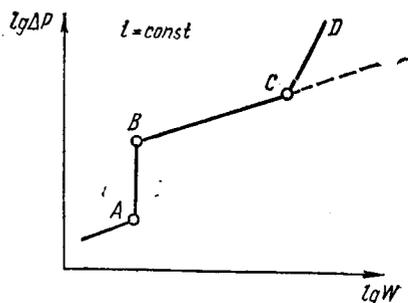
Бу тарелкаларда колонна баландлиги бўйлаб газ билан сууюқликнинг аралашishi натижасида масса алмашинишининг ҳаракатлантирувчи кучи кўп бўлади.

Пластинали тарелкаларнинг камчиликлари: тарелкага иссиқлик бериш ва ҳосил бўлган иссиқликни олиб кетиш қийин, сууюқлик сарфи кам бўлгани сабаби, унинг иш самарадорлиги кам. Шунинг учун ҳозирги вақтда саноатнинг кўп тармоқларида сууюқлик билан газнинг йўналиши бир хил бўлган махсус конструкцияли тарелкалар кенг-роқ қўлланилмоқда.

**Қуйиш қурилмаси бўлмаган тарелкалар.** Бу хилдаги тарелкаларда газ ва сууюқлик битта тешикдан колоннанинг тарелкасига берилади (9.20-расм). Тарелкада газ билан сууюқликнинг бир вақтда ўзаро таъсирида барботаж натижасида сууюқликнинг бир қисми пастдаги тарелкага ўз-ўзича оқиб тушади. Шунинг учун бу хилдаги колонналар ағдарилма тарелкали колонналар дейилади. Булар тўрли, тешикли, трубапи ва тўлқинсимон бўлади.

**Ағдарилма тарелканинг гидродинамик режими.** Бу режим ўзгармас намлаш зичлигида газ оқимининг тезлиги билан гидравлик қаршилик ўртасидаги боғланишни ифодалайди (9.21-расм). Газнинг тезлиги кам бўлганда тарелкаларда сууюқлик ушланиб қолмайди, чунки бунда фазалар орасидаги ишқаланиш кучи кичик бўлади (АВ чизиқ).

Газнинг тезлиги ортиши билан тарелка сиртида суюқлик йиғила бошлайди, газ эса суюқликни кўпиртириб орасидан тушади (*BC* чизиқ). Газ тезлигининг бу оралиғида, яъни *BC* чизиқ участкасида тарелка нормал ишлайди. Бу вақтда газ билан суюқлик навбатма-навбат битта тешикдан ўтади. Агар газнинг тезлиги янада оширилса, газ билан суюқлик орасидаги ишқаланиш ортиши натижасида суюқликнинг тарелкада йиғилиши бирдан кўпаяди, гидравлик қаршилик ҳам бирдан ошиб, натижада суюқлик тарелкада тиқилиб қолади (*CD* чизиқ). Суюқлик сарфи кам, тарелканинг бўш кесими ва тешикларнинг диаметри катта бўлганда *C* нуқтада кескин ўзгариш бўлмайди (пунктир чизиқ). Ағдарилма тарелкаларда газнинг нормал режимдаги ва тиқилиб қолиш ҳолатидаги тезлиги тарелка тешигининг эквивалент диаметрига ва бўш кесимининг юзасига, газ ва суюқликнинг сарфига, зичлигига ва қовушоқлигига боғлиқ.



9.21- расм. Ағдарилма тарелканинг гидравлик қаршилиги билан колоннадаги газ оқим тезлигининг ўзаро боғланиши.

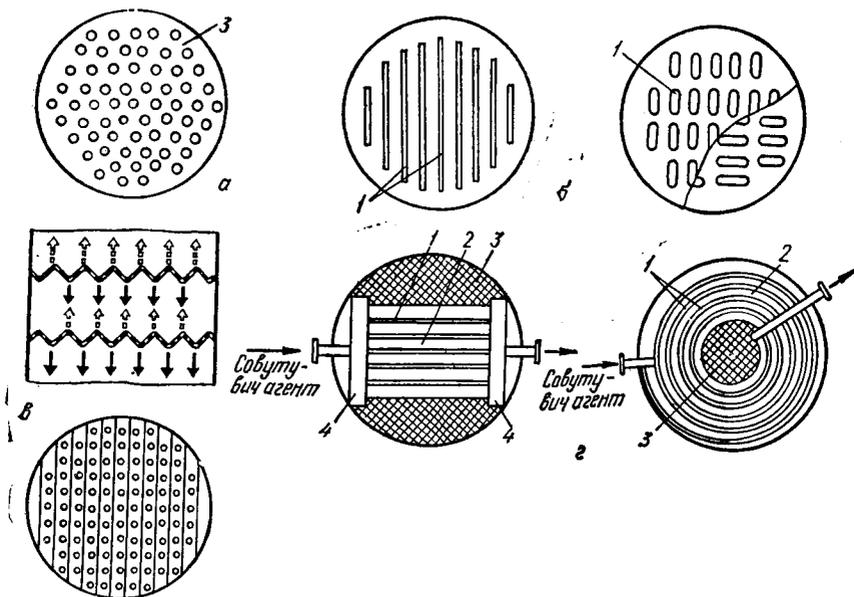
Тешикли тарелкалар тузилиши жиҳатидан элаксимон тарелкаларга ўхшаш бўлиб, улардан қуйиш қурилмаси бўлмаганлиги билан фарқланади (9.22- расм, *a*). Тарелкадаги тешикларнинг диаметри 4 ... 10 мм бўлиб, ҳамма тешиклар юза кесимининг йиғиндиси колонна юза кесимининг 10 ... 25% ини эгаллайди.

Тўрли тарелкаларда суюқлик ва газ ўтадиган тешиклар тўр шаклида бўлиб, тешиклар катталиги 3 ... 8 мм бўлади. Тўрли ағдарилма тарелкаларнинг конструкцияси содда, бошқа тарелкаларга нисбатан гидравлик қаршилиги кам, уларни тайёрлаш ва монтаж қилиш арзон.

Трубали ағдарилма тарелкаларда барботаж қатламида ҳосил бўладиган иссиқликни трубаларга совитувчи агент бериб ажратиб олиш қулай. Аммо бундай тарелкаларнинг тузилиши тешикли ва тўрли тарелкаларга нисбатан мураккаб.

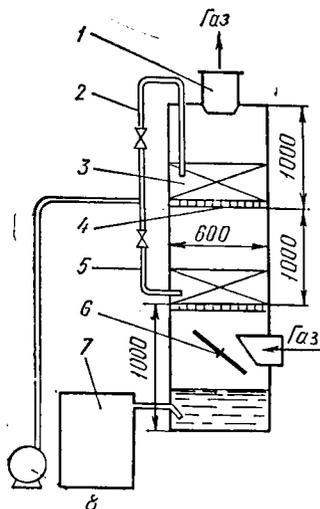
Бу учала ағдарилма тарелкада уларнинг эффектив ишлашини таъминловчи газ ва суюқлик тезлиги кам миқдорда ўзгаради.

Тошкент Политехника институтининг «Процесс ва аппаратлар» кафедрасида абсорбция процессининг самарадорлигини ошириш мақсадида қуйиш қурилмаси бўлмаган ағдарилма тарелкали колонналарда жойлашган насадкаларнинг мавҳум қайнаш қатламда ишлаши таклиф этилди. Бу колонналарда парчаланиш натижасида ҳосил бўладиган газ аралашмаларидаги  $\text{CO}_2$  гази моноэтаноламин эритмасида юттирилади. Бунда насадка сифатида ҳалқасимон элементлар ишлатилади. Процесс давомида намлаш зичлиги кўп [7 ... 200 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · соат)] миқдорда, газнинг тезлиги эса 6 м/с гача ўзгариши мумкин. Мавҳум қайнаш қатламида ҳалқасимон насадкалар қўлланилганда шарсимон насадкаларга нисбатан аппаратнинг унумдорлиги 1,5 марта ортади.



9.22-расм. Афдарилма тарелкаларнинг турлари:

а — тешикли; б — тўрли; в — тўлқинсимон; г — трубапи. 1 — тешиклар; 2 — трубапалар; 3 — лист; 4 — коллектор.

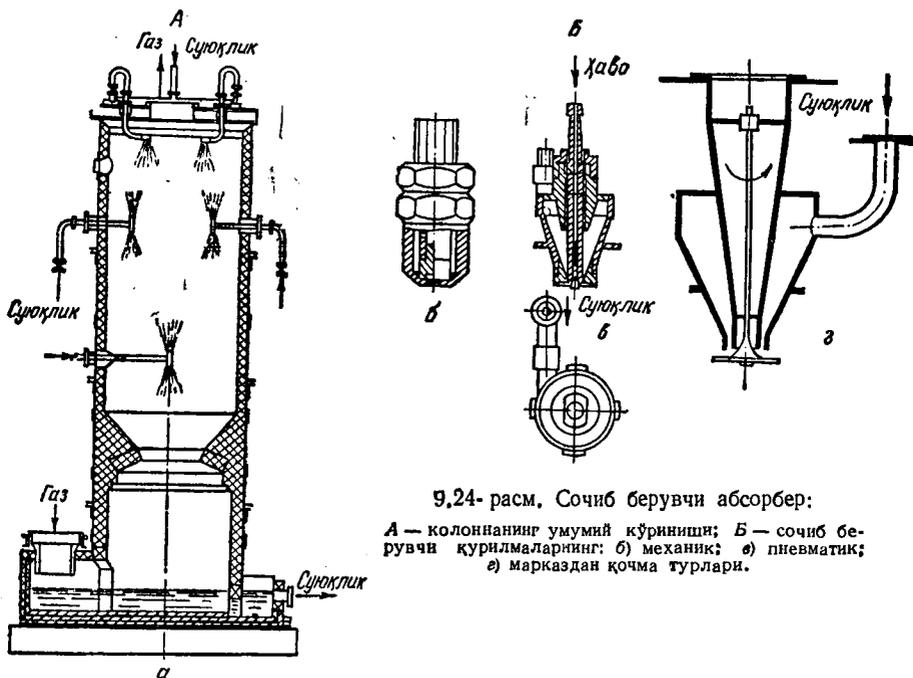


9.23-расм. Ярим ҳалқали абсорбер:

1 — чиқиш штуцери; 2,5 — узатиш трубапалари; 3 — насадка қатлами; 4 — тарелка; 6 — диск; 7 — бак; 8 — циркуляцион насос.

Бундан ташқари, процесснинг хушусияти, тарелкаларнинг тузилиши, газ ва суюқликнинг колоннага берилишига қараб абсорберларнинг конструктив тузилиши ҳар хил бўлиши мумкин. Масалан, мураккаб азот-фосфор (аммофос) ўғитлар ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган газ аралашмаларидаги фтор бирикмалари ва аммиакни тозалаш учун мавҳум қайнаш қатламида ишлайдиган ярим ҳалқали насадкали абсорберлар таклиф қилинади (9.23-расм). Бу абсорберда суюқлик тарелканинг устки ва пастки қисмидаги насадканинг сиртига, газ эса махсус бошқарилувчи диск орқали пастки тарелкага берилади.

Ҳалқасимон ва ярим ҳалқали насадкалар резина, полиэтилен, полипропилен, алюминий ва мисдан тайёрланади. Уларнинг ўлчами  $8 \times 4 \times 1$  мм дан  $40 \times 20 \times 3$  мм гача, массаси эса 5...13 г бўлиши мумкин.



9.24- рasm. Сочиб берувчи абсорбер:

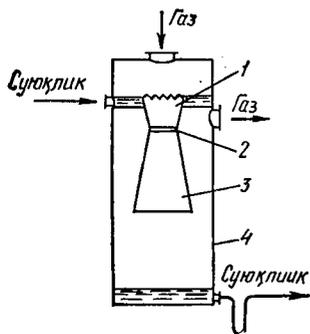
А — колоннанинг умумий кўриниши; Б — сочиб берувчи қурилмаларнинг: б) механик; в) пневматик; ж) марказдан қочма турлари.

**Сочиб берувчи абсорберлар.** Бу абсорберларда фазаларнинг ўзаро жипс контакти суюқликни газ оқимиغا сочиб ёки ёйиб бериш усули орқали амалга оширилади. Ичи бўш сочиб берувчи абсорберлар вертикал колоннадан иборат бўлиб, юқориги қисмига суюқликни сочиб берувчи махсус форсункалар ўрнатилади (9.24- рasm). Сочиб берувчи абсорберларда форсункалардан суюқлик узоқлашиб, томчиларга айланиши натижасида ҳажмий модда ўтказиш коэффициентининг қиймати бирдан камаяди. Шу сабабли бу аппаратларда форсункалар маълум масофада аппаратнинг баландлиги бўйича бир неча қатор қилиб ўрнатилади.

Сочиб берувчи ичи бўш абсорберларнинг тузилиши содда, гидравлик қаршилиги кам, ифлосроқ газ аралашмаларини ҳам тозалаш мумкин, бошқариш, тузатиш ва тозалаш осон. Камчиликлари: бу аппаратларнинг эффективлиги юқори эмас, суюқликни сочиб бериш учун кўп энергия сарфланади, лойқаланган суюқликлар билан ишлаш қийин, фазаларнинг контакт юзасини ошириш учун кўпроқ суюқлик сарфланади, суюқлик томчилари колоннадан чиқиб кетмаслиги учун газ тезлигининг миқдори кичик қийматга эга.

Фазаларнинг нисбий тезлиги катта ва газ оқими тўлқинсимон ҳаракатда бўлгани учун бу аппаратларда газ фазасидаги масса алмашилиш коэффициенти юқори бўлиб, бу абсорберлар яхши эрийдиган газларни суюқликка ютириш учун кенг қўлланилади.

Тўғри йўналишли сочиб берувчи абсорберларда сочилиб берилаётган суюқлик газ оқими билан қамраб олиниб, катта тезликда ( $\omega =$



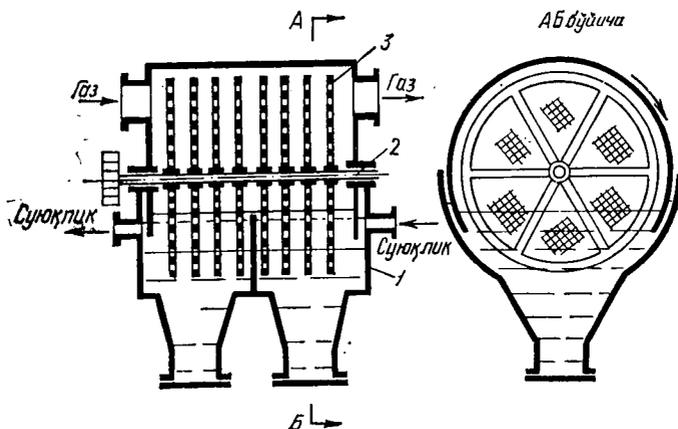
9.25- расм. Вентури абсорбери:

1 — конфузор; 2 — диффузорнинг бугъзи; 3 — диффузор; 4 — ажратиш камераси.

= 20 ... 30 м/с дан юқори) ҳаракат қилаётган газ оқими билан аралашиб кетади. Сўнгра ажратиш камерасида суюқлик газдан ажратиб олинади. Бу аппаратларга мисол қилиб Вентури абсорберини келтириш мумкин, унинг асосий қисми Вентури трубасидан иборат (9.25- расм). Труба орқали берилаётган суюқлик диффузорнинг устки қисмидан плёнка ҳолида оқиб, диффузорда колоннанинг юқorigи қисмидан кираётган газ оқимига ёйилиб кетади. Диффузорда газнинг тезлиги камайиб, газ оқимининг кинетик энергияси босим энергиясига айланади. Газ оқимига аралашган суюқлик томчилари эса колоннанинг ажраткич қисмида ажратиб олинади.

Сочиb берувчи абсорберларнинг яна бир тури — механик абсорберлар бўлиб, буларда суюқлик билан газнинг контакт юзасининг катта бўлишини таъминлаш учун суюқлик айланма механизм ёрдамида сочиb берилади (9.26- расм). Қисман суюқликка ботирилган, горизонтал валга ўрнатилган тешикли дисклар қўзғалмас қобик ичида айланма ҳаракат қилади. Вал айланиши натижасида суюқлик дискларга интилиб, майда томчилар шаклида атрофга сочилади.

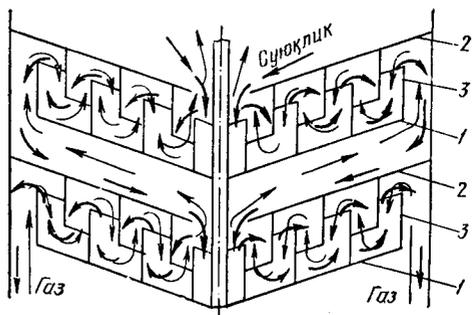
**Роторли марказдан қочма абсорбер.** Бу аппаратлар айланувчи валга ва корпусга ўрнатилган айланувчи ва қўзғалмас тарелкалардан иборат (9.27- расм). Айланувчи ва қўзғалмас тарелкалар қирра тўсиқлар орқали бир неча секцияларга бўлинади. Натижада айланувчи ва қўзғалмас тарелкалар орасида ҳалқасимон каналлар ҳосил бўлади. Суюқлик колоннанинг марказий қисмига берилиб, марказдан қоч-



9.26- расм. Механик абсорбер:

1 — қобик; 2 — вал; 3 — тўрли дисклар.

ма куч таъсирида айланувчи тарелканинг секцияларидаги қирраларига сочилиб кетади. Сууюқлик томчилари газ билан тўлдирилган бўшлиққа томон ҳаракат қилиб, қўзғалмас тарелканинг қирраларига урилади. Шундай қилиб, сууюқлик аппарат марказидан тарелкага томон ҳаракат қилиши натижасида фазалар орасида бир неча марта контактлашиш юз беради. Механик абсорберлар бошқа сочиб берувчи абсорберларга нисбатан ихчам ва эффектив ишлайди. Аммо конструкцияси мураккаб ва процессни бошқариш учун кўп энергия сарф бўлади.



9.27- расм. Роторли абсорбер:

1 — айланувчи тарелкалар; 2 — қўзғалмас тарелка;  
3 — қиррали ҳалқалар.

### 9.6- §. Абсорберларни ҳисоблаш

Абсорберларни ҳисоблаш учун қуйидаги параметрлар берилиши керак: газнинг сарф миқдори; унинг дастлабки ва процесс охиридаги концентрацияси; абсорбентнинг бошланғич концентрацияси. Бу катталиклар асосида абсорбентнинг сарф миқдори  $L$ , абсорбернинг баландлиги ва диаметри ҳамда унинг гидравлик қаршилиги аниқланади.

**Абсорберларнинг гидравлик қаршилиги.** Газ колонна бўйлаб ҳаракатланганда у гидравлик қаршиликни енгади, кириш ва чиқишдаги газ босимлари фарқи газнинг ҳаракат қилиши учун тўсқинлик қилган гидравлик қаршиликнинг миқдорига тенг бўлади.

Абсорбернинг гидравлик қаршилиги унинг конструкциясига, газ тезлигига, аппаратнинг гидродинамик режимига боғлиқ. Умуман олганда эса гидравлик қаршилик асосан газнинг тезлигига боғлиқ.

Абсорбердаги газнинг оптимал тезлиги газнинг тезлигига боғлиқ бўлган барча факторларни ҳисобга олган ҳолда фақат техник-иқтисодий ҳисоблашлар орқали аниқланади. Агар абсорбция процесси юқори босим остида боса, абсорбердаги гидравлик қаршиликни энгиш учун кетган босим йўқотишлари умумий босимнинг жуда кичик улушларини ташкил қилиб, абсорберларнинг иқтисодий кўрсаткичларига ҳеч қандай таъсир қилмайди. Бу вақтда абсорбердаги газнинг тезлигини энг катта миқдорда олиш мумкин, масалан (0,8 ... 0,9)  $\omega$ . Бу ерда  $\omega$  — тиқилиб қолиш нуқтасига тўғри келган газнинг тезлиги.

Колонна атмосфера ёки ундан паст босимда ишласа, газни узатишда сарф бўладиган энергиянинг миқдорини камайтириш учун абсорбердаги газнинг тезлигини кичик қилиб олинади.

Ҳар қандай аппаратни иқтисодий жиҳатдан тежамли қилиб лойиҳалаш учун колонна диаметрини кичикроқ қилиб аппаратдаги газ оқимининг тезлигини ошириш керак. Абсорбернинг диаметри секундли сарф тенгласи орқали қабул қилинган газнинг фиктив тезлиги  $\omega_0$  воситасида ифодаланади:

$$D = \sqrt{\frac{4V_c}{\pi\omega_0}};$$

бу ерда  $V_c$  — колоннадан ўтаётган газнинг ҳажмий сарф миқдори, м<sup>3</sup>/с.

Абсорбернинг баландлиги, агар процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи газ фазасининг концентрацияси билан ифодаланса модда ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot S \cdot \Delta y_{\text{ср}}}; \quad (9.21)$$

бу ерда  $M$  — ютилган газ миқдори,  $K_y$  — модда ўтказиш коэффициенти,  $a$  — контактлашувчи фазаларнинг солиштирма юзаси,  $S$  — колоннанинг кўндаланг кесими,  $\Delta y_{\text{ср}}$  — процесснинг ўртача ҳаракатлантирувчи кучи.

Контактлашувчи фазаларнинг юзаси номаълум бўлса абсорбернинг баландлиги модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициенти ёки бир фазадан иккинчи фазага ўтаётган моддаларнинг миқдори билан аниқланади.

**Плёнкали абсорберларни ҳисоблаш.** Бу абсорберларда газ оқими билан суюқлик тўхтовсиз таъсир қилиб, суюқлик плёнка ҳолида колонна баландлиги бўйича оқиб тушиб туради. Плёнканинг гидравлик қаршилиги қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\Delta P_{\text{пл.}} = \lambda \frac{H}{d_3} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}; \quad (9.22)$$

бу ерда  $H$  — оқиб тушаётган плёнка юзасининг баландлиги, м;  $d_3$  — газ ҳаракатланаётган каналнинг эквивалент диаметри м;  $\omega$  — суюқлик плёнкасининг ўртача тезлиги, м/с;  $\rho$  — газнинг зичлиги; кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  — ишқаланиш коэффициенти. Ишқаланиш коэффициенти газ ҳаракатининг режимига, яъни газ учун олинган  $Re$  критерийсининг миқдорига ҳамда ўлчовсиз комплекс  $\omega\mu/\delta$  нинг қийматига боғлиқ; бу ерда  $\mu$  — суюқликнинг қовушоқлиги;  $\delta$  — сирт таранглик;  $\lambda$  нинг қиймати қуйидаги тенгламадан аниқланади:

агар  $Re_r < Re_{кр}$  бўлса

$$\lambda = \frac{86}{Re}. \quad (9.23)$$

Агар  $Re_r > Re_{кр}$  бўлса

$$\lambda = \frac{0,11 + 0,9 \left( \frac{\omega\mu}{\delta} \right)^{2/3}}{Re_r^{0,16}}; \quad (9.24)$$

бу ерда  $Re_r = \omega d_3 \rho / \mu_r$  — газ фазаси учун Рейнольдс критерийси;  $Re_{кр}$  — суюқлик плёнкасининг физик хусусиятларини, газ оқимининг ҳаракат тезлигини ва режимини ҳисобга олувчи Рейнольдс критерийсининг критик қиймати.  $Re$  ниц критик қиймати қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Re_{кр} = \left[ \frac{86}{0,11 + 0,9 \left( \frac{\omega\mu}{\delta} \right)^{2/3}} \right]^{1,19}. \quad (9.25)$$

Трубали абсорберларнинг диаметрини аниқлаш учун трубалардаги газнинг қабул қилинган тезлиги бўйича трубаларнинг умумий кўндаланг кесим юзаси аниқланади:

$$S = \frac{V}{\omega}, \text{ м}^3.$$

Трубаларнинг ички диаметрини (0,02 ... 0,05) м деб олиб, трубаларнинг умумий сони аниқланади:

$$n = \frac{S}{0,785 \cdot d^2}. \quad (9.26)$$

Трубалар орасидаги масофа  $t = (1,25 \dots 1,5)d_t$  ни ва қалинлиги  $\delta_{\text{тр}}$  ни аниқлаб, абсорбернинг диаметри секундли сарф тенгламасидан аниқланади. Бу ерда  $d_t$  трубанинг ташқи диаметри.

Тиқилиб қолиш нуқтасига тўғри келган газнинг тезлиги  $\omega_t$  қуйидагича аниқланади:

$$\lg\left(\frac{\omega_t^2 \cdot \rho_r}{g \cdot d_s \cdot \rho} \mu^{0,16}\right) = A - 1,75 \left(\frac{L'}{G'}\right)^{1/4} \left(\frac{\rho_r}{\rho}\right)^{1/8}, \quad (9.27)$$

бу ерда  $\rho$  — суюқлик зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — суюқлик қовушоқл ги, Н·с/м<sup>2</sup>;  $L'$  ва  $G'$  — суюқлик ва газнинг сарф миқдори, кг/с.

(9.27) тенглама насадкали ва плёнкали абсорберлар учун умумий бўлиб, фақат  $A$  нинг қиймати билан фарқланади. Плёнкали абсорберлар учун:

$$A = 0,47 + 1,5 \lg \frac{d_s}{0,025}.$$

Трубали абсорберларнинг баландлиги қуйидагича аниқланади:

$$H = \frac{F_{\text{тр}}}{n \cdot \pi \cdot d_n}, \quad (9.28)$$

бу ерда  $F_{\text{тр}}$  — трубаларнинг умумий ички юзаси,  $d_n$  — трубанинг ички диаметри.

Трубалардан оқиб тушаётган плёнканинг қалинлиги эътиборга олинмаса, у ҳолда трубаларнинг ички юзаси газ ва суюқликларнинг контакт юзасига тенг бўлади:  $F_{\text{тр}} = F$ , бунда:

$$F = \pi \cdot n \cdot d_n \cdot H. \quad (9.29)$$

$F$  нинг қийматини модда ўтказишнинг асосий тенгламасига қўйсақ, унда абсорбернинг баландлиги қуйидагича топилади:

$$H = \frac{M}{n \cdot \pi \cdot d_n \cdot K_y \cdot \Delta y}. \quad (9.30)$$

Модда ўтказиш коэффициентларини ҳисоблашда газ фазасидаги модда бериш коэффициенти қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\text{Nu}_r = \frac{\lambda}{8} \text{Re}(\text{Pr})^{1/2}, \quad (9.31)$$

бу ерда  $\lambda$  — ишқаланиш коэффициентининг қаршилиги.

Газ фазадаги ўтказиш сонининг баландлиги

$$h = \frac{8 \cdot d_g \cdot \text{Re}^{0,16} (\text{Pr})^{2/3}}{\left[ 0,44 + 3,6 \left( \frac{\omega \cdot \mu}{\delta} \right)^{2/3} \right]}; \quad (9.32)$$

(9.31) (9.32) тенгламалардаги  $\text{Nu}' = \beta d_g / D$  ифода диффузион Нусельт критерийси;  $D$  — газ фазасидаги молекуляр диффузия коэффициентини,  $\text{m}^2/\text{c}$ ;  $\text{Pr} = \frac{\mu_r}{\rho_r D}$  — диффузион Прандтл критерийси.

Суюқлик фазасидаги модда бериш коэффициентини қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\text{Nu}'_c = B \cdot \text{Re}_c^m (\text{Pr}'_c)^n \left( \frac{\delta_k}{H} \right)^p; \quad (9.33)$$

бу ерда  $\text{Nu}'_c$  — суюқ плёнка учун диффузион Нусельт критерийси;

$d_g = 4\pi \cdot d \delta / \pi \cdot d = 4 \delta$  — суюқлик плёнкасининг эквивалент диаметри;

$\text{Re}_c = \frac{\omega \cdot d_g \rho}{\mu}$  — суюқлик плёнкаси учун Рейнольдс критерийси;

$\text{Pr}'_c = \mu / \rho \cdot D_c$  — суюқлик учун Прандтл критерийси;  $D_c$  — суюқлик фазасидаги молекуляр диффузия коэффициентини,

$\delta_k = [\mu^2 (\rho g)]^{1/3}$  — плёнканинڭ қалинлиги.

$B$  коэффициент ва даража кўрсаткичлари  $m$ ,  $n$ ,  $p$  қийматларининг суюқлик плёнкаси режимининг характериға боғлиқлиги 9.2- жадвалда келтирилган:

9.2- ж а д в а л

Харакат режими	$B$	$m$	$n$	$p$
$\text{Re}_c < 300$ , ламинар	0,888	0,45	0,5	0,5
$300 < \text{Re}_c < 1600$ , ўтиш режими	$1,21 \cdot 10^6 \cdot 0,909^p$	$\frac{p}{3} - 2,18$	0,5	$\frac{3,2 - \lg \text{Re}_c}{1,47}$
$\text{Re}_c > 1600$ , турбулент	$7,7 \cdot 10^{-5}$	1,0	0,5	0

Худди шу режимлар учун ўтказиш сонининг баландлиги ( $\text{Re}_c < 300$  бўлганда);

$$h_c = 0,282 \delta_k \text{Re}_c^{0,55} \cdot (\text{Pr}'_c)^{0,5} \left( \frac{H}{\delta_k} \right)^{0,5}; \quad (9.34)$$

$300 < \text{Re}_c < 1600$  бўлганда

$$h_c = 0,206 \delta_k \cdot \text{Re}_c^{2,18 - (p/3)} \cdot (\text{Pr}'_c)^{0,5} \cdot \left( \frac{H}{\delta_k} \right)^p; \quad (9.35)$$

$\text{Re} > 1600$  бўлганда

$$h_c = 3250 \cdot \delta_k \cdot (\text{Pr}'_c)^{0,5}. \quad (9.36)$$

**Насадкали абсорберларни ҳисоблаш.** Абсорбердан газ ўтганда напорнинг йўқолиши содир бўлади. Йўқолган напорнинг миқдори насадканинг характериға, газнинг тезлиғиға, намланиш зичлиғиға боғлиқ. Қуруқ насадкадаги напорнинг йўқолиши ёки қуруқ насадканинг қаршилиғи қуйидагича аниқланади:

$$\Delta p_k = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\rho_r \omega^2}{2}; \quad (9.37)$$

бу ерда  $H$  — насадка қатламининг баландлиғи, м;  $d_s$  —  $4\epsilon/a$  = насадка элементлари ташкил қилган каналларнинг эквивалент диаметри;  $\epsilon$  — насадканинг эркин ҳажми ёки насадкалар орасидаги бўшлиқ ҳажми;  $a$  — насадканинг солиштира юзаси  $m^2/m^2$ ;  $\omega = \omega_0/\epsilon$  — насадка қатламидаги газнинг ҳақиқий тезлиғи ( $\omega_0$  — газнинг фиктив тезлиғи ёки аппаратнинг тўла кесимиға нисбатан олинган газнинг тезлиғи, м/с);  $\lambda$  — ишқаланиш ва маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун кетган босимнинг йўқотилишини ҳисобға олувчи қаршилиқ коэффициенти.

Қаршилиқ коэффициенти  $\lambda$  нинг қиймати  $Re$  критерийсига боғлиқ. У насадканинг турли элементлари учун газнинг ҳаракат режимига асосан эмпирик тенгламалар билан аниқланади. Масалан, абсорберлардаги тартибсиз жойлаштирилган ҳалқали насадкаларда газнинг ламинар режимдаги ҳаракати учун ( $Re < 40$ ):

$$\lambda = \frac{140}{Re}. \quad (9.38)$$

Турбулент режимдаги газнинг ҳаракати учун ( $Re > 40$ ):

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}}. \quad (9.39)$$

Қолоннаға тартибли жойлаштирилган ҳалқали насадкалар учун

$$\lambda = \frac{9,2}{Re^{0,375}}; \quad (9.40)$$

бу ерда  $Re = \omega \cdot d_s \cdot \rho_r / \mu_r$  — газ учун берилган Рейнольдс критерийси;  $\rho_r$  ,  $\mu_r$  — газнинг зичлиғи ва қовушоқлиғи.

Намланган насадканинг гидравлик қаршилиғи  $\Delta p_x$  қуруқ насадкаларникидан катта, чунки суюқликнинг маълум миқдори насадканинг ҳўлланиши натижасида унинг юзасида ва насадканинг тор каналларида ушланиб қолади. Натижада насадканинг бўш ҳажми ва кесими камаяди ҳамда газнинг ҳақиқий тезлиғи кўпайиб, насадканинг гидравлик қаршилиғини оширади. Намланган насадканинг гидравлик қаршилиғини аниқ ҳисоблаш қийин, чунки газнинг тезлиғи ва намлаш зичлиғи бир хил бўлганда ҳам  $\Delta p_x$  нинг қиймати насадканинг колонна ичида жойлашувига боғлиқ. Насадка элементларининг катталиғи турлича бўлгани учун  $\Delta p_x$  нинг қиймати ўзгарувчан бўлади.

Қолонна иши давомида намланган насадканинг гидравлик қаршилиғи тахминан қуйидаги эмпирик формуладан аниқланади:

$$\Delta p_x = 10^{au} \Delta p_k, \quad (9.41)$$

бу ерда  $u$  — намлаш зичлиғи,  $m^3/m^2 \cdot c$ ;  $b$  — насадканинг катталиғи ва намлаш зичлиғиға қараб тажриба орқали аниқланадиган коэффициент. Масалан, намлаш зичли-

ги  $u = (0,5 \dots 36,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  бўлганда ўлчами  $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$  бўлган насадка учун  $b$  нинг қиймати  $b = 51,2$  бўлади.

Намланган юза  $a_n$  нинг ҳамма насадка элементларининг солиштирма юзаси  $a$  га нисбати насадканинг намлаш коэффициентини  $\psi$  дейилади:

$$\psi = \frac{a_n}{a}.$$

Насадканинг намлаш коэффициенти қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\psi = 1 - A \cdot e^{-m}. \quad (9.42)$$

Даража кўрсаткич  $m$  нинг қиймати:

$$m = c \operatorname{Re}_c^n = c \left( \frac{4u\rho}{a\mu} \right); \quad (9.43)$$

бу ерда  $\rho$ ,  $\mu$  — суюқликнинг зичлиги ва қовушоқлиги. Насадканинг турига қараб  $A$ ,  $c$  ва  $n$  нинг миқдори махсус адабиётларда берилди. Масалан, ўлчами  $15 \dots 35 \text{ мм}$  бўлган Рашиг ҳалқаси учун:  $A = 1,02$ ;  $c = 0,16$ ;  $n = 0,4$ .

Абсорбернинг диаметри қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$u = \frac{L_0}{0,785 \cdot D^2}; \quad (9.44)$$

бу ерда  $L_0$  — абсорбердаги сарф,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Абсорбернинг иш баландлиги насадкаларнинг ҳажми асосида аниқланади. Насадканинг ҳажми эса ўз навбатида худди шу насадка учун унинг модда ўтказиш юзасига боғлиқ. Бу ҳолда насадканинг ҳажми:

$$V_{\text{нас}} = H \cdot S = \frac{F}{a\psi}, \quad (9.45)$$

бу ерда  $S$  — колоннанинг кўндаланг кесими юзаси,  $\text{м}^2$ . Модда ўтказиш юзаси эса, модда ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади.  $F$  нинг қийматини (9.45) тенгламага қўйиб, абсорбернинг баландлигини аниқлаймиз:

$$H = \frac{V_{\text{нас}}}{S} = \frac{F}{Sa\psi} = \frac{M}{Sa\psi K_y \Delta y_y}.$$

Модда ўтказиш коэффициентлари  $K_x$ ,  $K_y$  ни ҳисоблашда, газ фазасидаги модда бериш коэффициенти  $\beta_r$  тартибсиз ўрнатилган насадкалар учун қуйидаги критериял тенгламадан аниқланади:

$$\text{Nu}'_r = 0,407 \cdot \text{Re}_r^{0,655} (\text{Pr}')^{0,33}. \quad (9.45)$$

Газ фазаси учун баландлик бирлигидан ўтаётган газ фазасидаги ўтказиш сонининг баландлиги қуйидагича:

$$h_r = 0,615 \cdot d_s \cdot \text{Re}_r^{0,345} \cdot (\text{Pr}')^{0,66}. \quad (9.47)$$

Тартибли жойлаштирилган насадкалар учун:

$$\text{Nu}'_r = 0,167 \text{Re}_r^{0,74} \cdot (\text{Pr}')^{0,33} \cdot \left( \frac{l}{d_s} \right)^{0,47} \quad (9.48)$$

ёки

$$h_r = 1,5d_s \cdot \text{Re}_r^{0,26} (\text{Pr}')^{0,67} \cdot \left(\frac{l}{d_s}\right)^{0,47}; \quad (9.49)$$

бу ерда  $l$  — насадканинг баландлиги.

(9.46), (9.49) тенгламалардаги  $\text{Nu}_r = \beta_r d_s / D$  ва  $\text{Re}_r = \omega_0 d_s \rho_r / \varepsilon \mu_r$  критерийларда аниқловчи геометрик катталик сифатида насадканинг эквивалент диаметри олинади ( $d_s = 4\varepsilon/a$ ). Ҳалқасимон насадкалар учун суюқлик фазасидаги модда бериш коэффициентининг ҳамма насадкаларнинг бирлик юзасига бўлган нисбати қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\text{Nu}_c = 0,0021 \text{Re}_c^{0,75} (\text{Pr}'_c)^{0,5}, \quad (9.50)$$

бу ерда

$$\text{Nu}_c = \beta_c \delta_k / D_c.$$

$\text{Nu}_c$  — Нусельт критерийси ҳосил бўлган плёнка қалинлиги учун ҳисобланган.

Суюқ фазадаги ўтказиш сонининг баландлиги эса:

$$h_c = 119 \delta_k \cdot \text{Re}_c^{0,25} \cdot (\text{Pr}'_c)^{0,5}. \quad (9.51)$$

Тарелкали абсорберларни ҳисоблаш. Бу абсорберларда газнинг ҳаракати қуруқ тарелка ва суюқлик юзасидаги сирт таранглик кучи тарелкадаги газ-суюқлик қатламига қаршилик қилади. Шунинг учун тарелкаларнинг гидравлик қаршилиги уч қаршилиқнинг йиғиндисига тенг бўлади;

$$\Delta P_r = \Delta p_{\text{кр}} + \Delta p_{\text{ск}} + \Delta p_{\text{ге}}, \quad (9.52)$$

бу ерда  $\Delta P_{\text{кр}}$  — қуруқ тарелканинг қаршилиги;  $\Delta P_{\text{ск}}$  — суюқлик юзасида сирт таранглик кучи таъсирдан ҳосил бўладиган қаршилик;  $\Delta P_{\text{ге}}$  — газ-суюқлик қатламидаги қаршилик.

Қуруқ тарелканинг қаршилиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\Delta p_{\text{кр}} = \xi \frac{\omega_r \rho_r}{2}. \quad (9.53)$$

бу ерда  $\omega_r = \omega/F$  — тарелка тешиқларидаги газнинг тезлиги.  $\xi$  — тарелканинг қаршилик коэффициенти, у катта интервалда (0,5 . . . 4) ўзгариб, тарелканинг конструкциясига боғлиқ.

Тарелкага кираётган суюқлик қатламидаги суюқликнинг сирт таранглик кучи таъсирдан ҳосил бўлаётган қаршиликни енгиш учун кетган босим қуйидагича:

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{4 \delta}{d_s}. \quad (9.54)$$

Оқимли режимда ишлайдиган тарелкалар учун  $\Delta p_{\text{ск}}$  ҳисобга олинмайди. Тарелканинг газ-суюқлик қатламидаги қаршилиги қатламнинг статик босимига тенг деб олинади:

$$\Delta p_{гс} = h_0 \rho_c g = h_{гс} \cdot \rho_{гс} \cdot g, \quad (9.55)$$

бу ерда  $h_0$  ва  $h_{гс}$  — тарелкадаги суюқлик ва газ-уюқлик қатламининг баландлиги;  $\rho_c$   $\rho_{гс}$  — тарелкадаги суюқлик ва газ-уюқлик аралашмасининг зичлиги.

$\Delta p_{гс}$  нинг қийматини эмпирик тенгламалар орқали ҳам аниқлаш мумкин.

Ағдарилма, элаксимон ва клапанли тарелкалар учун тарелкадаги газ-уюқлик қатлами баландлигини қуйидаги тенглама билан ҳисобланади:

$$Eu_1 = \frac{\rho_r}{\rho_c} \sqrt{F} = 0,25 \cdot Fr^{-1,25}; \quad (9.56)$$

бу ерда  $Eu_0 = \Delta p_{гс} / \rho_r \omega_r^2$  — Эйлер критерийси;  $Fr = \omega_r^2 / g h_{гс}$  — Фруд критерийси.

Газнинг маълум тезлигида барботаж қатламининг юзасига чиқиб, кўпиклардан ажралган суюқлик томчиларини газ ўзига тортиб олади. Суюқлик томчилари газ оқими билан юқориги тарелкага тушади.

Газ оқими билан суюқликнинг чиқиб кетиши натижасида модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучи камаяди, қўйилиш қурилмаларида суюқликнинг сарфланиш миқдори кўпаяди ва абсорберда суюқликнинг газ билан чиқиб йўқолиб кетиши сабабли тарелкали аппаратларнинг самарадорлигини ошириш имконияти чегараланади. Суюқликнинг газ билан чиқиб кетиши абсорберга берилаётган суюқлик умумий миқдорининг 5 ... 10% идан ошмаслиги керак.

Газнинг тезлиги ортиши, сепарация бўшлиғи баландлигининг камайиши билан суюқликнинг газ билан чиқиб кетиши кўпаяди. Элаксимон тарелкаларда суюқликнинг чиқиб кетиш миқдори қуйидаги тенглама билан аниқланади;

$$e = 7,7 \cdot 10^{-5} \left( \frac{\omega}{H_{сн}} \right)^{3,2} \left( \frac{73}{\delta} \right), \quad (9.57)$$

бу ерда  $H_{сн} = H - h_{гс}$  — сепарация бўшлиғининг баландлиги;  $\delta$  — суюқликнинг сирт таранглиги.

Абсорбентнинг чиқиб кетишини камайтириш учун юқориги тарелканинг устки қисмига насадка қатлаמידан иборат бўлган, металл тўрдан ишланган сепаратор қурилмаси ўрнатилади.

Контактлашган фазалар юзаси барботаж қатламидаги кўпиклар юзаси билан аниқланади. Фазаларнинг солиштирма контакт юзаси қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$\alpha = \frac{6e}{d_y}, \quad (9.58)$$

бу ерда  $e$  — газни тўлдирувчи кўпик қатлами;  $m^3/m^3$ ;  $d_y$  — кўпикнинг ўртача ҳажмий юза диаметри; м.

Контакт фазасининг тарелка бирлик юзасига бўлган нисбати қуйидагича аниқланади:

$$\alpha = \frac{6e \cdot h_{гс}}{d_y}. \quad (9.58a)$$

Абсорбернинг диаметри газнинг қабул қилинган фиктив тезлиги бўйича умумий сарф тенгламасидан аниқланади.

Абсорбернинг иш баландлиги ёки пастки ва устки тарелкалар орасидаги масофа — модда ўтказиш коэффициентини ҳажмий бирликларда ифодалаб модда ўтказишнинг асосий тенгламасидан ёки тарелкалар сонини аналитик ва график усулда ҳисоблаб аниқланади.

Абсорбернинг баландлиги  $H$  модда ўтказиш тенгламасидан ҳисобланганда, газ ва суюқлик фазаларидаги модда ўтказиш коэффициентлари (9.14) (9.15) тенгламалар орқали топилади.

Тарелкаларда фазаларнинг контакт юза катталигини аниқлаш қийин, шунинг учун модда ўтказишдаги модда бериш коэффициентлари қиймати тарелканинг кесимига нисбатан ёки тарелкадаги кўликларнинг  $V = h_{гс} S_T$  ва суюқликнинг  $V_0 = h_0 S_T$  ҳажмига нисбатан олинади ( $h_{гс}$ ,  $h_0$  — кўпикнинг ва суюқлик қатламининг тарелкадаги баландлиги).

Тарелкадаги газ ва суюқлик фазаларидаги ўтказиш сонининг баландлиги ( $n_r$  ёки  $n_c$ ) қуйидаги тенгламалар орқали аниқланади:

газ фазаси учун:

$$n_r = \frac{\beta_{г, S_T} \cdot S_T}{G}; \quad (9.59)$$

суюқлик фазаси учун:

$$n_c = \frac{\beta_{с, S_T} \cdot S_T}{L}. \quad (9.60)$$

Тарелканинг иш юзасига нисбатан олинган модда бериш коэффициентлари  $\beta_{г, S_T}$ ,  $\beta_{с, S_T}$  сиртқи модда бериш коэффициентлари  $\beta_r$ ,  $\beta_c$  билан қуйидагича боғланган:

газ фазаси учун:

$$\beta_{г, S_T} = \beta_{г, V} \cdot h_{гс} = \beta'_{г, V} \cdot h_0 = \beta^* \cdot a \cdot h_{гс}; \quad (9.61)$$

суюқлик фазаси учун:

$$\beta_{с, S_T} = \beta_{с, V} \cdot h_{гс} = \beta'_{с, V} \cdot h_0 = \beta_c \cdot a \cdot h_{гс}, \quad (9.62)$$

бу ерда  $\beta'_{г, V}$  ва  $\beta'_{с, V}$  — газ ва суюқлик фазалари учун тарелкадаги суюқликнинг ҳажмига нисбатан олинган модда бериш коэффициентлари.

Модда бериш коэффициентлари ёки тарелканинг бирлик ўтказиш сонлари тарелканинг конструкциясига нисбатан алоҳида тенгламалар орқали ҳисобланади. Қалпоқчали тарелкаларда газ фазаси учун бирлик ўтказиш сони қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$n_r (Pr_r)^{0,5} = 0,776 + 4,63 h_{кр} - 0,238 \omega \sqrt{\rho_r} + 0,292 \cdot q; \quad (9.63)$$

бу ерда  $Pr_r = \nu_r / D_r$  — газ учун Прандтл критерийси;  $\nu_r$  — газнинг кинематик қовушоқлиги,  $m^2/s$ ;  $D_r$  — газдаги молекуляр диффузия коэффициенти,  $m^2/s$ ;  $h_{кр}$  — қуйилиш тўсиғининг баландлиги,  $m$ ;  $q$  — қуйилиш тўсиғининг периметрига нисбатан олинган суюқлик сарфи  $m^3/(m \cdot c)$ .

Суюқлик фазасидаги бирлик ўтказиш сони қуйидагича аниқланади:

$$n_c = 3С50 \cdot D_c^{0.5} (68 \cdot h_{кт} + 1) \tau_c. \quad (9.65)$$

бу ерда  $D_c$  — суюқлик фазасидаги диффузия коэффициенти;  $\tau_c$  — фазаларнинг ўртача контакт вақти, у қуйидагича аниқланади:

$$\tau_c = \frac{l_m \cdot h_0}{q_{чяз}}, \quad (9.66)$$

бу ерда  $l_m$  — суюқлик юриш йўлининг узунлиги ёки қуйилиш қурилмаларининг орасидаги масофа, м;  $q_{чяз}$  — тарелканинг кенглигига нисбатан олинган чиқиқли намлаш зичлиги  $м^3/(м \cdot с)$ .

Элаксимон ва ағдарилма тарелкаларда:  
газ фазаси учун:

$$n_r = 1,77 \cdot 10^3 \cdot (Pe'_r)^{-0.5} \cdot h_{rc}^{1.2}; \quad (9.67)$$

суюқлик фазаси учун:

$$n_c = 1,26 \cdot 10^5 \cdot (Pe'_c)^{-0.5} \cdot h_{rc}^{1.9}; \quad (9.68)$$

бу ерда  $Pe = \omega h_{rc} / D_r$  — газ фазаси учун Пекле критерийси;  $Pe'_c = L h_c / D_c$  — суюқлик фазаси учун Пекле критерийси;  $h_{rc}$  — тарелкадаги газ-суюқлик аралашмасининг баландлиги, м.

Тарелкаларнинг ҳақиқий сонини ҳисоблашда (аналитик ёки график усул билан) қуйилиш қурилмалари бўлган колонналарда фазалар бир-бирига қарама-қарши ўзаро перпендикуляр ҳаракат қилади деб фарз қилинади. Бу ҳолда процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи (8.59) тенглама орқали аниқланади. Қуйилиш қурилмаси бўлмаган колонналарда процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи (8.60) тенгламадан топилади.

Тарелкаларнинг ҳақиқий сонини аниқлаб абсорбернинг баландлигини ҳисоблаймиз:

$$H = n_x H_n + h_y = n_x (h_{rc} + H_{сн}) + h_y, \quad (9.69)$$

бу ерда  $H_{сн}$  — сепарация бўшлиғининг баландлиги, м;  $h_y$  — устки тарелкадан абсорбернинг қопқоғигача бўлган масофа, м,

## 9.7-§. Десорбция

Ютилган газдан тоза газни ажратиб олиш учун абсорбентга ютилган газ регенерация ёки десорбция қилинади ва у қайтадан ишлатилади. Газ фазасидаги газнинг концентрацияси мувозанат ҳолатига тўғри келадиган газ — суюқлик фазаси концентрациясидан кам бўлса, модда ўтказиш қонунларига асосан, суюқлик таркибидаги газ моддаси газ оқимиға ўтиб, десорбция процесси содир бўлади.

Ютилган газ қуйидаги усулларда десорбция қилинади: 1) инерт газ ёки сув буғи ёрдамида тортиб олинади; 2) абсорбентга иссиқлик бериш билан ажратиб олинади; 3) абсорбция процессидан кейин абсорбентнинг босимини камайтириш натижасида ажратиб олинади.

**Инерт газ ёки сув буғи таъсирида тортиб олиш.** Бу усулда ютилган газни десорбция қилиш учун инерт газ ёки сув буғи ишлатилади. Бунда инерт газ ёки сув буғи суюқлик билан бевосита бир-бирига таъсир қилади. Тақсимланаётган компонентнинг парциал иш босими суюқлик устидан десорбция қилинаётган агент босимига қараганда юқори бўлгани учун бу компонент суюқликдан газ оқимига ёки сув буғига ўтади. Ютилган газни суюқликдан бутунлай ажратиб олиш учун десорбция процесси инерт газ ва сув буғи таъсирида қарама-қарши йўналишда ёки насадкали колонналарда олиб борилади. Инерт газ сифатида ҳаво ишлатилади, ютилган газ эса у билан аралашиб кетади. Бундай десорбция усули газ аралашмасидан ажратиб олинадиган компонент бошқа мақсадларда ишлатилмаган ҳолларда қўлланилади.

**Абсорбентга иссиқлик бериш йўли билан ютилган газни ажратиб олиш.** Десорберга иссиқлик берилганда, масалан, у сув буғи билан иситилганда, суюқликда десорбция қилинаётган компонент билан абсорбентнинг ҳам бир қисми буғланади. Ҳосил бўлган аралашмалардан керакли компонентни ажратиб олиш учун ректификация процесси қўлланилади.

**Абсорбентнинг босимини камайтириб, газни ажратиб олиш.** Бу десорбция усули жуда оддий бўлиб, абсорбция процесси атмосфера босимидан юқори босимларда олиб борилганда колоннадаги босимни атмосфера босимигача камайтириш натижасида ютилган газ десорбция қилинади. Агар абсорбция процесси атмосфера босимида олиб борилса, у ҳолда десорбция қилинувчи компонент вакуум-насос ёрдамида тортиб олинади. Эритма таркибидаги десорбция қилинадиган компонентни бутунлай ажратиб олиш учун кўпинча десорбция процесслари иссиқлик бериш билан биргаликда паст босим остида олиб борилади.

## 10- б о б. СУЮҚЛИҚЛАРНИ ҲАЙДАШ

### 10.1- §. Умумий тушунчалар

Икки ёки бир неча компонентлардан ташкил топган бир жинсли суюқлик аралашмаларини ажратишда ҳайдаш (дистилляция ва ректификация) усули кенг ишлатилади.

Агар бошланғич аралашма учувчан ва учмайдиган компонентлардан иборат бўлса, бунда буғлатиш орқали суюқликни ташкил этувчи компонентларга ажратиш мумкин. Ҳайдаш йўли билан эса компонентлар турли учувчанликка эга бўлган ҳолда ҳам суюқ аралашмаларни ажратиш мумкин. Ҳайдаш йўли билан суюқликларни ажратиш бир хил температурада аралашма компонентларининг турлича учувчанликка эга бўлишига асосланган. Шу сабабли ҳайдаш пайтида аралашма таркибидаги ҳамма компонентлар ўзларининг учувчанлик хусусиятига пропорционал равишда буғ ҳолатига ўтади.

Мисол тариқасида икки, яъни енгил ва қийин учувчан компонентли бинар аралашмани ажратишни кўрамиз. Ҳайдаш натижасида ҳосил бўлган буғ нисбатан кўп миқдорда енгил учувчан (ёки паст темпера-

турада қайнатиладиган) компонентдан ташкил топгандир. Ҳайдаш натижасида суюқ фаза таркибида энгил учувчан компонент камаю боради, буғ фазасида эса унинг миқдори кўпая боради. Буғланмай қолган суюқлик таркиби асосан қийин учувчан ёки юқори температурада қайнайдиган компонентдан ташкил топган.

Ҳайдаш процессидан ажралиб чиққан буғ конденсация процессига учрайди, ҳосил бўлган конденсат дистиллят ёки ректификат деб аталади. Буғланмай қолган ва қийин учувчан компонентдан ташкил топган суюқлик қолдиқ деб юритилади.

Буғ фазасининг энгил учувчан компонент билан бойиш даражаси асосан Ҳайдаш усулига боғлиқ. Суюқликларни Ҳайдашнинг иккита принципиал усули бор: 1) оддий Ҳайдаш (дистилляция); 2) мураккаб Ҳайдаш (ректификация).

Аралашма компонентларининг учувчанлиги ўртасидаги фарқ анча катта бўлса, бунда оддий Ҳайдаш усулидан фойдаланилади. Оддий Ҳайдаш пайтида суюқликнинг бир марта қисман буғланиши юз беради. Одатда бу усул суюқ аралашмаларни бирламчи ажратиш ҳамда мураккаб аралашмаларни кераксиз қўшимчалардан тозалаш учун ишлатилади.

Суюқ аралашмаларни компонентларга тўла ажратиш учун ректификация усулидан фойдаланилади. Ректификация процесси аралашмани буғлатишда ажралган буғ ва буғнинг конденсацияланиши натижасида ҳосил бўлган суюқлик ўртасида кўп маротабалик контакт пайтидаги модда алмашилишига асосланган. Суюқ аралашмаларни ректификация ёрдамида ажратиш колоннаги аппаратларда олиб борилади, бунда буғ ва суюқлик фазалари ўртасида узлуксиз ва кўп маротабалик контакт юз беради. Фазалар ўртасида модда алмашилиш процесси боради. Суюқ фазадан энгил учувчан компонент буғ таркибига ўтади, буғ фазасидаги қийин учувчан компонент эса суюқликка ўтади. Ректификацион колоннанинг юқориги қисмидан чиқётган буғ асосан энгил учувчан компонентдан иборат бўлиб, у конденсацияга учрагандан сўнг икки компонентга ажралади. Конденсатнинг биринчи компоненти дистиллят ёки ректификат (юқориги маҳсулот) деб аталади. Конденсатнинг иккинчи компоненти эса аппаратга қайтарилади ва у флегма деб юритилади. Аппаратга қайтарилган суюқлик (флегма) пастдан кўтарилаётган буғ билан учрашади. Колоннанинг пастки қисмидан, асосан, қийин учувчан компонентдан ташкил топган қолдиқ модда узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Ҳозирги вақтда химиявий технологиянинг кўпчилик соҳаларида (органик синтез, изотоплар, полимерлар, ярим ўтказгичлар ва шу каби бир қатор ўта тоза маҳсулотлар ишлаб чиқаришларда) ректификация усули кенг қўлланилмоқда. Ректификация процесси спирт, нефть ва синтетик каучук ишлаб чиқаришда ҳам кенг ишлатилади. Бундан ташқари, спирт, вино, ликёр-ароқ ва эфир мойлари ишлаб чиқаришда ҳам ректификациядан фойдаланилади. Аралашма компонентларининг қайнаш температуралари бир-бирига яқин бўлса, яъни компонентларнинг нисбий учувчанлиги  $\alpha$  бирга яқинлашса, бундай аралашмаларни ажратиш анча қийин ҳисобланади. Бундай мураккаб аралашмаларни ажратишда мувозанат чизиғи  $y - x$  диаграмманинг диагонали билан

жуда яқинлашиб кетади, натижада аралашмани ажратиш учун катта ўтказиш бирлиги керак бўлади. Бундай ҳолларда ҳайдашнинг махсус усуллари: экстракцион ректификация, азеотроп ректификация, молекуляр дистиллаш ва паст температурали ректификация процессларидан фойдаланилади.

## 10.2- §. Суюқлик — буғ системасининг хоссалари

Амалда кўпинча кўп компонентли аралашмаларни ажратишга тўғри келади, бироқ процесснинг назариясини ўрганиш учун икки компонентли, яъни бинар аралашмани ҳайдаш йўли билан ажратишни кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Бинар аралашма энгил ва қийин учувчан компонентлардан ташкил топган бўлади.

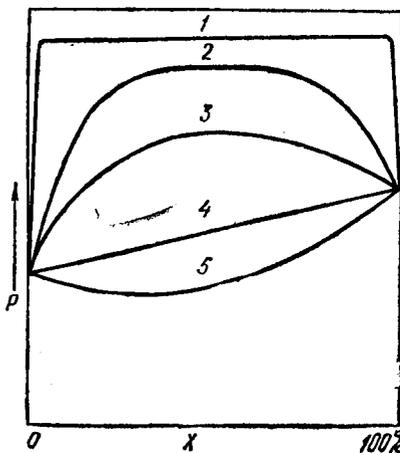
Бинар аралашмаларнинг классификациясини Д. П. Коновалов ишлаб чиққан (10.1- расм). Бу расмда турли бинар аралашма буғларининг умумий босими ва суюқ фаза ўртасидаги боғлиқлик кўрсатилган. Вертикал ўқда ўзгармас температурада аралашма буғининг умумий босими берилган бўлса, горизонтал ўқда эса суюқ фазанинг таркиби (% ҳисобида) кўрсатилган.

Агар аралашма компонентлари ўзаро бир-бирида эримаса (ёки жуда оз миқдорда эриса), бу ҳолат *1- чизиқ* орқали ифодаланади. Бунда аралашма буғларининг босими тоза компонентлар буғ босимларининг йиғиндисига тенг бўлади. Бу турдаги аралашмаларга бензол ҳамда сувнинг ёки углерод сульфид ва сувнинг аралашмалари мисол бўлади.

Бинар аралашма компонентлари бир-бирида қисман эриса, бундай аралашма буғларининг босими *2- чизиқ* бўйича ўзгаради. Бундай системаларга сув — изобутил спирт, сув — изоамил спирт аралашмалари киради.

Компонентлари ўзаро тўла ва исталган нисбатларда бир-бирида эрийдиган аралашмалар буғларининг босими *3- чизиқ* бўйича ўзгаради. Бундай аралашма буғлари йиғиндисининг ўзгариши максимум орқали ўтади, бу ҳолат максимум температурадаги суюқ фазанинг тегишли таркиби билан белгиланади. Бу турдаги аралашмага этил спирт — сув аралашмаси мисол бўлади. Компонентлар бир-бирида тўла эриса, аралашма буғларининг умумий босими минимумга эга бўлади (*5- чизиқ*). Бундай аралашмалар қаторига сув — чумоли кислота, ацетон — хлороформ аралашмалари киради.

Бир компонент иккинчи компонентда тўла эриса-ю, бироқ босим максимум ёки минимумга эга бўл-



10.1- расм. Бинар аралашмалар учувчан суюқликлар классификацияси.

маса, бундай ҳолат 4- *чизиқ* орқали ифодаланади. Бундай эритмалар идеал системалар деб юритилади (масалан: аммиак — сув; метил спирт — этил спирт).

Шундай қилиб,  $P = f(x)$  чизиқнинг кўриниши система компонентлари молекулаларининг ўзаро таъсири турлича бўлиши билан боғлиқ экан.

Босимнинг 4- *чизиғига* мос келган аралашмада бир хил ва турлича молекулаларнинг тортишиш кучи бир хил бўлади. Бундай аралашмаларнинг ҳосил бўлишида ҳажм кичраймайди ҳам, катталашмайди ҳам, компонентларининг аралашishi пайтида иссиқлик эффекти юз бермайди.

Идеал эритмаларнинг хоссалари Раул қонуни билан ифодаланади. Бу қонунга кўра, суюқлик устидаги буғлар таркибидаги компонентларнинг парциал босими тоза компонент буғи босимининг компонентнинг суюқликдаги моляр улушига кўпайтирилганига тенг;

$$p_a = P_a \cdot x_a; \quad (10.1)$$

бу ерда  $p_a$  — компонентининг парциал босими;  $P_a$  — берилган температурадаги тоза  $a$  компонент буғларининг босими;  $x_a$  — компонентининг суюқликдаги моляр улуши.

Аралашма буғи босимининг ўзгариши тўғри чизиқдан четга чиқса, бундай эритмаларнинг ҳосил бўлиши маълум миқдордаги иссиқлик эффекти орқали боради. Бу ҳол компонентлар молекулалари ўртасида ўзаро таъсир кучи борлигидан далолат беради.

Агар бир хил бўлмаган молекулалар ўртасидаги тортишиш кучи бир хил бўлган молекулалар ўртасидаги тортишиш кучидан кам бўлса, аралашма буғлари босимининг чизиғи идеал эритмалар чизиғининг юқориги томонида жойлашади (1-, 2- ва 3- *чизиқлар*). Агар бир хил бўлмаган молекулаларнинг тортишиш кучи бир хил бўлган молекулаларнинг тортишиш кучидан катта бўлса, у ҳолда босимнинг эгри чизиғи идеал эритмалар тўғри чизиғининг пастидан ўтади (5- *чизиқ*).

Бир хил бўлмаган молекулаларнинг ўзаро тортишиш кучи жуда кичик бўлса, бунда суюқ фаза икки қатламга бўлинади. Ҳар бир компонент суюқ фазадан буғ фазасига ўз молекулаларини юборади. Умумий босим берилган температурадаги тоза компонентлар босимларининг йиғиндисига тенг (1- ва 2- *чизиқлар*).

Ҳайдаш процессини ҳисоблаш учун мувозанатда бўлган суюқ ва буғ фазаларининг таркибини билиш зарур. Суюқлик ва буғ фазаларидан иборат бўлган икки компонентли аралашманин эркинлик даражаси сонини билиш учун фазалар қондасидан фойдаланилади:

$$S - K - \Phi + 2 = 2 - 2 + 2 = 2, \quad (10.2)$$

бу ерда  $S$  — эркинлик даражаси сони;  $\Phi$  — фазалар сони ( $\Phi=2$ );  $K$  — компонентлар сони ( $K=2$ ).

Шундай қилиб, системанин ҳолатини белгилловчи учта катталик (температура, босим, концентрация) дан исталган иккитасини танлаш мумкин. Агар мисол тариқасида босим ва температура танланса, у ҳолда системанин таркиби (яъни суюқлик ва буғ фазаларидаги компонентларнинг концентрацияси) маълум бир қийматга эга бўлади.

Бинар системаларнинг мувозанат ҳолатдаги фазалари таркиби Д. П. Коновалов томонидан ўрганилган ва иккита қонун таклиф этилган.

Коноваловнинг биринчи қонуни қуйидагича: «Эритма билан мувозанатда бўлган буғ доим ўзида шундай компонентни ортиқча ушлайди, бунда эритмага шу компонентдан қўшилганда унинг қайнаш температураси пасаяди». Масалан, этил спирт — сув системасини кўрамиз. Агар суyoқ фазага спирт қўшилса системанинг қайнаш температураси пасаяди. Коноваловнинг биринчи қонунига асосан, бундай эритма қайнаши пайтида буғ фазасининг спирт буғлари билан бойиши содир бўлади.

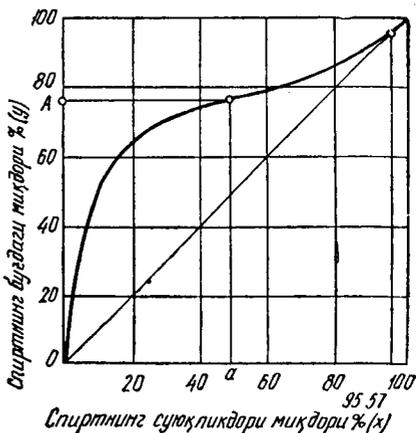
Босим эгри чизиғи максимум ёки минимумга эга бўлган эритмалар учун суyoқ фазанинг шундай таркиби маълумки, бундай шароитда ажралиб чиқаётган буғларнинг таркиби суyoқ фазанинг таркиби билан бир хил бўлиб қолади. Бундай аралашма азеотроп ёки алоҳида қайнатиладиган аралашма деб аталади. Коноваловнинг иккинчи қонуни азеотроп аралашма таркибини аниқлашга имкон беради: «Аралашманинг буғ босими экстремумларида\* суyoқлик ва буғ фазаларининг таркиблари бир хил бўлиб қолади.»

Этил спирт — сув системаси азеотроп аралашмаларга мисол бўлади. Нормал босимда суyoқ фазадаги спиртнинг 95,97 массавий процентига буғ таркибидаги спиртнинг 95,97 массавий проценти тўғри келади. Бу нормал босимдаги спирт ва сувнинг азеотроп аралашмаси бўлади (10.2- расм).

Бинар эритмаларнинг мувозанат эгри чизиқлари тажриба йўли билан тузилади. 10.2- расмда этил спирт — сув системасининг мувозанат эгри чизиғи кўрсатилган. Вертикал ўқда энгил учувчан компонентнинг (яъни этил спиртнинг) буғдаги концентрацияси  $y$ , горизонтал ўқда эса энгил учувчан компонентнинг суyoқ фазадаги концентрацияси  $x$  берилган.

Коноваловнинг биринчи қонунига кўра 10.2- расмда кўрсатилган мувозанат эгри чизиғи диагонални юқориги қисмидан ўтади. Натижада буғ таркибида суyoқлик таркибидагига қараганда спирт кўп миқдорда бўлади. Бу қонуниятни «а» ва «А» нуқталарга мос келган концентрацияларнинг миқдорига қараб аниқлаш мумкин.

Коноваловнинг иккинчи қонунига кўра, мувозанат эгри чизиғи диагонални азеотроп аралашманинг таркибига мос келган нуқтада кеседи. Нормал босим бу нуқта қайнаш температурасининг  $78,15^{\circ}\text{C}$  қийматига мос келади. Нормал босимда сувнинг қайнаш температураси



10.2- расм. Бинар аралашмаларнинг мувозанат эгри чизиқлари.

\* Эгри чизиқнинг максимал чўққиларида.

100° С бўлса, этил спиртнинг қайнаш температураси эса 78,3 °С. Демак, азеотроп аралашма минимал температурада қайнайди.

Кўрилатган системада босимнинг ўзгариши билан система мувозанатининг ўзгариши юз беради, натижада буғ фазасининг мувозанат таркиби ўзгаради. Бу ўзгаришнинг моҳиятини аниқлаш учун М. С. Вревский томонидан иккита қонун таклиф этилган:

1. Икки компонентли аралашманинг қайнаш температураси (ёки босими) оширилганда буғларнинг таркибида буғланиши учун катта энергия талаб қилувчи компонентининг нисбий миқдори ортади.
2. Буғнинг учувчанлиги максимумга эга бўлган эритмаларнинг температураси (ёки босими) оширилганда азеотроп аралашмаларда буғланиши учун катта энергия сарфини талаб қилувчи компонентнинг нисбий миқдори ортади. Буғнинг учувчанлиги минимумга эга бўлган эритмаларнинг қайнаш температураси оширилганда азеотроп аралашмада буғланиши учун кам энергия талаб қилувчи компонентнинг нисбий миқдори кўпаяди.

Вревский қонунига кўра, этил спирт — сув аралашмаси учун суюқликдаги спиртнинг концентрацияси кам бўлганда (21% моль гача) системадаги босим камайиши билан буғ таркибидаги сув миқдори ортади, спиртнинг суюқликдаги концентрацияси юқори бўлганда (21% моль дан катта) босим камайиши билан буғ таркибидаги спирт миқдори кўпаяди.

Азеотроп аралашмаларда эса системадаги босим камайиши билан улардаги спирт миқдори кўпаяди. Босимнинг айрим минимум қийматида азеотроп нуқтаси йўқолиб кетади ва ҳайдаш натижасида сувсиз спирт олиш мумкин бўлади. 10.1- жадвалда турли босимлар учун азеотроп аралашмадаги спирт миқдорининг ўзгариши келтирилган.

10.1- жадвал. Азеотроп аралашмадаги этил спирт миқдорининг системадаги босимга қараб ўзгариши

Босим, Па	Қайнаш температураси °С	Спиртнинг миқдори, массавий %
93,5 · 10 <sup>2</sup>	27,92	100
133,3 · 10 <sup>2</sup>	33,35	99,56
173 · 10 <sup>2</sup>	39,20	98,70
264 · 10 <sup>2</sup>	47,60	97,30
583 · 10 <sup>2</sup>	63,04	96,25
1013 · 10 <sup>2</sup>	78,15	95,57
1435 · 10 <sup>2</sup>	87,12	95,35
1940 · 10 <sup>2</sup>	95,35	95,25

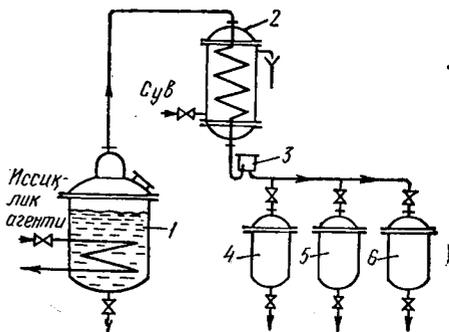
### 10.3- §. Оддий ҳайдаш процесси

Суюқ аралашмаларни бир марта қисман буғлатиш йўли билан ажратиш процесси оддий ҳайдаш деб аталади. Оддий ҳайдаш процесси аралашма компонентларининг учувчанликлари ўртасидаги фарқ анча катта бўлгандагина ишлатилади. Одатда суюқ аралашмаларни бирламчи ажратиш учун ҳамда мураккаб аралашмаларни кераксиз қўшимчалардан тозалаш учун оддий ҳайдаш усулидан фойдаланилади.

Оддий ҳайдаш қуйидаги усулларга бўлинади: 1) фракцияли ҳайдаш; 2) дефлегмация билан ҳайдаш; 3) сув буғи билан ҳайдаш.

Фракцияли ҳайдаш. Суюқликларни фракцияли ҳайдаш даврий ёки узлуксиз усулларда олиб борилади. Ҳайдаш кубидagi суюқлик аста-секин буғлатилади. Ҳосил бўлган буғлар конденсаторга юборилади. Агар ҳайдаш процесси даврий равишда олиб борилса, у ҳолда

вақт ўтиши билан қолдиқ суюқликдаги энгил учувчан компонентнинг миқдори ва натижада, дистиллятнинг таркибидаги энгил учувчан компонентнинг миқдори ҳам камаё боради. Шу сабабли ҳар хил таркибли дистиллятнинг фракциялари ажратиш олинади. Ҳар хил таркибли маҳсулот олишга мўлжалланган суюқликларни ажратиш усули *фракцияли ҳайдаш* деб аталади.



10.3- расм. Даврий ишлайдиган фракцияли ҳайдаш қурилмаси:

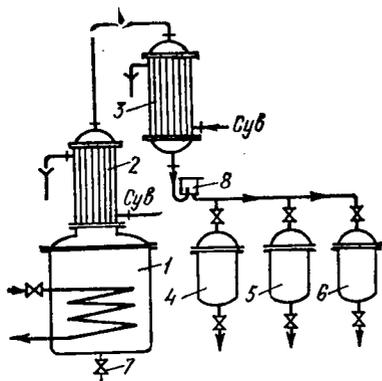
1 — ҳайдаш кубиги; 2 — совиткич; конденсатор; 3 — кузатиш фонари; 4 — 6 — дистиллят йиғиладиган идиш.

10.3- расмда фракцияли ҳайдаш учун даврий ишлайдиган қурилманинг схемаси кўрсатилган. Дастлабки аралашманинг маълум миқдори ҳайдаш кубига солинади. Ҳайдаш кубининг ичига змеевик жойлаштирилган бўлиб, у орқали сув буғи ўтади. Суюқлик қайнаш температурасигача иситилади. Ҳосил бўлган буғлар конденсатор совиткичга юборилади. Дистиллят фракциялари тегишли идишларга тушади. Ҳайдаш процесси тамом бўлгандан сўнг, қолдиқ суюқлик ҳайдаш кубидан тушириб олинади. Сўнгра цикл қайта такрорланиб, ажратилиши лозим бўлган суюқлик ҳайдаш кубига яна берилади.

Оддий ҳайдаш атмосфера босими ёки вакуум остида олиб борилиши мумкин. Вакуумни қўллаш натижасида иссиқликка чидамсиз аралашмаларни ажратиш имкони туғилади. Вакуум қўлланилганда эритмаларнинг қайнаш температураси пасаяди, шу сабабли ҳайдаш кубини иситишда паст кўрсаткичли сув буғларидан фойдаланиш мумкин.

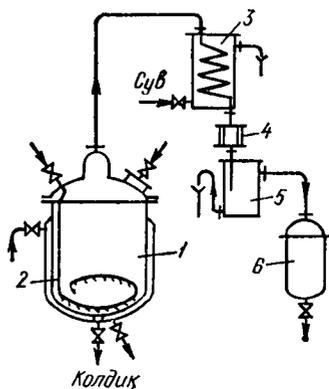
**Дефлегмация билан ҳайдаш.** Суюқлик аралашмасининг ажратиш даражасини ошириш учун дистиллятнинг таркиби дефлегмация ёрдамида бойитилади (10.4- расм). Ҳайдаш кубидан чиқаётган буғлар дефлегматорга ўтади, у ерда буғлар қисман конденсацияланади. Асосан буғнинг таркибидаги қийин учувчан компонент конденсацияланади ва ҳосил бўлган суюқлик (флегма) ҳайдаш кубига қайтиб тушади. Энгил учувчан компонент билан тўйинган буғлар конденсатор совиткичга ўтади ва у ерда тўла конденсацияланади. Конденсат ўз навбатида тегишли идишларга юборилади. Ҳайдаш процессининг тугаши кубда қолган суюқликнинг қайнаш температураси бўйича текширилади. Одатда қолдиқ суюқлик маълум таркибга эга бўлиши керак. Таркибида асосан қийин учувчан компонент ушлаган қолдиқ суюқлик ҳайдаш кубининг пастки қисмида жойлашган штуцер орқали тегишли идишга туширилади.

**Сув буғи билан ҳайдаш.** Аралашманинг қайнаш температурасини пасайтиришга вакуум ишлатишдан ташқари унинг таркибига қўшимча компонентлар (сув буғи ёки инерт газ) киритиш йўли билан ҳам-



10.4- расм. Дефлегмация билан ҳайдаш қурилмаси:

1 — ҳайдаш куби; 2 — дефлегматор; 3 — совиткич-конденсатор; 4—6 — йиғичлар; 7 — қолдиқ чиқариладиган штуцер; 8 — кузатиш фонари.



10.5- расм. Сув буғи билан ҳайдаш қурилмаси:

1 — буғ қобиқли куб; 2 — буғ барботёри; 3 — совитиш конденсатори; 4 — кузатувчи фонар; 5 — сепаратор; 6 — маҳсулот йиғич.

эришиш мумкин. Агар аралашманинг компонентлари сувда эримаса, у ҳолда ҳайдаш кубига қўшимча компонент сифатида сув буғи кирилади. Бу усулдан  $100^{\circ}\text{C}$  дан юқори температураларда қайнайдиган моддаларнинг аралашмаларини ажратиш ёки уларни тозалаш учун фойдаланиш мумкин. Бу усул бўйича қурилманинг куб шаклдаги аппаратига қиздирилган кучли сув буғи берилади.

Сув буғи билан ишлайдиган ҳайдаш қурилмасининг схемаси 10.5-расмда кўрсатилган. Бу қурилма кубининг қобиғига сусайтирилган буғ берилади. Дастлабки аралашма кубга қуйилади, сўнгра барботёр орқали кучли сув буғи юборилади. Аралашманинг буғланишидан ҳосил бўлган буғлар конденсатор-совиткичга берилади. Ҳосил бўлган конденсат кўрсаткич фонар орқали сепараторга тушади. Сепараторнинг пастки қисмидан гидравлик затвор орқали сув чиқариб юборилади, юқориги қисмидан эса сувда эрмайдиган енгил компонент чиқарилади ва махсус идишга тушади. Сув буғи билан ҳайдаш номувозанат ҳолатда олиб борилади. Бу процесда кучли сув буғи икки хил (иссиқлик ташувчи ва қайнаш температурасини пасайтирувчи агент) вазифани бажаради. Процессни даврий ёки узлуксиз усул билан олиб бориш мумкин.

Айрим шароитларда сув буғи ўрнига инерт газлар (масалан, азот, углерод икки оксид ва бошқалар) дан фойдаланилади. Инерт газлар қўлланилганда аралашманинг қайнаш температурасини анча пасайтириш мумкин. Бироқ кубдан учиб чиқаётган буғ таркибида инерт газларнинг бўлиши конденсатор-совиткичда иссиқлик бериш коэффициентининг кескин пасайиб кетишига олиб келади. Натижада иссиқлик алмашиниш юзаси катталашиб кетади. Бундан ташқари, буғ-газ аралашмасининг конденсацияланиши туман ҳосил бўлишига олиб келади. Бундай ҳолда эса аралашманинг ажралиши қийинлашади ва тайёр маҳсулотнинг бир қисми инерт газ билан учиб кетади.

## 10.4- §. Бинар аралашмани ректификация қилиш

**Ректификация принципи.** Бир жинсли суюқ аралашмаларни компонентларга тўла ажратиш фақат ректификация усули билан амалга оширилиши мумкин. Ректификация принципи аралашмадан буғлатиш натижасида ажралиб чиқаётган буғнинг ва конденсация йўли билан буғдан ҳосил бўлаётган суюқликнинг кўп маротаба ўзаро контактига асосланган. Ректификация процессининг моҳиятини  $t - x - y$  диаграмма орқали тушунтириш мумкин (10.6- расм).

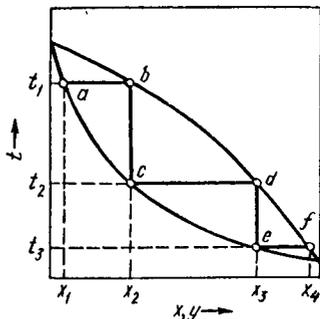
Концентрацияси  $x_1$  бўлган дастлабки аралашма қайнаш температураси  $t_1$  гача иситилганда, суюқлик билан мувозанатда бўлган буғнинг ҳолати аниқланади ( $b$  нуқта). Бу буғ конденсация қилинганида концентрацияси  $x_2$  га тенг бўлган суюқлик ҳосил бўлади ( $x_2 > x_1$ ). Демак, суюқлик енгил учувчан компонент билан бирмунча тўйинган бўлади. Бу суюқлик ҳам қайнаш температураси  $t_2$  гача иситилганда буғ ҳосил бўлади ( $d$  нуқта), буғ конденсацияланганда  $x_3$  таркибли суюқлик олинади ( $x_3 > x_2$ ). Шу йўсинда бирин-кетин бир неча марта суюқликни буғлатиш ва буғни конденсациялаш процессларини ўтказиш орқали тайёр маҳсулот — дистиллят олиш мумкин. Дистиллят асосан енгил учувчан компонентдан ташкил топган бўлади.

Диаграммадаги юқориги эгри чизиқ буғ фазасининг таркибини белгилайди, пастки эгри чизиқ эса қайнаш температураларини ифодаляйди. Бу диаграмма ёрдамида бирин-кетин бир неча марта конденсациялаш ва буғлатиш процессларини ўтказиш орқали таркиби асосан қийин учувчан компонентдан ташкил топган қолдиқ суюқлик олиш мумкин.

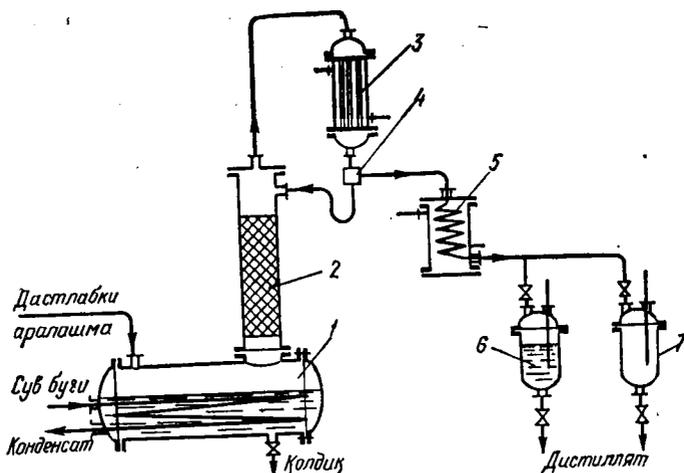
Кўп марта буғлатиш процессини кўп поғонали қурилмаларда олиб бориш мумкин. Бироқ бундай қурилмалар қатор камчиликларга эга: ўлчами катта, юқори концентрацияли моддалар (дистиллят ёки қолдиқ) нинг чиқиши кам, атроф муҳитга кўп миқдорда иссиқлик йўқолади.

Суюқ аралашмаларни бирмунча ихчам бўлган ректификацион колонналарда тўла ҳолда компонентларга ажратиш анча тежамлидир. Ректификация процесси даврий ва узлуксиз равишда, босимнинг турли қийматларида (атмосфера босими остида, вакуумда, атмосфера босимидан юқори босимда) олиб борилади. Юқори температураларда қайнайдиган моддаларнинг аралашмаларини ажратишда вакуум ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Нормал температураларда газ ҳолатида бўлган аралашмалар ажратилганда атмосфера босимидан юқори бўлган босим остида ишлайдиган аппаратлардан фойдаланилади.

Даврий ишлайдиган ректификацион қурилмалар схемаси. Кичик ишлаб чиқаришларда даврий ишлайдиган ректификацион қурилмалар



10.6- расм. Ректификация усули, бинар аралашмаларни ажратишнинг диаграммада тасвирланиши



10.7- расм. Даврий ишлайдиган ректификацион колонна қурилмаси:  
 1 — иситкич; 2 — ректификацион колонна; 3 — дефлегматор; 4 — ажратувчи  
 стакан; 5 — совиткич; 6, 7 — йиғичлар.

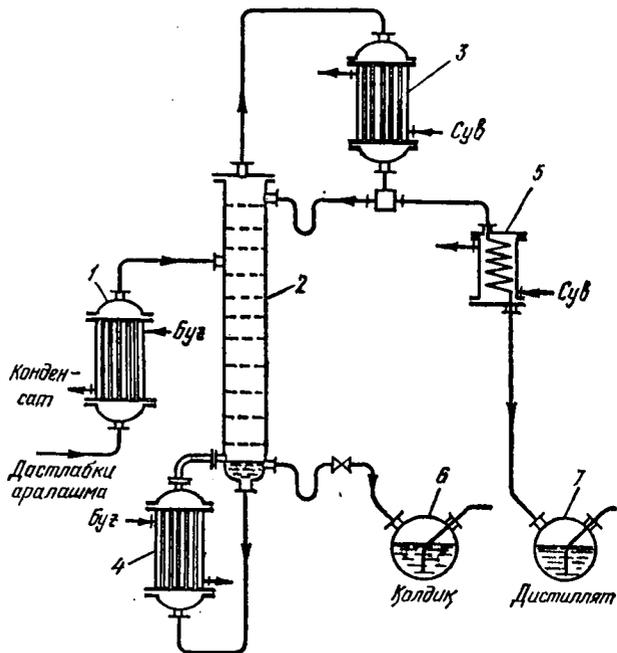
қўлланилади. Дастлабки аралашма ҳайдаш кубига берилади (10.7-расм). Куб ичига иситувчи змеевик жойлаштирилган бўлиб, аралашма қайнаш температурасигача иситилади. Ҳосил бўлган буғлар ректификацион колоннанинг охириги тарелкасининг пастки қисмига ўтади. Буғ колонна бўйлаб кўтарилган сари енгил учувчан компонент билан тўйиниб боради. Дефлегматордан колоннага қайтган бир қисм дистиллят флегма деб юритилади. Флегма (суюқ фаза) колоннанинг энг юқориги тарелкасига берилади ва пастга қараб ҳаракат қилади. Суюқ фаза пастга ҳаракат қилишида ўз таркибидаги енгил учувчан компонентни буғ фазасига беради. Буғ ва суюқ фазаларнинг бир неча бор ўзаро контакти натижасида буғ фазаси юқорига ҳаракат қилгани сари енгил учувчан компонент билан тўйиниб борса, суюқлик эса пастга томон ҳаракат қилган сари таркибида қийин учувчан компонентнинг миқдори ошиб боради.

Колоннанинг юқориги қисмидан буғлар дефлегматорга ўтади ва у ерда тўла ёки қисман конденсацияга учрайди. Буғлар тўла конденсацияланганда ҳосил бўлган суюқлик ажраткич ёрдамида икки қисм (дистиллят ва флегма) га ажратилади. Охириги маҳсулот (дистиллят) совиткичда совитилгандан сўнг йиғиш идишига юборилади. Кубда қолган қолдиқ суюқлик керакли таркибга эришгандагина процесс тўхта-тилади, қолдиқ туширилади ва икки цикл қайтадан бошланади. Қолдиқнинг тегишли таркибга эга бўлишини унинг қайнаш температурасига қараб аниқланади.

Узлуксиз ишлайдиган ректификацион қурилмалар схемаси. Бундай қурилмалар саноатда кенг ишлатилади. Узлуксиз ишлайдиган ректификацион қурилманинг принципиал схемаси 10.8- расмда кўрсатилган. Қурилманинг асосий аппарати ректификацион колоннадир. Колонна цилиндрсимон шаклда бўлиб, унинг ичига тарелкалар ёки насадкалар жойлаштирилган.

10.8- расм. Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колонна:

1 — иситкич; 2 — ректификацион колонна; 3 — дефлегматор; 4 — қайнаткич; 5 — совиткич; 6 — куб қолдирғи йиғич; 7 — дистиллят йиғич.



Дастлабки аралашма одатда иситкичда қайнаш температурасигача иситилади, сўнгра колоннанинг таъминловчи тарелкасига берилади.

Таъминловчи тарелка аппаратни икки қисмга (юқориги ва пастки колоннага) бўлади. Юқориги колоннада буғнинг таркиби энгил учувчан компонент билан тўйиниб боради, натижада таркиби тоза энгил учувчан компонентга яқин бўлган буғлар дефлегматорга берилади. Пастки колоннадаги суюқлик таркибидан максимал миқдорда энгил учувчан компонентни ажратиб олиш керак, бунда қайнаткичга киратган суюқликнинг таркиби асосан тоза ҳолдаги қийин учувчан компонентга яқин бўлиши керак.

Шундай қилиб, колоннанинг юқориги қисми буғ таркибини оширувчи қисм ёки юқориги колонна деб аталади. Колоннанинг пастки қисми эса суюқликдан энгил учувчан компонентни максимал даражада ажратувчи қисм ёки пастки колонна деб аталади.

Колоннанинг пастидан юқорига қараб буғлар ҳаракат қилади, бу буғлар колоннанинг пастки қисмига қайнаткич (иссиқлик алмашиниш аппарати) орқали ўтади. Қайнаткич одатда колоннанинг ташқарисида ёки унинг пастки қисмида жойлашган бўлади. Бу иссиқлик алмашиниш аппарати ёрдамида буғнинг юқорига йўналган оқими ҳосил қилинади. Колоннанинг тепасидан пастга қараб суюқлик ҳаракат қилади. Буғлар дефлегматорда конденсацияга учрайди. Дефлегматор совуқ сув билан совитилади. Ҳосил бўлган суюқлик ажраткичда икки қисмга ажратилади. Флегма колоннанинг юқориги тарелкасига берилади. Натижада дефлегматор ёрдамида суюқ фазанинг пастга йўналган оқими юзага келади.

Дефлегматорда буғлар тўла ёки қисман конденсацияга учрайди. Биринчи ҳолда конденсат иккига бўлинади. Биринчи қисм — флегма аппаратга қайтарилади, иккинчи қисм эса дистиллят (ректификат) ёки юқориги маҳсулот совиткичда совитилгандан сўнг йиғиш идишига юборилади. Иккинчи ҳолда эса дефлегматорда конденсацияга учрамаган буғлар совиткичда конденсацияланади ва совитилади: бу ҳолда ушбу иссиқлик алмашилиш аппарати дистиллят учун конденсатор совиткич вазифасини бажаради.

Колоннанинг пастки қисмидан чиқаётган қолдиқ ҳам икки қисмга бўлинади. Биринчи қисм қайнаткичга юборилади, иккинчи қисм (пастки маҳсулот) эса совиткичда совитилгандан сўнг йиғиш идишига тушади.

Ректификацион қурилмалар одатда контрол-ўлчаш ва бошқарувчи приборлар билан жиҳозланган бўлади. Бу приборлар ёрдамида қурилманинг ишини автоматик равишда бошқариш ва процессни оптимал режимларда олиб бориш имкони туғилади.

### 10.5-§. Бинар аралашмаларни узлуксиз ректификация қилишнинг моддий ва иссиқлик баланслари

**Умумий тушунчалар.** Ректификацияни ҳисоблаш ва анализ қилишда фазалар таркиби ва миқдори моль улушларда ифодаланади. Шунга кўра, суюқлик ва унинг буғлари миқдори киломоль, уларнинг таркиби эса энгил учувчан компонент (*ЕК*) нинг моль улуши билан аниқланади. Ҳисоблашни осонлаштириш учун қуйидаги шартлар қабул қилинади:

1. Ажратилиши керак бўлган суюқлик Трутон қондасига бўйсунди деб олинади, бу қоидага асосан буғланиш ёки конденсацияланишнинг моль ҳисобидаги иссиқлиги  $r$  нинг абсолют қайнаш температураси  $T$  га нисбати ҳамма суюқликлар учун тахминан ўзгармас қийматга тенг. Компонентлар сони  $n$  га тенг бўлган аралашма учун қуйидагиларни ёзиш мумкин;

$$\frac{r_{\text{ар}}}{T_{\text{ар}}} = \frac{r_1}{T_1} = \frac{r_2}{T_2} = \dots = \frac{r_n}{T_n} \approx \text{const}$$

ёки

$$T_{\text{ар}} = T_1 = T_2 = \dots = T_n,$$

$$r_{\text{ар}} = r_1 = r_2 = \dots = r_n,$$

2. Колоннадан дефлегматорга ўтаётган буғнинг таркиби  $y_d$  дистиллятнинг таркиби  $x_p$  га тенг. Бунда дефлегматордаги буғ концентрациясининг бироз ошиши ҳисобга олинмайди ва  $y_d = y_p = x_p$  деб олинади (бу ерда  $y_p$  — буғ фазасидаги дистиллятнинг таркиби).

3. Қайнаткичдан колоннага ўтаётган буғнинг таркиби  $y_\omega$  колоннанинг пастки қисмидан қайнаткичга тушаётган суюқликнинг таркиби  $x_\omega$  га тенг ( $y_\omega = x_\omega$ ), яъни қайнаткичдаги суюқликнинг буғланиши таъсирида фазалар таркибининг ўзгариши ҳисобга олинмайди.

4. Аралашма компонентларининг силжиш иссиқликлари нолга тенг.

1- ва 4- шартларга кўра, 1 кмоль қийин учувчан компонент (ҚК) нинг колоннада конденсацияланишида 1 кмоль энгил учувчан компонент (ЕК) буғланади, яъни колоннанинг ичида кўтарилаётган буғларнинг миқдори (кмоль ҳисобида) ўзгармасдир. Булардан ташқари, аралашма колоннанинг таъминловчи тарелкасига қайнаш температурасигача иситилган ҳолда берилади ҳамда моддий ва иссиқлик йўқотишлар бўлмайди деб олинади.

**Моддий баланс.** Моддий оқимларнинг йўналишлари ва уларнинг таркиблари 10.9-расмда яққол кўрсатилган. Схемага кўра, колоннага таркиби  $x_F$  га (ЕКнинг моль улушида) ва миқдори  $F$  га (кмоль ҳисобида) тенг бўлган дастлабки аралашма берилади. Колоннанинг юқориги қисмидан  $G$  кмоль миқдорда буғлар чиқади, буғ конденсациялангандан сўнг икки қисм (флегма ва дистиллят) га ажралади. Ҳосил бўлган дистиллятнинг миқдори  $P$  (кмоль) унинг таркиби  $x_p$  (ЕК нинг моль улушида). Колоннага қайтаётган флегманинг миқдори  $\Phi$  (кмоль), унинг таркиби эса дистиллятнинг таркибига тенг  $x_\phi = x_p$  (моль улушида). Колоннанинг пастки қисмидан  $W$  кмоль миқдорда қолдиқ чиқарилади, унинг таркиби  $x_w$  (ЕК нинг моль улушида) га тенг.

Бу шароитда колоннанинг моддий баланс тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$F + \Phi = G + W,$$

$$G = P + \Phi.$$

Бундан

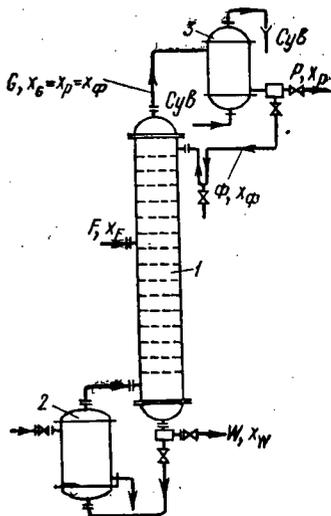
$$F = P + W. \quad (10.3)$$

Натижада ЕК бўйича моддий баланс:

$$F x_p = P x_p + W x_w. \quad (10.4)$$

Иш қизиқларининг тенгламасини тузишда модда алмашилиш процесларининг ҳаммаси учун умумий бўлган тенгламадан фойдаланамиз ва уни ректификацияга мослаб концентрацияларни моль улушларида белгилаймиз:

$$y = \frac{L}{G} x + \left( y_n - \frac{L}{G} x_n \right). \quad (10.5)$$



10.9- расм. Ректификация процесининг моддий балансини аниқлаш:  
1— колонна; 2— куб; 3— дефлегматор.

Агар моддий баланс тарқалувчи компонент бўйича олинса, охириги тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$Gy_n + Lx_n = Gy_o + Lx_o, \quad (10.6)$$

бундан

$$y_n - \frac{L}{G} x_n = y_o - \frac{L}{G} x_o \quad (10.7)$$

(10.7) ифодадан фойдаланиб (10.5) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$y = \frac{L}{G} x + \left( y_o - \frac{L}{G} x_o \right). \quad (10.8)$$

Колоннанинг юқориги қисми учун оқиб тушаётган суюқлик (флегма) миқдори:

$$L = \Phi = P \cdot R, \quad (10.9)$$

бу ерда  $R = \Phi / P$  флегма сони. Флегма миқдорининг дистиллят миқдорига нисбати *флегма сони* деб аталади. Колоннада кўтарилаётган буғлар миқдори:

$$G = P + \Phi = P + PR = P(R + 1). \quad (10.10)$$

Юқориги колоннанинг энг тепа қисми учун буғларнинг таркиби  $y_G = y_p$  аввал қабул қилинган шартга кўра  $y_o = x_p$  бўлади. Колоннанинг шу кесимида дефлегматордан тушаётган суюқлик (флегма) таркиби  $x_\phi = x_p$ , яъни  $x_n = x_p$ ;  $L, G, y_o$  ва  $x_n$  нинг қийматларини (10.5) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$y = \frac{PR}{P(R+1)} x + \left[ x_p - \frac{PR}{P(R+1)} x_p \right], \quad (10.11)$$

бундан

$$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_p}{R+1}.$$

(10.11) тенглик колоннанинг юқориги буғ таркибини оширувчи қисми учун иш чизик тенгламаси деб аталади.

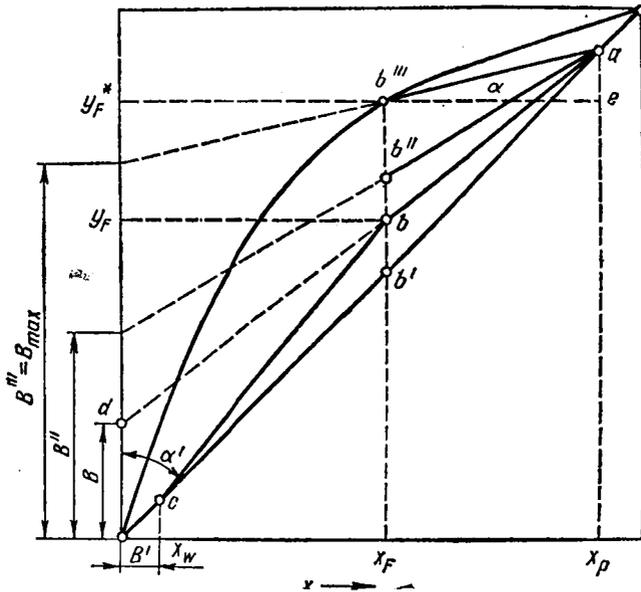
Бу тенгламада  $R/R + 1 = \text{tg}\alpha$  иш чизигининг абсцисса ўқига оғиш бурчаги тангенс;  $x_p/R + 1 = B$  чизикнинг  $y-x$  диаграммадаги ордината ўқи бўйича ажратган кесмаси (10.10-расм). Демак, охириги тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$y = \text{tg}\alpha x + B. \quad (10.12)$$

Колоннанинг пастки (суюқликдан  $EK$  ни максимал даражада ажратувчи) қисми учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$L^1 = \Phi + F = PR + Pf = P(R + f),$$

Бу ерда  $L^1$ — колоннанинг пастки қисмидан ўтаётган суюқлик миқдори; дастлабки аралашма миқдори;  $f - 1$  кмоль ҳисобидаги дистиллятга тўғри келган дастлабки аралашма миқдори ( $f = F/P$ , бундан  $F = P \cdot f$ ).



10. 10-расм.  $y-x$  диаграммада ректификация иш чизигининг тасвири.

Пастки колоннадан кўтарилаётган буғ миқдори  $G^1$  колоннанинг юқориги қисмида ҳаракат қилаётган буғ миқдори  $G$  га тенг:

$$G^1 = G = P(R + 1).$$

Колоннанинг энг пастки қисмидан чиқаётган қолдиқ суюқликнинг таркиби  $x_o^1 = x_w$  ни аввал қабул қилинган шартга кўра, қайнаткичдап колоннанинг энг пастки қисмига кираётган буғ таркиби  $y_n^1 = y_w = x_w \cdot L^1, G^1, x_o^1$  ва  $y_n^1$  нинг қийматларини (10.5) тенгламага қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$y = \frac{P(R+f)}{P(R+1)}x + \left[ x_w - \frac{P(R+f)}{P(R+1)}x_w \right].$$

Бир қатор соддалаштиришлардан сўнг қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$y = \frac{R+f}{R+1}x + \frac{1-f}{R+1}x_w. \quad (10.13)$$

Бу тенгламада  $R+f/R+1 = \operatorname{tg}\alpha^1$  — иш чизигининг ордината ўқига оғиш бурчаги тангенс;  $\frac{1-f}{R+1} \cdot x_w = B^1$  — иш чизигининг абсцисса ўқи бўйича кесмаси.

Шундай қилиб, охирги тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$y = \operatorname{tg}\alpha^1 x + B^1. \quad (10.14)$$

(10.13) ёки (10.14) ифодалар колоннанинг пастки (суюқликдан  $EK$  ни максимал ажратувчи) қисми учун иш чизиги тенгламаси деб аталади.

Иш чизиқларини чизиш учун диаграмманинг абсцисса ўқиға (10.10-расм) суюқликнинг берилган таркиблари  $x_w$ ,  $x_f$  ва  $x_p$  нинг қийматлари қўйилади.  $x_p$  нуқта орқали диаграмманинг диагонали билан кесишгунча вертикал чизиқ ўтказилади, кесишган  $a$  нуқта  $y_p = x_p$  координаталарға эға.

$R$  нинг қийматини олдиндан маълум деб оламиз. (10.11) тенглама бўйича  $B = x_p / R + 1$  нинг қиймати аниқланади.  $B$  нинг қиймати ордината ўқиға қўйилиб,  $d$  нуқтанинг ўрни топилади. Сўнгра  $a$  ва  $d$  нуқталар бирлаштирилади.  $x_f$  нуқта орқали  $ad$  кесма билан кесишгунча вертикал чизиқ ўтказилади, улар  $b$  нуқтада кесишади,  $ab$  тўғри чизиқ колоннанинг юқориги қисми учун иш чизиги ҳисобланади.

$x_w$  таркибига мос келадиган нуқтадан диаграмманинг диагонали билан кесишгунча вертикал чизиқ ўтказилади, кесишиш нуқтаси  $c$  колонна пастки қисми учун иш чизигининг охириги нуқтаси бўлади. Шундай қилиб, ҳосил бўлган  $bc$  тўғри чизиқ колонна пастки қисмининг иш чизиги деб юритилади.  $ab$  ва  $bc$  иш чизиқлари мувозанат чизиги  $y^* = f(x)$  дан пастда жойлашган бўлади.

Ректификация процессини анализ қилишда флегма сони  $R$  ни аниқлаш муҳим аҳамиятға эға. Флегма сони ортиши билан аппаратнинг баландлиги камаяди, иситувчи буғ сарфи эса ортади. Шу билан бирға,  $R$  ортиши натижасида аппаратға қайтиб тушаётган суюқлик миқдори ва аппарат диаметри ҳам ортиб боради.

**Минимал флегма сони.** Дистиллятнинг берилган таркиби  $x_p$  ўзгармас бўлса,  $B$  кесманинг катталиги (10.10-расм) фақат флегма сонига бәғлиқ бўлади, чунки  $B = x_p / R + 1$ .  $R$  нинг миқдори камайиши билан  $B$  кесма катталашиб боради (масалан,  $B'' > B$ ). Бундай иш чизиги кесмалари  $a$  нуқта атрофида соат стрелкаси йўналиши бўйича ҳаракат қилгандек бўлади (масалан,  $ab$ ,  $ab''$  ва ҳоказо). Бироқ,  $R$  нинг қийматини маълум чегарагача камайтириш мумкин. Бу чегарани аниқлашда суюқ ва буғ фазалари ўртасидаги модда алмашилиш процессининг ҳаракатлантирувчи кучини ҳисобға олиш зарур.

Буғ фазасининг концентрациялари орқали ифодаланган ҳаракатлантирувчи куч иш ва мувозанат чизиқлари ўртасидан ўтказилган вертикал кесма билан аниқланилади. Масалан,  $ab$  иш чизиги бўйича  $x_f$  таркибға тўғри келган ҳаракатланувчи куч  $y_f^* - y_f$  га тенг бўлиб,  $b'''$   $b$  кесма билан белгиланади.  $R$  камайиши билан  $b$  нуқта вертикал чизиқ бўйича юқорига қараб силжийди, ҳаракатлантирувчи куч эса камайиб боради ва ниҳоят  $b'''$  нуқтада нолға тенглашади. Бунда  $ab'''$  иш чизиги ордината ўқи бўйича максимал кесма  $B''' = B_{\max}$  га тенг бўлади. Берилган  $x_p$  таркиб учун  $B_{\max}$  бўлганда флегма сони минимумға тенг бўлади:

$$B_{\max} = \frac{x_p}{R_{\min} + 1}.$$

Флегма сони ортиши билан  $B$  кесма камайд боради ва иш чизиги  $a$  нуқта атрофида соат стрелкаси йўналишиға қарама-қарши томонға ҳа-

рақат қилади. Уз-ўзидан маълумки, энг пастки чегара ҳолат иш чизиқлари кесишиш нуқтасининг диаграмма диагонали билан мос келиб қолиши билан белгиланади ( $b'$  нуқта). Бундай иш чизиқларининг абсцисса ўқиға оғиш бурчаги  $45^\circ$  га тенг ва  $A = A' = 1$  ҳамда  $B = B' = 0$  бўлиб қолади.  $B$  ва  $B'$ га тегишли ифодалардан кўриниб турибдики, бундай ҳолат фақат флегма сони катта қийматга ( $R = \infty$ ) тенг бўлгандагина бўлиши мумкин. Ҳақиқий флегма сони эса ректификацион колоннанинг ишлаши учун  $R_{\min}$  ва  $R = \infty$  чегаралар оралиғида бўлиши керак. Ҳақиқий флегма сонини танлаш учун энг аввал  $R_{\min}$  ни ҳисоблаб топиш керак.  $R_{\min}$  ни аниқлаш учун  $b'''$  нуқтадан (10.10-расм)  $a$  нуқтанинг ординатаси билан кесишгунча  $b'''e$  горизонтал чизиқ ўтказилади. Колонна юқориги қисми иш чизигининг оғиш бурчаги тангенс ( $R_{\min}$  бўлганда)  $a'''be$  учбурчакли катетлари  $ae$  ва  $b'''e$  нисбатига тенг бўлиб, бунда

$$ae = y_p - y_r^* = x_p - y_r; \quad b'''e = x_p - x_r.$$

Демак,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_p - y_r^*}{x_p - x_r}. \quad (10.15)$$

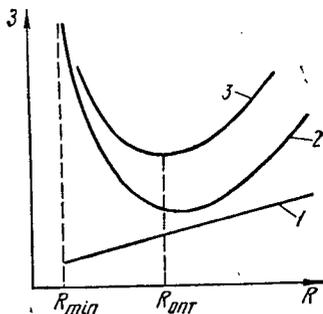
Флегма сони минимал бўлганда:

$$\operatorname{tg} \alpha = A = \frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1}. \quad (10.16)$$

(10.15) ва (10.16) ифодаларни солиштириб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$R_{\min} = \frac{x_p - y_r^*}{y_r^* - x_r} = \frac{y_p - y_r^*}{y_r^* - x_r}. \quad (10.17)$$

Ҳақиқий флегма сони. Аппаратнинг ўлчамлари ва иссиқлик ташувчи агентлар (иситкич учун сув буғи, дефлегматор учун совуқ сувнинг сарфи) флегма сонига қараб ўзгаради. Капитал маблағ ва аппаратларни ишлатиш учун зарур бўлган сарфлар ҳам флегма сонига боғлиқ. Шу сабабли ҳақиқий флегма сонини ҳисоблаш катта аҳамиятга эга. Ҳақиқий флегма сонини график усулда аниқлаш мумкин. (10.11-расмдан кўриниб турибдики, аппаратларни ишлатиш учун зарур бўлган сарфлар флегма сонига тўғри пропорционал равишда ортиб боради (1-чизиқ). Капитал маблағлар ва флегма сони оралиғидаги боғлиқлик маълум минимумга эга (2-эгри чизиқ). Умумий сарфлар ва флегма сони ўртасидаги боғлиқлик ҳам минимум нуқтаси билан белгиланади (3-эгри чизиқ); бу минимумга тўғри келган  $R$  ҳақиқий флегма сонининг оптимал қийматига тенг бўлади ( $R_{\text{опт}}$ ).  $R_{\text{опт}}$  ни топиш



10.11-расм. Ҳақиқий флегма сонини аниқлаш;

1 — эксплуатацион сарфлар;  
2 — капитал сарфлар; 3 — умумий сарфлар.

учун анча мураккаб техник-иқтисодий ҳисоблашлар бажариш лозим. Шу сабабли ҳақиқий флегма сони тахминий усул билан топилади:

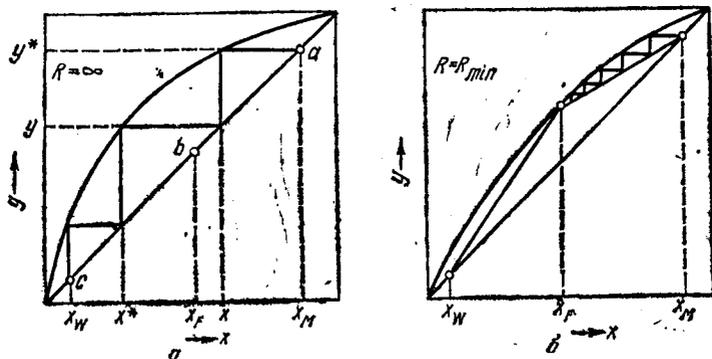
$$R_x = \beta_k \cdot R_{min},$$

Бу ерда  $\beta_k$  — флегманинг кўпроқ олиншини ҳисобга олувчи коэффициент, одатда  $\beta_k = 1,04 \dots 1,05$ .

Флегма сонининг иситувчи буғ сарфига таъсири. Икки хил чегараланган режимларда ( $R = R_{min}$  ва  $R = \infty$ ) флегма сони, аппаратнинг иш баландлиги ва ректификация учун иссиқлик сарфи ўрталагидаги боғлиқликни кўриб чиқамиз. Колоннанинг иш баландлиги концентрация ўзгаришларининг назарий сонига пропорционал. Концентрация ўзгаришларининг назарий сони иш ва мувозанат чизиқлари оралиғига учбурчак поғоналар тузиш орқали топилади.

$R = \infty$  бўлганда иш чизиқлари диаграмманинг диагонали бўйлаб жойлашади, процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи  $\Delta y^* = y$  ёки  $\Delta x = x - x^*$  энг катта қийматига эга бўлса, керак бўлган назарий поғоналар сони эса энг кичик қийматга тенг бўлади (10.12-расм, а). Демак,  $R = \infty$  бўлганда колонна учун иш баландлиги энг кам бўлиши керак. Бироқ флегма сони  $R = \Phi/P$ , фақат  $P = 0$  бўлгандагина чексиз қийматга эга бўлади. Бунда дистиллят олинмайди, буғларнинг тўла конденсацияланишидан ҳосил бўлган ҳамма суюқлик колоннага флегма сифатида қайтарилади. Бу режимда колонна ўзича ишлайди ва тайёр маҳсулот бермайди. Шу сабабли  $R = \infty$  бўлгандаги режим нормал ишлаб чиқариш шароитларида қўлланилмайди. Флегма сонининг кўпайиши билан қайнаткичдаги буғланиши лозим бўлган суюқлик миқдори ортади.  $R = \infty$  бўлганда максимал катта миқдордаги суюқлик буғланиши керак. Бу ҳолат ўз навбатида энг катта миқдордаги иситувчи буғ сарфини талаб қилади.

$R_{min}$  бўлган режимда иш чизиқлари мувозанат чизиғи билан кесишади. (10.12-расм, б), кесишган нуқтада ҳаракатлантирувчи куч нолга тенг бўлади. Бунда назарий поғоналар сони энг катта қийматга эга бўлади. Демак,  $R_{min}$  бўлган режим учун ректификацион колонна чек-



10, 12- расм. Флегма сони билан ректификацион колонна баландлигининг ўзаро боғланиши:

а)  $R = \infty$  бўлганда; б)  $R = \min$  бўлганда.

сиз катта баландликка эга бўлиши зарур. Бир хил шароитларда иситувчи буғнинг сарфи флегма сонига пропорционал, яъни  $G = P(R + 1)$  бўлганлиги учун,  $R_{\min}$  режимда иситувчи буғнинг сарфи энг кам қийматга тенг бўлади. Шундай қилиб, флегма сони ортиши билан аппаратнинг баландлиги камаяди, иситувчи буғ сарфи эса ортади. Шу билан бирга, флегма сони ортганда колоннага қайтаётган суюқлик миқдори ҳам ортади, бу ҳол ўз навбатида аппарат диаметрининг катталашувиغا олиб келади.

**Иссиқлик баланси.** Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колонна (10.13-расм) учун қуйидаги иссиқлик балансини тузиш мумкин:

*Иссиқлик кириши:*

Иситкичда иситувчи буғ билан . . .  $Q_{ис}$ ,

Дастлабки аралашма билан  $Q_r = F i_r$ ,

Флегма билан . . . . .  $Q_\phi = \phi i_\phi$ ;

*Иссиқлик сарфи*

Колоннадан дефлегматорга ўтаётган буғлар билан . . . . .  $Q_G = GI$ ,

Қолдиқ билан . . . . .  $Q_w = W i_w$ ,

Атроф муҳитга йўқотишлар билан  $Q_{\alpha}$

Бу ерда  $I$ ,  $i_r$ ,  $i_\phi$  ва  $i_w$  колоннадан чиқаётган буғлар, дастлабки аралашма, флегма ва қолдиқнинг иссиқлик ушлашлари (энтальпиялари).

Шундай қилиб, иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$Q_{ис} + Q_r + Q_\phi = Q_G + Q_w + Q_{\alpha}. \quad (10.18)$$

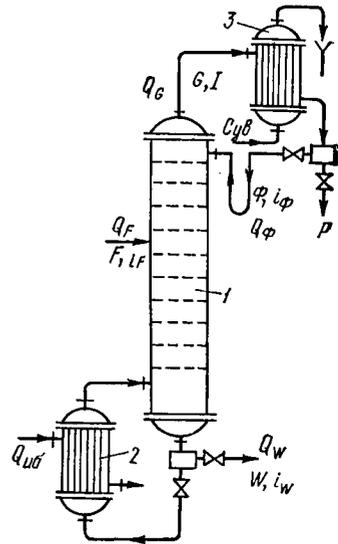
$Q$  нинг ўрнига унинг қийматларини қўйиб ва  $F = P + W$ ;  $G = P(R + 1)$ ;  $\phi = PR$  ни ҳисобга олиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$Q_{ис} + (P + W) i_r + PR i_\phi = P(R + 1) I + W i_w + Q_{\alpha}. \quad (10.19)$$

Охириги тенгламани  $Q_{ис}$  га нисбатан ечиб, иситкичдаги иссиқлик сарфини топамиз:

$$Q_{ис} = P(I - i_r) + PR(I - i_\phi) + W(i_w - i_r) + Q_{\alpha}. \quad (10.20)$$

(10.20) тенгламада кўришиб турибдики, иситкичга киритилаётган иссиқлик миқдори дистиллятнинг буғланиши  $[P(I - i_r)]$ , флегманинг буғланиши  $[PR(I - i_\phi)]$ , қолдиқни қайнаш температурасигача иситиш  $[W(i_w - i_r)]$  ва атроф-муҳитга йўқотилган иссиқлик  $Q_{\alpha}$  ни қоплаш учун сарф бўлади.



10.13- Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колоннанинг балансини аниқлаш:

1— колонна; 2— иситкич; 3— дефлегматор.

Дефлегматордан колоннага тушаётган флегма қайнаш температура-сига эга, шу сабабли колоннадан чиқаётган буғларнинг энтальпияси  $J = i_{\phi} + r_{\phi}$  бўлади. ( $r_{\phi}$  — флегманинг буғланиш иссиқлиги.) Атроф-муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши одатда иситкичга киритилаётган иссиқ-ликнинг маълум улуши сифатида олинади, яъни  $Q_n = a_n \cdot Q_{ис}$ , агар аппарат яхши изоляция қилинган бўлса  $a_n = 0,03 \dots 0,05$ .

Шундай қилиб, (10.20) тенгламага тегишли ўзгартиришларни киритиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

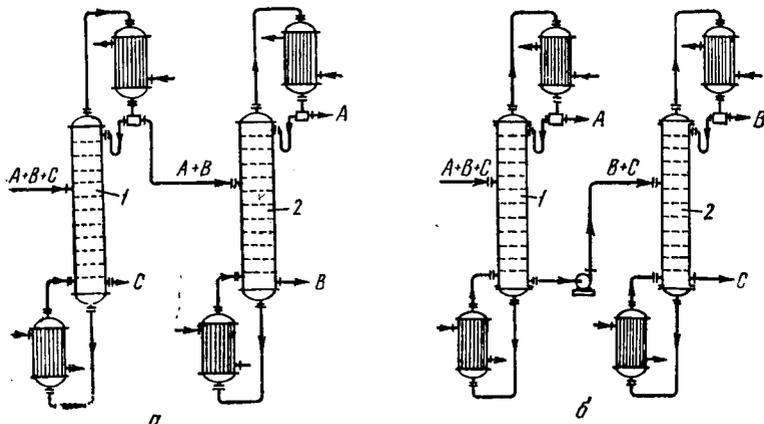
$$Q_{ис} = \frac{P(J - i_r) + PRr_{\phi} + W(i_w - i_r)}{1 - a_n} \quad (10.21)$$

### 10.6-§. Кўп компонентли аралашмаларни ректификациялаш

Саноатда кўпинча бинар аралашмаларни эмас, балки кўп компонентли аралашмаларни ажратишга тўғри келади. Бундай аралашмаларни ректификациялаш анча мураккаб ва кам ўрганилган процесс ҳисобланади. Агар бинар аралашмалар иккита эркинлик даражасига эга бўлса, кўп компонентли аралашмаларнинг эркинлик даражаси компонентларнинг сонига тенг бўлади. Шу сабабли кўп компонентли аралашмаларни ректификациялаш процессини анализ қилиш ва ҳисоблаш анча мураккабдир.

Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш процесси учун зарур бўлган аппаратларни ўзаро боғлаш ҳам анча мураккаблашади. Бундай аралашмаларни битта колоннада ажратиш мумкин эмас. Умумий ҳолда колонналарнинг сони компонентларнинг сонидан битта кам бўлади, демак, компонентлар сони  $n$  та бўлган аралашмани ажратиш учун  $n - 1$  та колонна керак бўлади.

Мисол тариқасида уч ( $A$ ,  $B$  ва  $C$ ) компонентли аралашмани ажратишчи кўриб чиқамиз. Ажратиш процесси икки хил вариант бўйича



10.14-расм. Уч компонентли аралашмалар ректификациясининг қурилмаси:

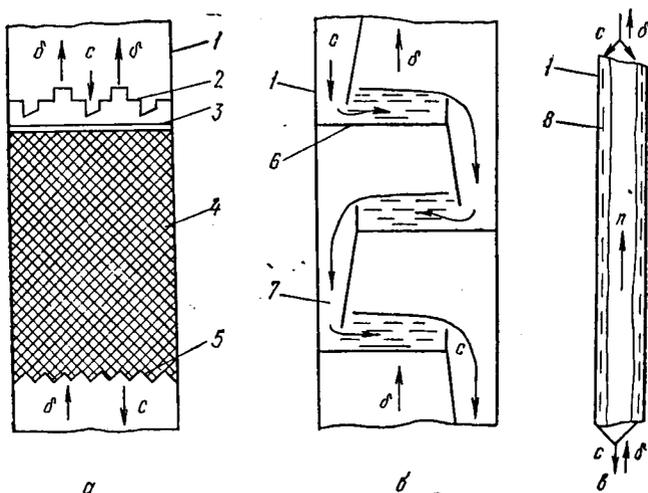
а)  $A$  ва  $B$  компонентлар  $C$  компонентга нисбатан кўпроқ учувчан; б)  $A$  компонент  $B$  ва  $C$  компонентларга нисбатан кўпроқ учувчан; 1, 2- колонналар.

олиб борилади; а) *A* ва *B* компонентлар *C* компонентга нисбатан учувчан; б) *A* компонент *B* ва *C* компонентларга нисбатан учувчан (10.14-расм). Биринчи вариант бўйича биринчи колоннадан ёмон учувчан компонент *C* қолдиқ сифатида ажратиб олинади. Қолган иккита компонент *A* ва *B* конденсациялашдан сўнг иккинчи колоннага юборилади, у ердан *A* компонент дистиллят сифатида ажратиб олинади, чунки *A* компонент *B* компонентга нисбатан бироз учувчан. *B* компонент эса қолдиқ бўлади. *A* + *B* компонентларини иккинчи колоннага буғ ҳолида бериш иқтисодий жиҳатдан тежамли ҳисобланади; бунда биринчи колоннага тегишли бўлган дефлегматорда фақат флегма учун етарли бўлган буғ конденсацияланади.

Иккинчи вариантга кўра биринчи колоннадан энг учувчан *A* компонент дистиллят сифатида ажратиб олинади, қолган иккита *B* + *C* компонентларнинг аралашмаси иккинчи колоннага насос ёрдамида берилади. Иккинчи колоннадан нисбатан учувчан бўлган *B* компонент дистиллят сифатида олинади, *C* компонент эса қолдиқ сифатида ажратилади.

### 10.7-§. Ректификациялаш аппаратларининг тузилиши

Ректификация процессини амалга ошириш учун ҳар хил аппаратлар ишлатилади. Бу аппаратлар асосий контакт қурилмаларининг тузилиши бўйича тегишли абсорберлардан фарқ қилмайди. Ректификация қурилмаларида асосан насадкали ва тарелкали колонналар кенг ишлатилади. Бундан ташқари, вакуум остида ректификация қилиш учун плёнкали ва роторли колонналар ҳам ишлатилади. Колоннали аппаратлар асосий турларининг схемалари 10.15-расмда кўрсатилган.



10.15- расм. Колоннали аппаратларнинг асосий турлари:

а) насадкали; б) тарелкали; в) плёнкали;

1— аппарат корпуси; 2— тақсимлагич; 3— чегараловчи түр; 4— насадка, 5— таянч түр; 6— тарелка; 7— қуюлувчи қурилма; 8— контакт юзаси.

Насадкали, тарелкали ва айрим плёнкали колонналар ички қурилмалари (тарелка, насадка ва ҳоказолар) нинг тузилиши бўйича абсорберларга ўхшайди. Бироқ, ректификация колонналари қўшимча аппаратлар — қайнаткич (куб) ва дефлегматор билан таъминланган бўлади. Бундан ташқари, ташқи муҳитга тарқалаётган иссиқлик миқдорини камайтириш учун ректификация колонналари изоляция қатлами билан қопланган.

Қайнаткич (ёки куб) колоннадан тушаётган суюқликнинг бир қисмини буғга айлантириш ва буғни колоннанинг пастки қисмига узатиб бериш учун хизмат қилади. Қайнаткичларнинг иситиш юзаси змеевик шаклида ёки кожух-трубали иссиқлик алмашилиш аппарати сифатида ишланади. Қайнаткичлар аппаратнинг пастки қисмига киритилган ёки алоҳида ажратиб чиқарилган бўлиши мумкин. Қайнаткичлар кўпинча тўйинган сув буғи билан иситилади. Алоҳида ажратиб ва колоннадан бироз пастда жойлаштирилган (суюқликнинг табиий циркуляциясини таъминлаш мақсадида) қайнаткичлар ремонт ва алмаштириш учун энг қулай ҳисобланади.

Даврий ишлайдиган ректификацион қурилмаларнинг куб аппарати буғ ҳосил қилишдан ташқари дастлабки аралашма учун идиш (йиғич) вазифасини ҳам ўтайди. Шу сабабли кубнинг ҳажми битта операция учун ишлатилади, унинг ҳажми дастлабки аралашма ҳажмидан 1,3 ... 1,6 марта катта бўлиши керак.

Дефлегматор буғни конденсациялаш ва ҳосил бўлган конденсатнинг бир қисми (флегма) ни колоннага қайтариб бериш учун хизмат қилади. Дефлегматор сифатида одатда кожух-трубали иссиқлик алмашилиш аппаратлари ишлатилади. Кўпинча трубаларнинг оралиғидаги бўшлиқда буғлар конденсацияланади, трубаларнинг ичидан эса совитувчи агент (сув) ҳаракат қилади. Буғлар дефлегматорда қисман ва тўла конденсацияланиши мумкин.

Буғлар қисман конденсацияланганда дефлегматор колоннадан ташқарида ёки тўғридан-тўғри колоннанинг устига жойлаштирилади; Буғлар тўла конденсацияланганда эса дефлегматор колоннанинг юқори қисмига, тўғридан-тўғри колоннанинг тепасига ёки колоннанинг юқори қисмидан пастроқ вазиятда жойлаштирилиши мумкин. Охириги усул қўлланилганда қурилманинг умумий баландлиги камайдиган, бироқ бунда флегма колоннага насос ёрдамида берилади.

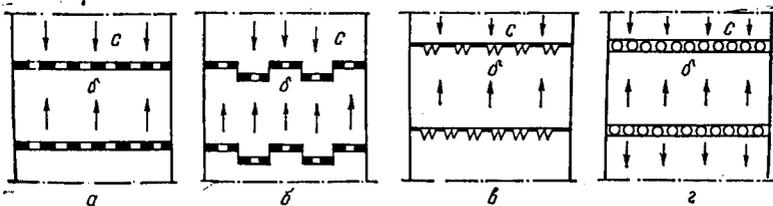
**Насадкали колонналар.** Бундай колонналар аппаратдаги суюқликни кам миқдорда ушлаб қолиш талаб қилинганда, босимлар фарқи кичик бўлганда ҳамда кичик ҳажмдаги ишлаб чиқаришларда ишлатилади. Саносатда кўпроқ Рашиг ҳалқалари ишлатилган насадкали колонналардан кенг фойдаланилади. Сўнгги йилларда насадкаларнинг бир қатор янги турлари (Палл ҳалқалари, Берл эгари, Спрейпак ва бошқалар) яратилди. Бундай насадкаларни катта диаметрли колонналарда ишлатиш ҳам катта самаралар бермоқда. Натижада насадкаларнинг айрим турлари катта ҳажмдаги ишлаб чиқаришларда фойдаланила бошланди. 10.2- жадвалда насадкаларнинг нисбий катталиклари келтирилган. Насадкаларнинг асосий катталиклари Рашиг ҳалқасига нисбатан олинган.

## Насадкаларнинг нисбий катталиклари

Насадка турлари	Унумдорлик	Эффективлик	Битта тарелканинг назарий қаршилиги
Рашиг ҳалқаси, $d = 25$ мм	1	1	1
Палл ҳалқаси, $d = 25$ мм	1,4...1,5	1...1,25	0,7...0,75
Берл эгари	1,1...1,25	1,1	0,6...0,7
Инталлокс эгари	1,2...1,4	1,3	0,45...0,5
Борад ҳалқаси; $d = 12,7$ мм	1	2,5...2,6	0,3
Спрейпак	3...3,5	0,4	0,3...1
Гудлоу	1,15...1,20	3,5	0,13
Гиперфип	1,0...0,9	2	0,25...0,45
Зульцер	2 атрофида	2,5	0,25...0,45
Тўрли йиғилувчан кубик	2 атрофида	1,5	0,5

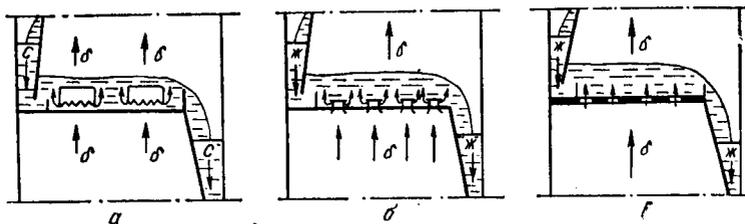
Катта диаметри колонналарда насадка бўйлаб суюқликнинг бир меъёра тарқалишига эришиш қийин. Шу сабабли саноатда насадкали ректификацион колонналарнинг диаметри одатда 0,8...1 м дан ортиқ бўлмайди.

**Тарелкали колонналар.** Тарелкали ёки барботажли аппаратлар саноатда кўп ишлатилади. Барботажли колонналар катта ҳажмдаги аралашмаларни ажратиш мақсадида, буғ ва суюқликнинг миқдорлари катта ҳажмда ўзгарганда ҳамда аралашмани аниқ ажратиш лозим бўлган пайтда ишлатилади. Бундай аппаратларнинг гидравлик қаршилиги бироз катта, лекин бунинг аҳамияти унчалик катта эмас. Ректификация процессида гидравлик қаршилиқнинг ортиши босимнинг бироз кўпайишига сабаб бўлади, бу ҳол ўз навбатида қайнаткичда суюқликнинг қайнаш температурасини ортишига олиб келади. Тарелкали аппаратларда суюқлик ва буғ фазалари ўртасидаги контакт юзаси юқоридир. Демак, тарелкалардан фойдаланиб нисбатан кам массали ва кичик ўлчамли ҳамда катта унумдорликка эга бўлган аппаратлар яратилиш имконияти туғилади. 10.16- ва 10.17- расмларда барботажли тарелкаларнинг принципл схемалари кўрсатилган.



10. 16- расм. Афғарилма тарелкаларнинг асосий турлари (с— суюқлик; б— буғ):

а) ясси листли; б) поғонали; в) эгилган қирра- тешикли; д) труба тўрли.



10. 17- расм. Барботажли тарелкаларнинг турлари (с— суюқлик, б— буғ):  
а) қалпоқчали; б) клапанли; в) элаксимон.

**Плёнкали колонналар.** Бу аппаратлар иссиқлик таъсирига беқарор аралашмаларни вакуум остида ажратиш учун ишлатилади. Масалан, турли мономер ва полимерларни, органик синтезнинг бошқа маҳсулотларини ажратиш учун плёнкали колонналардан фойдаланилади.

Плёнкали колонналар бир қатор афзалликларга эга: аралашма аппарат ичида қисқа вақт давомида бўлади, катта қовушоқликка эга бўлган суюқликларни ажратиш мумкин, аппаратда суюқлик кам ушлаб қолинади, катта унумдорлик билан ишлайди, гидравлик қаршилиги кам. Қамчиликлари: иситувчи буғнинг сарфи катта, тарелкаларнинг назарий сони кўп бўлганда аппаратни ишлатиш мумкин эмас (аппаратнинг баландлиги 9 м дан ошмаслиги керак).

#### 10.8- §. Ректификацион колонналарни ҳисоблаш

Юқориди айтиб ўтилганидек, саноатда ректификация процессини амалга ошириш учун турли колонналар ишлатилади. Бу борада тарелкали колонналар энг самарали ҳисобланади. Мисол тариқасида суюқликни ўтказиш қурилмалари бўлган тарелкали колоннанинг гидравлик ҳисобини кўриб чиқамиз.

Технологик ҳисоблаш натижасида ректификация процессининг асосий катталиклари (босим, температура, суюқлик ва буғнинг сарфи, колоннадаги тарелкалар сони) аниқланилади. Бу маълумотлар гидравлик ҳисоблашларга асос бўлади. Гидравлик ҳисоблар колонна ва тарелкалар асосий иш кесимларининг ўлчамларини танлашга ёрдам беради. Колоннада тегишли гидравлик режим ташкил қилинса, бу ҳолда керакли иш унумига ва аппаратнинг самарали ишлашига эришилади.

Колоннадаги буғнинг қизиқли тезлиги қуйидаги тенглама билан аниқланилади:

$$\omega = 0,847 \cdot 10^{-4} \cdot c \sqrt{\frac{\rho_c - \rho_b}{\rho_b}}. \quad (10.22)$$

Буғнинг массавий тезлиги эса ушбу тенглама бўйича топилади:

$$G = 0,305 \cdot c \cdot \sqrt{\rho_b (\rho_c - \rho_b)}; \quad (10.23)$$

бу ерда  $G$  — колонна эркин кесимидаги буғларнинг массавий тезлиги;  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{соат}$ ;  $\rho_0, \rho_c$  — буғ ва суюқликнинг зичликлари,  $\text{кг/м}^3$   $c$  — тузатиш коэффициенти, унинг қиймати тарелканинг тузрилишига, тарелкалар оралнидаги масофага (одатда бу масофа 0,2 . . . 0,8 м атрофида бўлади) ва суюқликнинг сирт таранглигига боғлиқ.

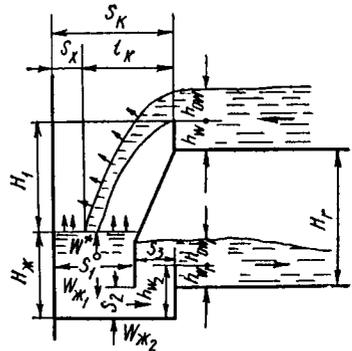
Колоннанинг диаметри қуйидаги тенглама бўйича топилади:

$$D_k = 2 \frac{\sqrt{G_0}}{c \sqrt{\rho_0 (\rho_c - \rho_0)}}; \quad (10.24)$$

бу ерда  $G_0$  — буғ миқдори,  $\text{кг/соат}$ .

Аппаратнинг топилган диаметри энг яқин стандарт қийматгача яхлитланади ва суюқликни ўтказиш қурилмалари ҳисоблангандан сўнг солиштириб кўрилади.

Суюқликнинг бир тарелкадан қуйилиши учун мосланган қурилмаларни ҳисоблашда 10.18-расмда кўрсатилган схемадан фойдаланилади. Ўтказиш қурилмасининг юқориги қисмида пастки тарелкага оқиб тушаётган суюқликдан буғнинг асосий массаси ажралиб чиқади. Шу сабабли  $S_k > l_k$  шарт бажарилиши керак, бу ерда  $S_k$  — ўтказиш қурилмаси юқориги қисмининг кенглиги;  $l_k$  — ўтказиш тўсиғидан ўтиб, отилиб тушаётган суюқлик оқимининг кенглиги.



10.18- расм. Қуйилиш қурилмалари асосий катталикларининг гидравлик ҳисоби.

Отилиб тушаётган суюқлик оқимининг кенглиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$l_k = 0,8 \sqrt{h_{0\omega} \left[ (K_n - 1) \left( \frac{\Delta p}{\rho_c g} + h_{\omega_1} + h_{0\omega_1} + \Delta + h_{дс} \right) + h_{0\omega} \right]} \quad (10.25)$$

бу ерда  $h_{0\omega} = h_{\omega_1}$ ;  $K_n$  — ўтказиш қурилмаси баланглигининг запас коэффициенти;  $K_n$  нинг қиймати суюқликнинг кўпикланиш даражасига боғлиқ:

кўпикланиш даражаси . . . . .	$K_n$
кам кўпикланадиган суюқликлар . . . . .	1,25 . . . 1,50
ўртача кўпикланадиган суюқликлар . . . . .	2
кучли кўпикланадиган суюқликлар . . . . .	2,5 . . . 3,0

Қуйилиш чуқурчаси юқориги қисмининг кенглиги қуйидагича қабул қилинади:

$$S_k \geq (1,5 \dots 2,0) l_k. \quad (10.26)$$

Тарелкалар орасидаги масофа  $H_T$  қуйидаги шарт бўйича аниқланади:

$$H_T \geq K_n H_c - (h_{\omega} + h_{\omega_2} - h_{\omega_1}),$$

бу ерда  $H_c$  — қуйилиш чуқурчасидаги кўпикланмаган суюқлик баланглиги.

Сегментсимон шаклдаги қуйилиш чуқурчасининг кенглиги  $S_k$  ўтказиш тўсиғи узунлиги  $B$  ва колоннанинг диаметри  $D_k$  қуйидаги нисбат орқали боғланган:



бу ерда  $\xi$  — қуруқ тарелканинг қаршилиқ коэффициенти, бу коэффициент тарелканинг турига боғлиқ. Масалан, қалпоқчали тарелкалар учун  $\xi = 4,6 \dots 5,1$ .

Тарелкадаги суюқлик қатламининг қаршилиги қуйидаги тенглама бўйича топилади:

$$\Delta p_c = K_r \cdot \rho_c \cdot g \cdot h_c \quad (10.34)$$

Аэрация коэффициенти  $K_r$  тарелканинг турига ва буг-суюқлик системасининг хоссаларига боғлиқ.

Сирт таранглик кучларига боғлиқ бўлган қаршилиқ қуйидагича аниқланади:

$$\Delta p_\sigma = \frac{\delta}{r_{\text{гидр}}}; \quad (10.35)$$

бу ерда  $r_{\text{гидр}}$  — бугнинг суюқликка ўтадиган тешиklarининг гидравлик радиуси.

Одатда  $\Delta p_\sigma$  нинг қиймати  $\Delta p_k$  ва  $\Delta p_c$  га нисбатан анча кам бўлади.

## 11-БОБ. СУЮҚЛИКЛАРНИ ЭКСТРАКЦИЯЛАШ

### 11.1-§. Умумий тушунчалар

Эритмалар ёки қаттиқ моддалар таркибидан бир ёки бир неча компонентларни эритувчилар ёрдамида ажратиб олиш процесси *экстракциялаш* деб аталади. Бу процесс икки турга бўлинади; а) суюқликларни экстракциялаш; б) қаттиқ материалларни экстракциялаш.

Эритмалар таркибидан бир ёки бир неча компонентларни танлаб таъсир қилувчи эритувчилар — экстрактлар ёрдамида ажратиб олиш процесси суюқликларни экстракциялаш деб юритилади. Суюқ аралашма билан эритувчи ўзаро аралаштирилганда эритувчида фақат керакли компонентлар яхши эрийди, қолган компонентлар эса жуда ёмон ёки бутунлай эримайди.

Экстракциялаш процесси ҳам асосан ректификациялаш каби суюқлик аралашмаларини ажратиш учун ишлатилади. Бу усулларнинг қайси бирини танлаш аралашмалар таркибидаги моддаларнинг хоссаларига боғлиқ. Ректификациялаш процесси одатда иссиқлик таъсирида боради. Экстракциялашни амалга ошириш учун иссиқлик талаб этилмайди. Ректификациялаш аралашма компонентларининг ҳар хил учувчанликларига асосланади. Агар аралашма компонентларининг қайнаш температуралари бир-бирига яқин ёки улар юқори температураларга беқарор бўлса, бундай ҳолларда экстракциялаш процесси қўлланилади. Танлаб олинган эритувчининг зичлиги экстракцияланиши лозим бўлган суюқлик зичлигидан кам бўлиши шарт.

Дастлабки эритма ва эритувчи ўзаро таъсир эттирилганда иккита фаза (экстракт ва рафинат) ҳосил бўлади. Ажратиб олинган модданинг эритувчидаги эритмаси *экстракт*, дастлабки эритманинг қолдиги эса *рафинат* деб юритилади. Рафинат таркибида бироз миқдорда

эритувчи ҳам бўлади. Олинган иккита суюқлик фазаси (экстракт ва рафинат) бир-бирдан тиндириш, центрифугалаш ёки бошқа механик усуллар ёрдамида ажратилади. Сўнгра экстракт таркибидан тегишли маҳсулот ажратиб олинади, рафинатдан эса эритувчи регенерация қилинади.

Суюқликларни экстракциялаш бошқа усуллар (ректификациялаш, буғлатиш ва ҳоказо) га нисбатан бирмунча афзалликларга эга; процесс паст температурада олиб борилади, эритманинг буғланиши учун иссиқлик талаб қилинмайди, юқори танловчанлик хусусиятига эга бўлган исталган эритувчини ишлатиш имкони бор. Бу усул камчиликдан ҳоли эмас; қўшимча компонент (эритувчи) ни ишлатиш ва уни регенерация қилишни ташкил этиш аппаратлар схемасини мураккаблаштиради ва экстракциялаш процессини қимматлаштиради.

Суюқлик — суюқлик системаларини экстракциялаш процесслари химия, нефтни қайта ишлаш, нефть химияси ва саноатнинг бошқа тармоқларида кенг ишлатилади. Бу процесслар турли органик ва нефтехимиявий синтез маҳсулотларини тоза ҳолда ажратиб олиш, нодир ва кам тарқалган элементларни олиш ва уларни ажратиш, чиқинди сувларини тозалаш ва шу каби бошқа бир қатор ишларни амалга ошириш учун ишлатилади.

## 11.2- §. Суюқлик—суюқлик системаларининг мувозанати

Суюқлик — суюқлик системаларининг фаза мувозанати орқали экстракт ва рафинатнинг чегара концентрацияларини аниқлаш мумкин. Мувозанат катталиклари керакли эритувчини танлашда, процесснинг технологик схемасини тузишда, аппаратнинг ўлчамларини аниқлашда, дастлабки эритма ва эритувчилар оқимларининг оптимал нисбатини топишда ҳамда процесснинг бошқа шарт-шароитларини билишда ишлатилади.

Ажратилаётган компонент — компонентнинг фазалар бўйича тарқалиш мувозанат шarti орқали аниқланади. Энг оддий ҳолатда, агар эритувчи ва дастлабки суюқлик бир-бирида бутунлай эримаса мувозанат шarti қуйидагича бўлади;

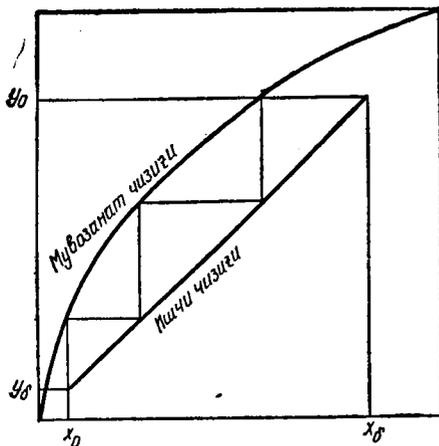
$$y = Kx, \quad (11.1)$$

бу ерда  $y$  — ажратилаётган компонентнинг экстракт таркибидаги концентрацияси;  $x$  — ажратилаётган компонентнинг рафинат таркибидаги концентрацияси;  $K$  — тарқалиш коэффициенти.

$x$  —  $y$  координаталар системасида мувозанат чизиги  $OA$  тўғри чизик кўринишига эга (11.1- расм). Бу берилган система учун тарқалиш коэффициентининг қиймати фақат температурага боғлиқ. Агар эритувчи дастлабки суюқликда қисман эриса, бундай мувозанат чизиги  $OB$  тўғри чизик кўринишига эга бўлмайди, чунки тарқалиш коэффициентининг қийматига ўзаро эрувчанлик таъсир этади.

Суюқликларни экстракциялашда учта компонент ( $A$  — экстракцияланаётган суюқлик,  $B$  — ажралаётган компонент,  $C$  — эритувчи) иштирок этади, шу сабабли бу процессни ўрганишда учбурчакли диаграммадан фойдаланилади (11.2- расм). Бу расмда тенг томонли





11. 4- расм. Суюқликни экстракциялаш процессида концентрация босқичини аниқлаш.

М нуктага тўғри келган аралашма экстракт ва рафинатга ажралади. Шундай қилиб, дастлабки аралашманинг эритувчи билан бир марта контактлашуви орқали иккита фаза (экстракт ва рафинат) ҳосил бўлади. Экстракт *B* компонент билан бойитилган бўлса, рафинатнинг таркибида *B* компонент жуда оз миқдорда бўлади. Ҳосил бўлган экстракт ва рафинатнинг миқдорлари қуйидаги нисбат орқали топилади;

$$\frac{G_R}{G_L} = \frac{ML}{MR}$$

Агар дастлабки аралашма ва эритувчи ўзаро бир-бирида эримаса, бу ҳолда график усул билан ҳисоблаш анча соддалашади (11.4-расм). Диаграмманинг горизонтал ўқида ажралаётган компонентнинг экстракцияланаётган суюқликдаги концентрацияси, вертикал ўқда эса ажралаётган компонентнинг эритувчидаги концентрацияси кўрсатилган. Иш чизиги ажралаётган компонентнинг эритувчидаги берилган охирги ва бошланғич концентрациялари асосида тузилади. Мувозанат ва иш чизиклари ўртасидаги учбурчакли поғоналар ўтказиш йўли билан берилган концентрациялар чегараларида экстракциялаш процессини ўтказиш учун зарур бўлган концентрациялар ўзгаришининг сони топилади. Иш чизигининг тенгламаси қуйидаги моддий баланс орқали топилади;

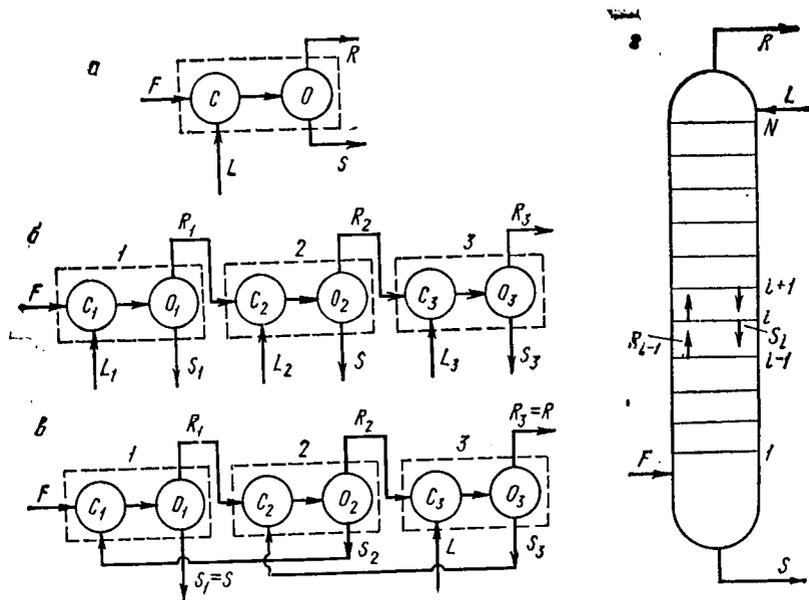
$$G_1(x_R - x_0) = G_2(y_0 - y_R), \quad (11.2)$$

бу ерда  $G_1$  — экстракцияланаётган суюқлик миқдори, кг;  $G_2$  — эритувчи миқдори, кг.

### 11.3-§. Экстракциялашнинг асосий усуллари

Суюқликларни экстракциялаш процесси икки босқичдан иборат: 1) дастлабки аралашма билан эритувчининг контактлашуви учун уларни аралаштириш; 2) ҳосил бўлган рафинат ва экстракт эритмаларини бир-биридан ажратиш. Шу сабабли экстракциялашнинг битта поғонаси аралаштиргич ва тиндиришдан ташкил топган бўлади. Аралаштиргич ва тиндириш аппаратлари турли конструктив тузилишда бўлиши мумкин.

Экстракциялаш процессини олиб боришнинг схемалари 11.5-расмда кўрсатилган; 1) бир поғонали экстракциялашда (11.5-расм, а) дастлабки аралашма ва хом ашё эритувчи билан бир марта аралаштирилади, сўнгра рафинат ва экстракт эритмалари ажратилади; 2) кўп



11.5- расм. Экстракция процессининг асосий усуллари:

а) бир поғонали; б) кўп поғонали; в) қарама-қарши йўналишли; г) аралаштириш ва тиндириш аппаратларида (С— аралаштиргич; О— тиндириш; F— хом ашё— эритувчи; R— рафинат эритмаси; s— экстракт эритмаси).

поғонали экстракциялашда (11.5- расм, б) ҳар бир поғонада хом ашё ва рафинат эритмаси эритувчининг тегишли миқдори билан қайта ишланади; 3) қарама-қарши оқим билан экстракциялаш. Бу усул аралаштиргич-тиндириш типигаги аппаратларда (11.5- расм, в) ва колоннали аппаратларда (11.5- расм, г) олиб борилади.

Бир поғонали экстракциялаш аралашмаларни бирламчи ажратиш учун ишлатилади. Қарама-қарши оқим билан экстракциялашда аралашма яхши ажратилади, бунда рафинатнинг чиқиши юқори бўлади. Кўп поғонали экстракциялаш процессида эса юқори сифатли рафинатнинг чиқиш миқдори кам бўлади.

#### 11.4-§. Экстракциялаш процессининг тезлиги

Суюқликларни экстракциялашда иккита суюқ фаза ўртасида мода алмашиниш процесси юз беради, ажратиб олиниши лозим бўлган компонент битта суюқликдан иккинчисига ўтади. Фазалар ўртасида контакт юзасини кўпайтириш учун суюқликлардан бири маълум ўлчамли майда томчиларга ажратилади. Бунда битта суюқлик аппаратнинг ҳажми бўйича (ёки контакт қурилмасининг устида) узлуксиз ёки яхлит жойлашган бўлади, иккинчи суюқлик эса томчи ҳолида бўлади. Биринчи суюқлик яхлит ёки дисперсион фаза деб, томчи ҳолидаги суюқлик эса дисперс фаза деб юритилади.

Шундай қилиб, ажратилиши лозим бўлган компонент яхлит фазанинг ичидан томчининг юзасига, сўнгра, унинг таркибига ёки тегишли компонент томчининг ичидан ажратувчи юза орқали яхлит фаза оқимига ўтади. Процесснинг тезлиги бир фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг миқдори билан белгиланади.

Яхлит ва дисперс фазаларнинг диффузион қаршиликларининг нисбатига кўра процесснинг тезлиги турлича аниқланади. Бунда уч хил ҳол юз бериши мумкин.

1. Томчи ичидаги диффузион қаршилиқ фазанинг диффузион қаршилигига нисбатан анча кам. Бунда модда ўтказиш фақат тарқалган фазадаги диффузион қаршилиқ орқали аниқланади. Модда ўтказиш коэффиценти модда бериш коэффицентига тенг деб олинади, яъни  $K_x = \beta_c$ . Бир фазадан иккинчи фазага ўтган модданинг миқдори қуйидаги тенгламадан топилади:

$$M = \beta_c \cdot \Delta x \cdot F, \quad (11.3)$$

бу ерда  $\Delta x$  — процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи;  $F$  — фазаларнинг контакт юзаси.

Модда бериш коэффиценти  $\beta_c$  қуйидаги тахминий критериял тенглама орқали топилиши мумкин:

$$Nu_c = 1,13 \cdot Re_c^{0,5}, \quad (11,4)$$

бу ерда  $Nu_c = \beta_c \cdot d / D_c$  — яхлит фаза учун Нуссельт критерийси;  $Re_c = \frac{\omega \cdot d}{D_c}$  — яхлит фаза учун Пекле критерийси;  $\beta_c$  — яхлит фаза бўйича модда бериш коэффиценти, м/с;  $D_c$  — модданинг яхлит фазадаги диффузия коэффиценти, м<sup>2</sup>/с;  $\omega$  — томчининг диаметри, м;  $w$  — томчининг яхлит фазадаги нисбий ҳаракат тезлиги.

2. Яхлит фазанинг диффузион қаршилиги томчи ичидаги диффузион қаршилиқка нисбатан анча кам. Бунда модда ўтказиш тезлиги томчи ичидаги диффузион қаршилиқ орқали топилади. Модда ўтказиш коэффиценти модда бериш коэффицентига тенг деб олинади ( $K_y = \beta_d$ ). Бир фазадан иккинчи фазага ўтган модда миқдори қуйидагича ташкил этади:

$$M = \beta_d \cdot \Delta y \cdot F \quad (11.5)$$

Модда бериш коэффиценти  $\beta_d$  қуйидаги тахминий ифода орқали аниқланиши мумкин:

$$Nu_d = 0,90375 \cdot Re_d, \quad (11.6)$$

бу ерда  $Nu_d = \beta_d \cdot d / D_d$  — дисперс фаза учун Нуссельт критерийси;  $Re_d = \frac{\omega d}{D_d}$  — дисперс фаза учун Пекли критерийси;  $\beta_d$  — дисперс фаза бўйича модда бериш коэффиценти, м/с;  $D_d$  — модданинг дисперс фазадаги диффузия коэффиценти, м<sup>2</sup>/с.

3. Яхлит ва дисперс фазалардаги диффузион қаршилиқларни ҳисобга олмаслик мумкин эмас, бунда модданинг иккала фаза бўйлаб тарқалиши эътиборга олинади. Модда бериш коэффицентларини ҳисоблашда (11.4) ва (11.6) тенгламалардан фойдаланиш мумкин. Сўнгра модда ўтказиш коэффицентлари қуйидаги ифодалар орқали аниқланади:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_d} + \frac{A_p}{\beta_c}} \quad (11.7)$$

ёки

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_d \cdot A_p} + \frac{1}{\beta_c}}; \quad (11.8)$$

бу ерда  $A_p$  — тажриба орқали топиладиган коэффициент. Бу коэффициент қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$A_p = K \frac{\rho_a}{\rho_c}, \quad (11.9)$$

бу ерда  $\rho_a$  — экстракция қилинаётган суюқлик зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_c$  — эритувчи зичлиги  $\text{кг/м}^3$ ;  $K$  — тарқалиш коэффициенти.

Бир фазадан иккинчи фазага тарқалган модда миқдори модда ўтказишнинг асосий тенгламалари орқали топилади:

$$M = K_y \cdot \Delta y \cdot F \quad (11.10)$$

ёки

$$M = K_x \Delta x \cdot F. \quad (11.10a)$$

### 11.5-§. Экстракторларнинг тузилиши

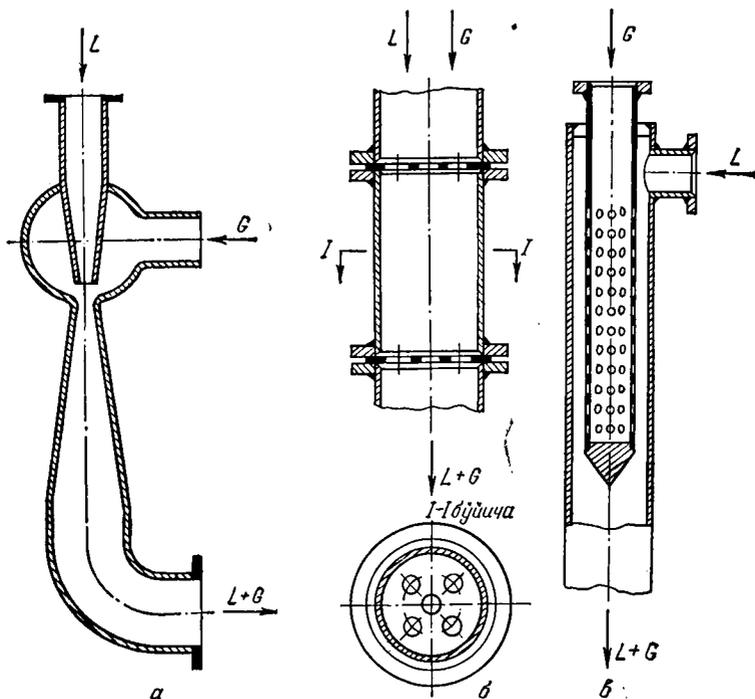
Химия саноатида ҳар хил конструкцияли экстракторлар ишлатилади. Булар асосан уч турга (аралаштиргич-тиндириш, колоннали ва марказдан қочма куч таъсирида ишлайдиган экстракторларга) бўлинади.

**Аралаштиргич-тиндириш экстракторлари.** Энг оддий даврий ишлайдиган аралаштиргич-тиндириш экстракторлар вазифасини аралаштиргичли аппаратлар бажаради. Бир поғонали экстракциялашни узлуксиз олиб бориш учун икки қисм (аралаштиргич ва тиндириш) дан иборат аппаратлар ишлатилади.

Саноатда аралаштиргичлар сифатида инжекторли, диафрагмали трубали аралаштиргичлар, марказдан қочма насослар, оддий вентиляторлар кенг ишлатилади.

Инжекторли аралаштиргич қуйидагича ишлайди. Суюқлик  $L$  катта тезлик билан соплодан чиқади ва ўзининг кинетик энергияси таъсирида бошқа суюқлик  $G$  ни сўриб олади (11.6-расм, а). Бу икки суюқлик диффузор орқали ўтаётганида аралашади. Ҳосил бўлган аралашма  $L + G$  аралаштиргичдан чиқиб, тиндириш аппаратига ўтади. Диафрагмали аралаштиргич цилиндрсимон аппарат бўлиб, унинг ичига бир неча тешикли диафрагмалар ўрнатилган бўлади (11.6-расм, б). Суюқликлар  $L$  ва  $G$  диафрагмалардаги тешиклар орқали ўтганида аралашади, сўнгра ҳосил бўлган аралашма  $L + G$  тиндириш аппаратига юборилади.

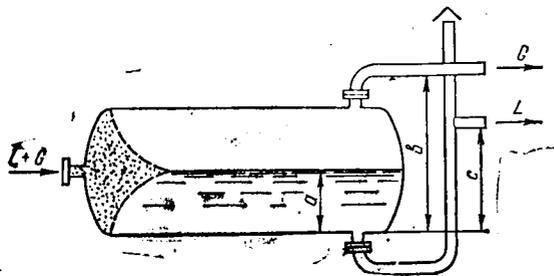
Трубали аралаштиргичнинг схемаси 11.6-расм, в да кўрсатилган. Бу аппарат бирининг ичига иккинчиси киритилган иккита тру-



11.6- расм. Аралаштиргичлар:  
 а) инъекторли; б) диафрагмали; в) трубапи.

бадан иборат бўлиб,  $G$  ва  $L$  суюқликлар трубапарга алоҳида-алоҳида киритилади ва трубапнинг юзасидаги тешиклар орқали катта тезликда суюқлик  $G$  чиқади ҳамда ҳалқасимон бўшлиқда бу суюқлик  $L$  суюқлик билан аралашади, натижада аралашма  $L + G$  ҳосил бўлади.

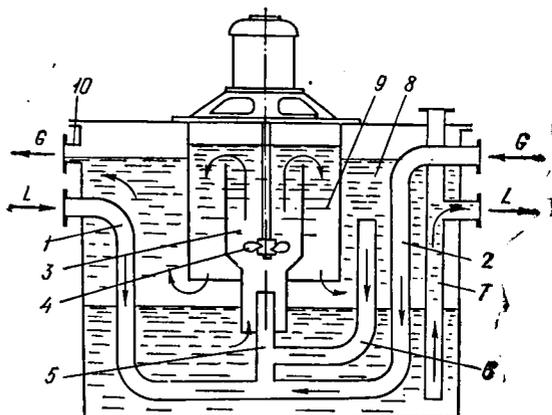
Энг оддий тиндиргич горизонтал жойлашган идишдан иборат (11.7- расм). Тиндиргичнинг ҳажми бўйлаб суюқлик ламинар режим билан ҳаракат қилади, натижада аралашма икки қисмга ажралади. Енгил фракция (экстракт) аппаратнинг тепасида жойлашган штуцер



11.7- расм. Тиндиргич.

11.8- расм. Аралаштириш—  
тиндириш экстрактори:

1, 2— эритма ва эритувчи кирадиган труба; 3— аралаштириш зонаси; 4— аралаштиргич; 5— аралаштириш труба; 6— циркуляцион труба; 7— сифон; 8— ажратиш зонаси; 9— ҳалқасимон бўшлик; 10— қуювчи штуцер.



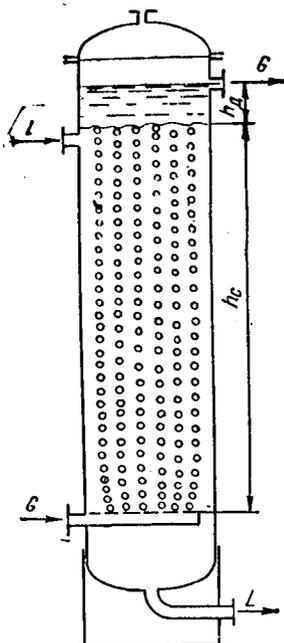
орқали чиқади. Оғир фракция ( $L$  рафинат) эса тиндиргичнинг пастки қисмидаги штуцер ва сифон орқали ташқарига чиқади.

Аралашмаларни икки қисмга ажратишда мураккаб тузилишга эга бўлган бошқа тиндириш аппаратлари (гидроциклонлар, центрифугалар ва марказдан қочма сепараторлар) ҳам кенг ишлатилади.

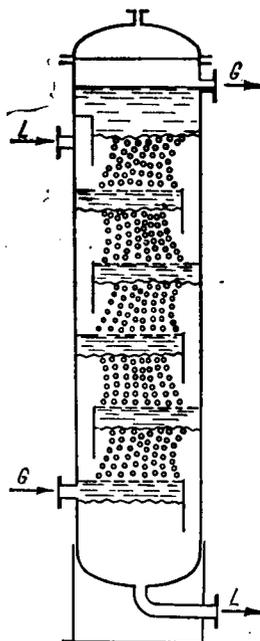
Саноатда кўпинча икки хил фазани аралаштириш ва ажратиш операциялари битта аппаратда амалга оширилади. Бундай аппаратлар аралаштириш-тиндириш экстракторлари деб аталади (11.8- расм). Дастлабки эритма  $L$  ва эритувчи  $G$  тегишли трубалар орқали аралаштириш камерасига юборилади. Аралаштириш зонасида аралаштиргич доим ишлаб туради. Ҳосил бўлган аралашма юқорига кўтарилади, сўнгра ҳалқасимон бўшлиқ орқали ажратиш зонасига ўтади. Оғир фракция  $L$  аппаратдан сифонли труба орқали, ёнгил фракция  $G$  эса аппаратнинг юқорисига жойлашган штуцер ёрдамида ташқарига чиқади. Ўзаро таъсир қилаётган суюқликлар махсус труба орқали рециркуляция қилинади.

**Колоннали экстракторлар.** Бу турдаги аппаратлар сочилувчан, насадкали, тарелкали, пульсацион ва роторли-дискли экстракторларга бўлинади. Колоннали экстракторларда фазаларнинг контакт юзасини кўпайтириш учун суюқлик фазаларидан биттаси майда томчиларга парчаланadi. Майда томчилар ҳолида бўлган суюқлик дисперс фаза деб юритилади, аппаратнинг бутун ҳажмини эгаллаган суюқлик эса яхлит (ёки дисперсион) фаза деб аталади. Ёнгил суюқлик  $G$  ҳам, оғир суюқлик  $L$  ҳам дисперс фаза вазифасини бажара олади.

11.9- расмда суюқликни сочувчи экстракторнинг схемаси келтирилган. Экстрактор ичи бўш цилиндрсимон колоннадан иборат. Аппарат оғир суюқлик  $L$  (дастлабки аралашма) билан тўлдирилади, бу суюқлик  $\omega_2$  тезлик билан юқоридан пастга қараб ҳаракат қилади ва пастки штуцер орқали рафинат  $L$  сифатида ташқарига чиқарилади. Ёнгил суюқлик (эритувчи)  $G$  аппаратга тешиклари бўлган труба орқали киради. Эритувчи майда томчилар ҳолида юқорига томон  $\omega$  тезлик билан ҳаракат қилади. Аппаратнинг юқориги қисмида томчилар



11. 9- расм. Сууюқликни сочиб берувчи экстрактор.



11. 10- расм. Ғалвирсимон тарелкали экстрактор.

қўшилишиб кетиб,  $h$  баландликдаги энгил сууюқлик қатламини ташкил қилади. Ҳосил бўлган энгил сууюқлик (экстракт)  $G$  юқориги штуцер орқали аппаратдан чиқади. Колоннанинг иш баландлиги  $h_n$  дан иборат. Аппарат деворига нисбатан томчилар силжишининг абсолют тезлиги қуйидагича топилади;

$$\omega = \omega_r - \omega_c,$$

бу ерда  $\omega_r$  — томчининг нисбий кўтарилиш (ёки чўкиш) тезлиги;  $\omega_c$  — яхлит фаза ҳаракатининг чизиқли тезлиги.

Агар ичи бўш колонналар насадкалар билан тўлдирилса, фазаларнинг самарали контакти ҳосил бўлади. Бундай колонналар насадкали экстракторлар дейилади. Насадка сууюқликнинг қўшимча равишда майда томчиларга бўлинишини таъминлайди ҳамда томчиларнинг аппаратда кўпроқ тутилиб ўтишига ёрдам беради. Насадкали экстракторларнинг тузилиши оддий, уларнинг самарадорлиги олдинги типдаги аппаратларга нисбатан бирмунча юқори.

Саноатда кўпинча ғалвирсимон тарелкали экстракторлар ишлатилади (11.10- расм). Аппаратда яхлит фаза битта тарелкадан иккинчисига қуйилиш трубалари ёрдамида ўтади. Эритувчи аппаратнинг пастки қисмига берилади ва тарелканинг тешиклари орқали ўтганда майда томчиларга ажралади. Томчилар кўтариш кучи таъсирида яхлит фаза ичида юқорига қараб ҳаракат қилади ва тарелка зонасига ет-

ганида ўзаро қўшилиб, суюқлик қатламини ҳосил қилади. Бу қатлам тиргович қатлам деб юритилади. Бу қатламдаги суюқлик тарелканинг тешиклари орқали ўтиб яна томчилар ҳосил қилади.

Шундай қилиб, битта колоннада кўп маротаба суюқликнинг майда томчиларга парчаланиши ва улар қўшилиб, суюқликнинг тиргович қатламини ҳосил қилиши юз беради. Энг юқориги тарелкадан кўтарилиб чиқаётган томчилар қўшилиб, енгил суюқлик қатлами — экстрактни ҳосил қилади ва аппаратдан ташқарига чиқарилади. Оғир фракция (рафинат) аппаратнинг пастки қисмига жойлашган штуцер ёрдамида аппаратдан узатилади.

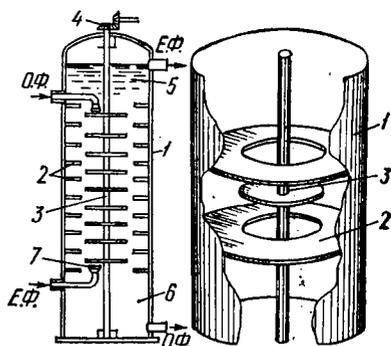
Тарелка тешикларидан чиқаётган томчиларнинг тезлигига кўра, томчи ҳосил қилишнинг уч режими бор: 1) нотекис томчи ҳосил бўлиши (кичик тезликларда); 2) бир текисда томчи ҳосил бўлиши (тезлик бироз ортганда); 3) суюқликнинг кичик оқимлар билан чиқиши (катта тезликларда). Тажрибаларнинг кўрсатишича, ғалвирсимон тарелкаларнинг энг самарали ишлаши учун дисперс фазанинг тешиклардан ўтиш тезлиги 0,15 ... 0,30 м/с бўлиши керак экан. Бундай тезликда суюқликнинг кичик оқимлар ҳосил қилиш режими мавжуд бўлади. Тарелкалар оралиғидаги масофа 0,25 ... 0,60 м қилиб олиниши мумкин. Яхлит фазанинг тарелка устундаги баландлиги 0,2 м атрофида бўлса, модда ўтказиш процесси тез кетади. Тарелкадаги тешикларнинг диаметри одатда 3 ... 6 мм бўлади.

Тарелкали экстракторлар ичи бўш ва насадкали колонналарга нисбатан бирмунча самарали ишлайди.

Агар дастлабки эритма ва эритувчи зичликлари оралиғидаги фарқ 100 кг/м<sup>3</sup> дан кам ва фазалар ўртасидаги сирт таранглик кучи катта қийматга эга бўлса, бунда контакт юзасини анча ошириш учун механик аралаштиргич билан жиҳозланган экстракторлар ишлатилади. Механик аралаштириш диски, турбинали, парракли ва шу каби аралаштиргичлар ёрдамида амалга оширилади.

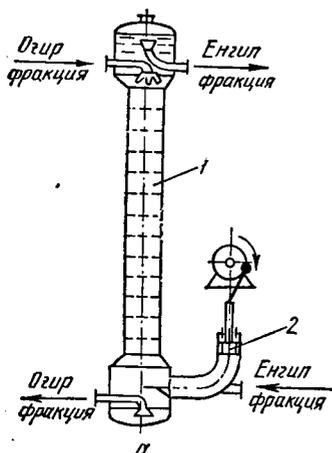
Бу тип аппаратлардан роторли-дискли экстракторлар кенг ишлатилади (11.11-расм). Колоннанинг ўқи бўйлаб ротор-вал айланади, унга дисклар ўрнатилган бўлади. Дискларнинг айланиши натижасида икки фазали оқим яхши аралашади. Аппаратнинг ички деворига ҳалқасимон тўсиқлар ўрнатилган. Ҳалқасимон тўсиқлар аппаратни бир неча секцияга бўлади. Ҳар бир секциянинг ўртасида ротор дисклари айланиб туради.

Фазалар *L* ва *G* қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилиб айланувчи дисклар ёрдамида ҳар бир секцияда аралашади ва қўзғалмас ҳалқасимон тўсиқлар ёнида қисман қатламларга ажралади. Агар оғир суюқлик *L* яхлит фаза вазифасини



11.11-расм. Роторли дискли экстрактор:

1— корпус; 2— ҳалқасимон тўсиқлар; 3— ротор; 4— узатиш механизми; 5, 6— қўзғалмас зоналар; 7— тақсимлагич.



11, 12- расм. Пульсацияли экстрактор:

1— элаксимон тарелкали колонна;  
2— пульсатор.

бажарса, аппаратнинг юқориги қисмида, яъни тешикли тўсиқнинг тепасида энгил дисперс фаза яхлит фазадан тўла ажралади ва тегишли штуцер орқали колоннадан ташқарига чиқарилади. Оғир фаза эса экстракторнинг пастки қисмидан узатилади.

Пульсацияли экстракторларда ҳам икки фазали оқимга қўшимча энергия берилади. Бунда аппаратнинг ичидаги суюқликка пульсаторлар ёрдамида қайтарма-илгариллама ҳаракат берилади. Пульсация тебранишлари таъсирида оқимнинг турбулентлиги ва фазаларнинг томчиларга айланиш даражаси ортади, натижада насадкали ва ғалвирсимон тарелкали колонналардаги модда ўтказиш процессининг самарадорлиги кўпаяди.

Саноатда пульсаторлар сифатида клапансиз поршенли, плунжерли ёки мембранали насадкалар ёхуд махсус пневматик қурилмалар ишлатилади.

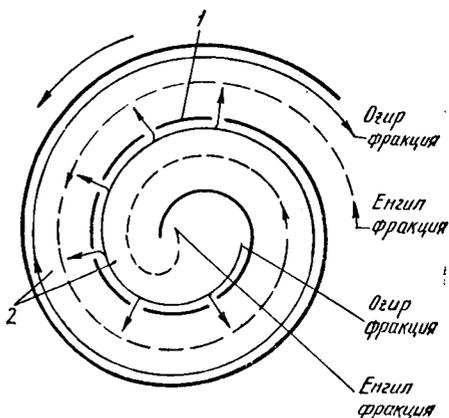
11.12- расмда пульсацияли экстракторнинг схемаси кўрсатилган. Бу экстрактор оддий колонна бўлиб, ичига ғалвирсимон тарелкалар ўрнатилган. Пульсатор клапани поршенли насос воситасида энгил фаза узатадиган трубага ўрнатилган. Одатда тарелка тешикларининг диаметри 3 ... 5 мм, тарелкадаги ҳамма тешикларнинг юзаси эса колонна кўндаланг кесими юзасининг 20 ... 25% ини ташкил этади. Тарелкалар орасидаги масофа 50 мм. Пульсацияли экстракторларнинг диаметри чегараланган бўлади (энг кўпи билан 600 ; 800 мм). Экстракторнинг самарадорлиги пульсатор тебранишининг частотаси ва амплитудасига боғлиқ. Пульсаторларнинг кўпинча оптимал тебранишлар сони минутига 200 ... 300 ни ташкил қилади, бунда амплитуда 1 ... 2 мм га тенг бўлиши керак.

**Марказдан қочма экстракторлар.** Агар экстракция қилинаётган модда тез парчаланиб кетиш хусусиятига эга бўлса (масалан, антибиотик моддалар), бунда процесс кечинининг вақтини максимал даражада камайтириш зарур. Марказдан қочма экстракторларда экстракциялаш максимал тезлик билан боради. Аралашма ва эритувчи зичликларининг айирмаси жуда кичик бўлган тақдирда ҳам бундай экстракторларни ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Бу турдаги аппаратларнинг тузилиши жуда ихчам, иш унуми катта, экстракциялаш процесси эса катта тезликларда боради.

11.13- расмда марказдан қочма куч таъсирида ишлайдиган ротацион экстрактордаги суюқликларнинг ҳаракатланиш схемаси кўрсатилган. Бундай экстрактор катта частота билан ишлайдиган горизонтал цилиндрик ротор ва барабандан ташкил топган. Барабанининг ички қисми ғалвирсимон спирал тўсиқ 1 ёрдамида тўғри бурчак кесимли каналлар 2 га бўлинган. Суюқликлар аппаратга алоҳида каналлар

бўйлаб насослар ёрдамида берилади ва барабаннынг ичида қарама-қарши йўналиш билан ҳаракат қилади, суюқлик тешиклардан ўтишида бир неча марта аралашади, ниҳоят ҳосил бўлган фазалар ҳам марказдан қочма куч таъсирида ажралади.

Марказдан қочма экстракторларнинг иш унуми роторнинг кенглигига, назарий поғоналарнинг сони эса роторнинг диаметрига боғлиқ. Саноатда ишлатилаётган экстрактор-роторларнинг айланишлар сони тахминан  $1200 \dots 5000 \text{ мин}^{-1}$  атрофида, бу ҳол эса барабан ўлчамларини чегаралашга олиб келади (барабаннынг диаметри 1,2—1,5 м дан ошмайди).



11. 13-расм. Роторли экстракторларда суюқликларнинг ҳаракатланиш схемаси:

1— ғалвирсимон спирал тўсиқ, 2— канал.

### 11. 6-§. Экстракциялаш аппаратларини ҳисоблаш

Экстракторларни ҳисоблашдан асосий мақсад уларнинг асосий ўлчамларини топишдир. Аппаратнинг асосий ўлчами унинг диаметри ва баландлиги ҳисобланади. Экстракциялаш аппаратларининг кўпчилик типларини ҳисоблаш усуллари яхши ишлаб чиқилмаган, чунки умумлаштириш учун тажриба натижалари етарли эмас, бундан ташқари, тадқиқот ишлари ўлчамлари кичик бўлган аппаратларда олиб борилган.

Саноатда ғалвирсимон тарелкали экстракторлар анча кўп ишлатилади, шу сабабли мисол тариқасида шу аппаратларнинг ҳисоблаш тартиби билан танишиб чиқамиз.

Дисперс (ёки томчи) фазанинг сарфи  $G$  бўйича тарелканинг перфорация қилинган (яъни тешиклари бўлган) қисмининг юзаси ҳисобланади:

$$F_1 = \frac{G}{3600 \rho_d \cdot \epsilon \cdot \omega_0}; \quad (11. 11)$$

бу ерда  $\rho_d$  — дисперс фазанинг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega_0$  — томчининг нисбий тезлиги  $\omega_0 = 0, 15 \dots 0, 30 \text{ м/с}$ ;  $\epsilon$  — тарелканинг перфорацияланган қисми эркин кесимининг коэффиценти, бу коэффицент тешиклари учбурчаклик бўйича жойлаштирилганда қуйидагига тенг:

$$\epsilon = 0, 907 \frac{d_0^2}{t^2}, \quad (11. 12)$$

бу ерда  $t$  — тешиклар қадами.

Яхлит фазанинг сарфи  $\Delta$  бўйича тарелкадаги қуйилиш трубкасининг юзаси топилади:

$$F_2 = \frac{L}{3600 \cdot \rho_c \cdot \omega_n}, \quad (11.13)$$

бу ерда  $\rho_c$  — яхлит юза зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega_n$  — бу фазанинг патрубकाдаги тезлиги,  $\text{м/т}$ .

Қўйилиш патрубкисидаги яхлит фаза оқими орқали олиб кетилаётган майда томчиларнинг диаметри ёрдамида  $\omega_n$  нинг қийматини аниқлаш мумкин:

$$\omega_n = \frac{\Delta \gamma \cdot d_{\text{мт}}^2}{18 \cdot \mu_c}, \quad (11.14)$$

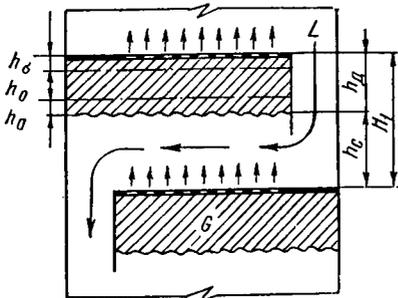
бу ерда  $\mu_c$  — яхлит фазанинг динамик қовушоқлиги,  $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$ ,  $\Delta \gamma$  — дисперс ва яхлит фазаларнинг солиштирма массалари орасидаги фарқ  $\text{Н/м}^3$ .

Тарелкани аппарат корпусига бирлаштириш ва қўйилиш қурилмаларини монтаж қилиш учун  $F_1$  ва  $F_2$  юзалар йиғиндисининг 10% ига тенг бўлган ҳалқасимон кесимли майдон қолдирилади:

$$F_3 = 0,1 (F_1 + F_2). \quad (11.15)$$

Бунда экстракторнинг ички диаметри қўйидагича аниқланади:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} (F_1 + F_2 + F_3)}. \quad (11.16)$$



11.14-расм. Тиргович баландлигини ва тарелкалар орасидаги масофани ҳисоблаш.

бу ерда  $d_{\text{кт}}$  — суюқликни томчиларга ажратувчи қурилма тешикларининг диаметри,  $\text{м}$ ;  $S$  — фазалар орасидаги таранглик кучи,  $\text{Н/м}$ .

Тешиклардаги иш тезлиги  $\omega_0$  ни ҳосил қилиш учун керак бўлган томчиланган суюқлик қатламининг баландлиги  $h_0$  қўйидаги ифодадан аниқланади:

$$h_0 = \xi_0 \frac{\omega_0^2 \cdot \gamma_d}{2g \cdot \Delta \gamma}; \quad (11.19)$$

бу ерда  $\gamma_d$  — дисперс фазанинг солиштирма массаси,  $\text{Н/м}^3$ ;  $\xi_0 = 1,82$  — тешикларнинг каршилик коэффиценти.

Ҳар бир тарелка остидаги (ёки устидаги) томчиланган суюқлик тиргович қатламининг баландлиги (11.14-расм) қўйидаги йиғиндига тенг:

$$h_d = h_3 + h_0 + h_n. \quad (11.17)$$

(11.17) тенгламадаги фазаларнинг ўзаро таранглик кучини енгил учун зарур бўлган томчиланган суюқлик қатламининг баландлиги  $h_0$  қўйидаги тенгламадан топилади:

$$h_0 = \frac{4 \cdot S}{d_{\text{кт}} \cdot \Delta \gamma}; \quad (11.18)$$

Қуйилиш патрубклариди яхлит фазанинг  $\omega_n$  тезлик билан ҳаракатланиши учун зарур бўлган томчиланган суюқлик қатлами баландлиги  $h_n$  қуйидаги ифодадан топилади:

$$h_n = \xi_n \frac{\omega_n^2 \cdot \gamma_c}{2g \cdot \Delta \gamma}, \quad (11.20)$$

бу ерда  $\gamma_c$  — яхлит фазанинг солиштирма массаси,  $\text{Н/м}^3$ ;  $\xi_n = 4,5$  — қуйилиш патрубканинг қаршилик коэффициентини.

Тарелкалар орасидаги масофа  $H_T$  дисперс ва яхлит фазалар қатламлари баландликлари  $h_d$  ва  $h_c$  нинг йиғиндисига тенг (11.14-расм):

$$H_T = h_d + h_c. \quad (11.21)$$

Тажриба натижаларига кўра, яхлит фаза қатламининг баландлиги  $h_c = 0,2$  м бўлганда модда ўтказиш процесси анча тез боради. Тарелкалар орасидаги масофа  $0,25 \dots 0,6$  м қилиб олинади. Катта ўлчамдаги колонналар учун  $H_T = 0,4 \dots 0,6$  м, бунда тарелкаларни вақт-вақти билан тозалаб туриш учун тарелкалар орасига люклар ўрнатиш имкони бўлади.

Тарелканинг юзасига нисбатан олинган модда ўтказиш коэффициентини  $K_{yf}$  билган ҳолда тарелканинг ўтказиш бирлиги сони топилади:

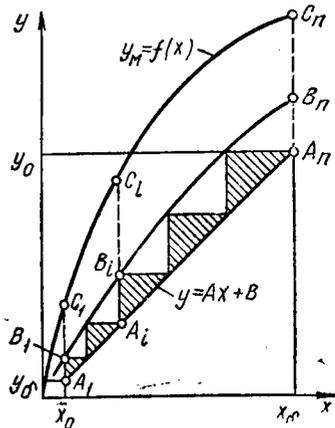
$$m_{yT} = \frac{K_{yf} \cdot F}{G}. \quad (11.22)$$

$x$  —  $y$  диаграммасига мувозанат чизиғи  $y_m = f(x)$  ва экстракциялашнинг иш чизиғи  $y = Ax + B$  ни жойлаштириш орқали процесснинг кинетик чизиғини ҳам чизиш мумкин (11.15-расм). Бунинг учун мувозанат ва иш чизиқлари орасидаги масофалар қуйидаги нисбатлар бўйича бўлинади:

$$\frac{A_1 C_1}{B_1 C_1} = \frac{A_2 C_2}{B_2 C_2} = \dots = \frac{A_i C_i}{B_i C_i} = \dots = \frac{A_n \cdot C_n}{B_n C_n} = L^{m_{yT}} \quad (11.23)$$

$L_{m_{yT}}$  нинг қийматларини билиш орқали  $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n$  нуқталарни аниқлаймиз, сўнгра бу нуқталарни ўзаро бирлаштириб кинетик эгри чизиғини ҳосил қиламиз.  $y$  —  $x$  диаграммада топилган кинетик эгри чизиқ ҳамда иш чизиғи орасида ва берилган концентрациялар  $x_6, x_0$  ёки  $y_6, y_0$  чегараларида тузилган поғоналарнинг сони колоннадаги тарелкаларнинг сони  $n$  ни беради. Шундай қилиб, экстракторларнинг иш баландлиги қуйидагича аниқланади:

$$H_n = H_T \cdot n. \quad (11.24)$$



11.15-расм. Қарама-қарши йўналишли экстракторларда тарелкалар сонини аниқлаш.

## 12-боб. АДСОРБЦИЯ

### 12.1-§. Умумий тушунчалар

Газ аралашмалари ҳамда эритмалардаги бир ва бир неча компонентларнинг ғоваксимон қаттиқ жисмлар юзаси бўйлаб (адсорбентда) ютилиш процесси *адсорбция* дейилади. Ютилувчи модда адсорбент ёки адсорбтив дейилади. Ҳар бир адсорбент мураккаб аралашмаларда маълум компонентларни ютиб, аралашманинг бошқа компонентларига таъсир қилмайди. Демак, адсорбентлар танловчанлик қобилиятига эга. Ютилган модда адсорбентдан десорбция йўли билан ажратиб олинади.

Адсорбция процесси кўпинча газ ва суюқлик аралашмаларидаги ютилаётган компонентнинг концентрацияси кам миқдорда бўлганда, адсорбтивни бутунлай ажратиб олиш учун қўлланилади. Агар ютилаётган компонентнинг концентрацияси юқори бўлса, у ҳолда абсорбция процесси қўлланилади.

Адсорбция процесси газларни, эритмаларни тозалаш ва қуритишда, эритмалардан қимматбаҳо моддаларни ажратиб олишда, нефть маҳсулотларидан ҳосил бўлган аралашмаларни тозалашда, ҳаво ёки бошқа газлар аралашган (портловчан) эритмаларни ҳамда газ ва буғ аралашмаларини ажратиб олишда, нефтни қайта ишлаш натижасида ҳосил бўлган газ аралашмаларидан водород ва этиленни, бензин фракцияларидан ароматик углеводородларни ажратиб олишда, ёғларни, вино маҳсулотларини, ҳар хил мева-сабзавот шарбатларини тозалашда, химия ва озиқ-овқат саноатининг барча тармоқларида кенг қўлланилади.

Адсорбция процесси икки хил: физик ва химиявий (хемосорбция) бўлади. Физик адсорбцияда адсорбент ва ютилаётган компонент ўзаро химиявий жиҳатдан таъсир қилмайди. Химиявий адсорбция процессида адсорбент билан ютилаётган модданинг молекулалари ўзаро таъсирлашиб, адсорбентнинг юзасида химиявий бирикма ҳосил бўлади.

Физик адсорбция процессида кам иссиқлик ажралиб чиқиб, бу иссиқлик яширин буғланиш иссиқлиги дейилади ва бир неча калорияга тенг бўлади. Химиявий адсорбцияда эса ажралиб чиқадиган иссиқлик одатдаги химиявий реакцияларнинг иссиқлик ҳисобида бир неча юз калорияга етади. Шундай қилиб, химиявий адсорбция юқори температурада кичик тезликларда боради.

Адсорбция процессининг танловчанлик хусусияти адсорбентнинг ва ютилаётган модданинг табиатига, концентрациясига, температурага ҳамда газлар ютилаётган бўлса, босимга ҳам боғлиқ бўлади. Адсорбентнинг активлашган юзаси адсорбентнинг молекулалари билан тўйингандан кейин процесс тўхтатилади. Адсорбция процессининг тезлиги эса адсорбентларнинг солиштирма юзаларининг катталигига боғлиқ.

### 12.2-§. Адсорбентларнинг турлари ва уларнинг хусусиятлари

Саноатда адсорбент сифатида адсорбентнинг масса ёки бирлик ҳажмига нисбатан катта солиштирма юзага эга бўлган ғоваксимон қаттиқ моддалар ишлатилади. Адсорбентлар заррача ичидаги капилляр

каналларининг катталигига қараб шартли равишда макро, оралиқ, микроговакли бўлади. Макроговакли адсорбентларнинг капилляр каналлари диаметрининг ўлчами  $2 \cdot 10^{-4}$  мм дан юқори, оралиқ ғовакдиларники  $6 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4}$  мм, микроговакдиларники эса  $2 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$  мм бўлади.

Адсорбция процессининг хусусияти адсорбент ғовакларининг катталиги билан характерланади. Макроговакли адсорбентларнинг солиштира юзаси кичик бўлгани учун бундай адсорбентнинг деворларида жуда кам миқдорда модда ютилади. Макроговакли адсорбентларда ютилаётган молекулалар уларнинг каналлари орқали узатилади. Оралиқ ғовакли адсорбентларнинг юзасида адсорбция процесси давомида ютилаётган модда молекулаларининг катталиги ғовак тешикларидан кичик бўлгани учун, ютилаётган модда қатлами ҳосил бўлади. Адсорбентнинг юзасида ютилаётган модда молекулаларининг сонига нисбатан бир ва кўп молекулалар қатлами ҳосил бўлади. Бу процесс моно ва полимолекулали адсорбция дейилади.

Микроговакли адсорбентларда тешикларнинг катталиги ютилаётган молекулаларнинг катталигига тенг бўлиб, адсорбция давомида микроговакларнинг ҳажмлари ютилаётган молекулалар билан тўлади. Шунинг учун процесс давомида микроговакли адсорбентларнинг юзасида ютилган модда қатламининг физик жиҳатдан аҳамияти кам.

Адсорбентларнинг муҳим характеристикаларидан бири унинг активлиги ёки адсорбцияланиш қобилиятидир. Унинг активлиги адсорбентнинг бирлик массаси ёки ҳажмида модда ютилиш миқдори билан аниқланади. Адсорбентнинг моддаларни ютиш қобилияти температура, босим ва ютилаётган модданинг концентрациясига боғлиқ. Адсорбентларнинг бу шароитлардаги максимал ютиш қобилияти шартли равишда *мувозанат активлик* дейилади.

Адсорбентлар ўз активлигидан қатъи назар, зичлиги, эквивалент диаметри, механик мустаҳкамлиги, гранулометриқ таркиби, ютиш юзасининг бирлик ҳажми билан характерланади.

Саноатда адсорбент сифатида активланган кўмир, қаттиқ ғоваксимон моддалар, силикагель, целлюлоза, цеолитлар, тупроқ жинслари, ион алмашинувчи сунъий смолалар (ионитлар) ишлатилади.

Активланган кўмир ҳар хил органик маҳсулотлар (ёғоч, торф, тошкўмир, молларнинг суяги) ни қайта термик ишлаш натижасида олинади. Бундан ташқари, активланган кўмир таркибида ҳар хил углеводородлар бўлган моддаларни қуруқ ҳайдаш натижасида ҳам олинади. Унинг активлигини ошириш учун юқори температурада ( $900^{\circ}\text{C}$  гача) қиздирилади ёки қуруқ ҳайдаш натижасида ғовакларга тўлиб қолган смолалар эритмалар воситасида экстракция қилиб ажратиб олинади. Ёқин натижасида кўмирга айланиши олдидан унга қўшимча активлантирувчи компонентлар (рух хлорид эритмаси, кислота, ишқор ва бошқалар) қўшиш орқали ҳам кўмирнинг активлиги оширилади.

1 г активланган кўмирнинг солиштира юзаси  $600 \dots 1700 \text{ м}^2$  бўлади. Активланган кўмир заррачаларининг катталиги уларнинг турига қараб  $1 \dots 5 \text{ мм}$  (БАУ учун) ва  $1,5 \dots 2,7 \text{ мм}$  (СКТ учун) бўлади. Бу кўмирнинг уйилган зичлиги  $350 \text{ ва } 380 \dots 450 \text{ кг/м}^3$  бўлади.

Абсорбция процессининг турига қараб активланган кўмирнинг иккала туридан бири ишлатилади. Активланган кўмир органик эритмалар буғини яхши ютади. Улар ҳаводаги намликни тез ютади ва натижада активлиги камаяди.

Активланган кўмир ёнувчан бўлиб, ҳавода 300° С температурада ёнади. Кўмир чанглари эса 200° С га яқин температурада ёнади ва концентрацияси 17 ... 24 г/см<sup>3</sup> бўлса, ҳаводаги кислород билан портловчан бирикма ҳосил қилади.

**Силикагеллар.** Натрий силикат эритмаларига минерал кислоталар ва уларнинг нордон тузлари таъсир эттириб олинган бирикмалар силикагеллар дейилади. Уларнинг таркибидаги сувни ажратиб олиниб, уни адсорбент сифатида ишлатилади. Силикагелларнинг солиштирма юзаси 400 ... 770 м<sup>2</sup> бўлади. Силикагель дончаларининг катталиги 0,2 ... 7 мм, уйилган зичлиги 100 ... 800 кг/м<sup>3</sup>. Силикагеллар газларни тозалаш учун ишлатилади. Улар намроқ бўлса, органик модда буғларини ютиш хусусияти бирдан камайиб кетади. Силикагеллар активланган кўмирга нисбатан механик жиҳатдан мустаҳкам ва ёнмайдиган бўлади.

**Цеолитлар.** Бу адсорбентлар табиий ва сунъий минерал ҳолида бўлиб, таркибида Менделеев элементлар даврий системасининг I ва II группасидаги элемент катионлари ҳамда алюминий силикатнинг сувли бирикмаси бор. Цеолитлар сувда ва органик эритмаларда эримайди. Саноатда цеолитларнинг икки хил группаси (А ва X) кўпроқ ишлатилади. А группадаги цеолитлар ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2$ ) кислотали муҳит таъсирига чидамсиз бўлиб, кислота таъсирида парчаланиб кетади. X группадаги цеолитлар ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,2-3,3$ ) кислота таъсирига чидамли бўлади.

Саноатда цеолитларнинг беш тури (КА, NaA, CaA, Ca, X NaX) ишлаб чиқарилади. Цеолитлар суюқликларни тозалаш учун майда кристалл кукун сифатида, газларни тозалаш учун эса шарсимон ёки гранулалар ҳолида ишлатилади.

Баъзи цеолитларнинг ғовақлари жуда ингичка бўлиб, уларнинг катталиги ютилаётган модда молекулаларининг катталигига тенг бўлади. Бу хилдаги цеолитлар молекуляр элак сифатида, яъни ўлчамлари ғовақларининг катталигидан кичик бўлган молекулаларни ютиш учун ишлатилади. Табиий цеолитлардан натролит молекуляр элак сифатида нормал ва изопарафин углеводородларини ажратиш учун ишлатилади. Цеолитлар сифатида табиий минераллар — анальцит, бентонит, глауконит ва сунъий равишда олинган ишқорий металлларнинг алюминий силикатлари ишлатилади. Цеолитларнинг сувни ютиш қобилияти катта бўлгани учун улар эффективлиги юқори адсорбент сифатида газларни қуриштишда ҳамда суюқлик ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Цеолитнинг таркибига ютилган сув жуда ҳаракатчандир, бу сув қиздириш орқали йўқотилади ва бу адсорбент совиганидан сўнг қайтадан сувни ютиш қобилиятини тиклайди. Цеолит дончаларининг катталиги 2... 5 мм бўлади.

Эритмаларни ҳар хил пигментлардан тозалаш учун адсорбент сифатида таркибида доимий структурали минераллари бўлган тупроқ жинслари ишлатилади. Бу тупроқларнинг активлигини ошириш учун

сульфат ва хлорид кислота ёрдамида улар қайта ишланади. Кўпгина тупроқ жинсларининг таркибида майда ғовакли минераллар бўлса ҳам, улар оралиқ ва катта ғовакли адсорбент сифатида ишлатилади. Уларнинг солиштира юзаси  $150 \text{ м}^2/\text{г}$  дан юқори бўлмайди.

**Ионитлар.** Бу адсорбентлар табиий ва сунъий ҳолатда аорганик ва органик бирикмалар тарзида бўлиши мумкин. Саноатда кўпинча заррачалари сферик шаклда бўлган ион алмашинувчи смолалар (ионитлар) иссиқлик ва гидроэлектростанцияларда сувларни юмшатиш ҳамда қанд шарбатини ҳар хил ионлардан тозалашда, саноатнинг чиқинди сувларидан қимматбаҳо моддаларни ажратиш олишда ва бошқа мақсадларда кенг ишлатилади. Ионитлар юқори молекулали полимер бирикмалар бўлиб, ўз таркибидаги ҳаракатчан ионларини эквивалент миқдорда электролит эритмаларидаги ионларга алмаштириб, эритмадаги бир хил зарядли ионларни ютиш қобилиятига эга бўлган адсорбентлар ҳисобланади. Ионитлар амалий жиҳатдан сувда ва оддий эритмаларда эримади.

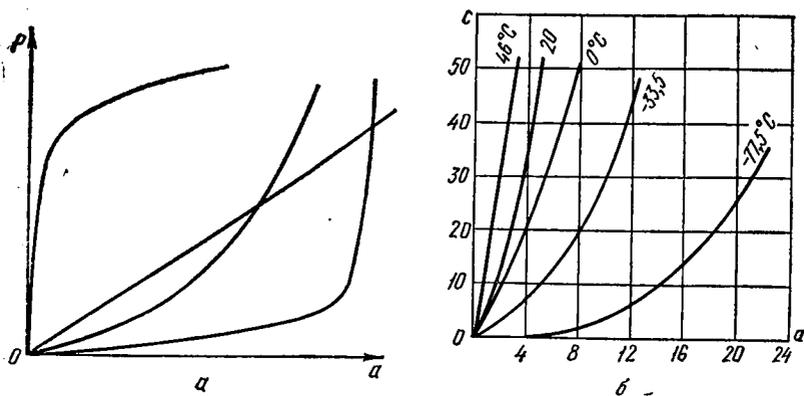
Ионитлар актив группаларининг, яъни ҳаракатчан ионларининг кислотали ва асосли бўлишига қараб икки турга; катионитлар ва анионитларга бўлинади. Катионитлар ҳаракатчан ионларини катионларга, анионитлар эса анионларга алмаштиради. Бундан ташқари амфотер хусусиятга эга бўлган ионитлар ҳам бўлиб, булар бир вақтнинг ўзида (шароитга қараб) ўзининг ҳаракатчан ионларини катионга ёки анионга алмаштириши мумкин.

Ион алмашинув процессининг механизми ионитларнинг структурасига ва хоссасига боғлиқ. Ионитлар актив группаларининг диссоциацияланишига қараб кучли ва кучсиз кислотали катионитларга ҳамда кучли ва кучсиз асосли анионитларга бўлинади. Ионитларнинг кучли ва кучсиз кислотали ва асосли бўлиши улардаги актив группаларга ҳамда кислота ва асос қолдиғига боғлиқ. Масалан, кучли кислотали катионитларнинг таркибида актив сульфогруппа, фосфор ва фосфин кислота қолдиқлари бўлади. Кучли кислотали катионитлар нейтрал, ишқорий, кислотали муҳитларда, кучли асосли анионитлар эса эритмаларнинг рН қиймати катта диапазонларда ўзгарганда ва кучсиз кислотали катионитлар  $\text{pH} \geq 7$  бўлган муҳитда, кучсиз асосли анионитлар  $\text{pH} < 7$  бўлгандагина ион алмашинув хусусиятига эга бўлади. Ионитларнинг кўпчилиги сувли эритмаларда бўртиб, адсорбция процесси давомида босими анча ортади.

Саноатда катионитлар водород, анионитлар эса ОН форма синтез қилиб олинади. Ионитлар катта ион алмашинув сифимига, эритмалардаги ионларни танлаб ютиш хусусиятига эга ҳамда механик мустаҳкам ва химиявий барқарор бўлади. Шунинг учун саноатда бошқа адсорбентларнинг ўрнига ҳам ионитлар кўпроқ ишлатилади.

### 12.3-§. Адсорбция процессининг мувозанати

Мувозанат ҳолатида адсорбентнинг бирлик массаси ёки унинг ҳажмига ютилаётган модда миқдори температурага ҳамда газ ва суюқлик аралашмаларидаги ютилаётган компонентнинг концентрациясига боғлиқ. Адсорбция процессида мувозанатда бўлган фазаларнинг концентрациялари орасидаги боғланиш қуйидаги тенглама билан аниқланади;



12. 1- расм. Ҳар хил моддаларнинг ютилиш изотермалари:

а) изотерма хилларининг кўриниши (ютилган моддалар миқдори  $\text{кг/м}^3$ ),  $P$ — ютиляётган моддаларнинг парциал босими, мм симбол устуни; б)  $\text{CO}$  нинг ҳар хил температурада кўмирда ютилиши ( $c$ —  $\text{CO}$  нинг газ аралашмасидаги концентрацияси,  $\text{кмоль/л}$ ;  $a$ — ютилган  $\text{CO}$  нинг миқдори  $\text{кмоль/г}$ ).

$$x^* = f(\bar{y}, T). \quad (12.1)$$

бу ерда  $x^*$  — газ ёки суюқлик фазаларидаги адсорбтивнинг концентрациясига тенг бўлган адсорбтивнинг адсорбентдаги нисбий концентрацияси;  $\bar{y}$  — ютиляётган газ ва суюқлик аралашмаларидаги адсорбтивнинг нисбий концентрацияси;  $T$  — абсолют термодинамик температура. Агар процесс ўзгармас температурада борса, у ҳолда:

$$x^* = f(\bar{y}). \quad (12.2)$$

Хусусий ҳолларда буғ — газ аралашмаларидан ютиляётган модданинг концентрацияси унинг нормал босими билан алмаштирилиши мумкин;

$$x^* = f(P). \quad (12.3)$$

(12.2) (12.3) тенгламалар асосида ўзгармас температурада чизилган эгри чизиқлар адсорбция изотермалари деб юритилади (12.1- расм). Адсорбция изотермалари ҳар бир конкрет процесс учун тажриба орқали аниқланади. Уларнинг кўриниши адсорбентнинг солиштирма юзаси, ғовакларнинг катталиги, адсорбентнинг структураси, ютилувчи моддаларнинг хусусияти, фазаларнинг таркибига ва температурага боғлиқ.

Температура пасайиши ва босим ортиши билан адсорбция процесси тезлашади.

Адсорбентлар статик ва динамик активлик билан характерланади. Адсорбент маълум вақт ишлагандан сўнг адсорбтивни тўла ютмай қўяди, бунда адсорбтив адсорбент қатлаидан ютилмасдан ўтиб кетади. Бундай процесс ютилувчи компонентнинг ўтиб кетиши дейилади. Шу пайтда аппаратдан чиқиб кетаётган газ аралашмасида адсорбтивнинг миқдори кўпайиб, мувозанат ҳолатигача боради. Адсорбция процессининг бошланишидан адсорбтивнинг адсорбент қатлаидан ўтиб кетишигача бўлган вақтда адсорбент массаси бирлигида ютилган модда миқдори адсорбентнинг динамик активлигини белгилайди.

Адсорбция процессининг бошланишидан то мувозанат ҳолат юз бергунча адсорбент массаси бирлигида ютилган модда миқдори адсорбентнинг статик активлигини характерлайди. Динамик активлик доим статик активликдан кам бўлади. Шу сабабли адсорбентнинг сарфи унинг динамик активлиги бўйича топилади.

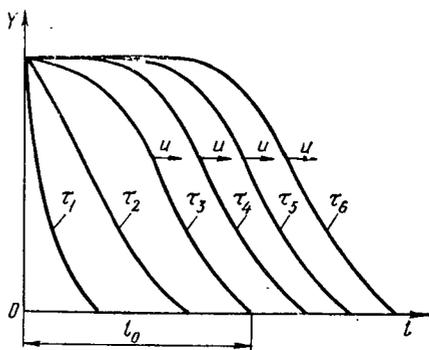
#### 12.4-§. Адсорбция процессининг тезлиги

Адсорбция процессининг вақт бўйича ўзгариш характери унинг даврий ва узлуксизлигига боғлиқ. Бу процессларнинг даврий ва узлуксизлиги адсорбент заррачаларининг ҳаракат ҳолати билан белгиланади. Адсорбция процессининг механизми ҳам бошқа қаттиқ-фазалар иштирокида борадиган модда ўтказишнинг турларига ўхшаш бўлиб, уларнинг умумий қонуниятлари орқали ифодаланади. Адсорбент заррачаларининг ҳаракатсиз қатламида борадиган даврий процесслар алоҳида хусусиятлар билан характерланади.

Адсорбент қатламида сиқиб чиқарилаётган бошланғич концентрацияли идеал суюқликнинг ҳаракатини кўрамиз. Маълум вақт ўтиши билан адсорбентнинг фронтал қисмидаги қатламида, ҳаракатлангирувчи кучнинг миқдори бирдан камайиши натижасида, оқимдаги ютилаётган модданинг концентрацияси ўзгармай, қатламидан тўғри оқиб ўта бошлайди. Бу вақтда адсорбентнинг юза қатламида ҳеч қандай модда ютилмайди, ютиш зонаси эса бошқа қатламга кўчади. Агар ютиш тезлиги катта қийматга эга бўлса, бир қатлам бутунлай тўйингандан сўнг кейинги қатламда модда ютиларди. Аммо модда ўтказиш тезлиги чекланган бўлгани учун, адсорбтив колонна баландлиги бўйича бир хилда тақсимланиб адсорбция фронти ҳосил бўлади. Вақт бирлиги ичида адсорбция фронтининг ўзгариши 12.2-расмда бир неча эгри чизиқлар билан кўрсатилган. Бу эгри чизиқлар газ ва суюқликдаги адсорбтивнинг нисбий концентрациясининг ҳаракатсиз адсорбент қатлами узунлиги  $l$  бўйича тақсимланишини кўрсатади.  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4 < \dots < \tau_i$  адсорбция процессининг бошланишидан кейин ўтган вақт. Процесс давомида оралиқдаги вақт ўтиши билан адсорбция фронтининг профили амалий жиҳатдан ўзгармайди.

Даврий адсорбция процессида адсорбтив қатламининг тўйингунча ишлаш вақти адсорбция фронтининг ташкил бўлиш даври дейилади. Шундай қилиб, вақт бирлигида адсорбция зонаси адсорбентнинг ҳамма қатламига аралашиб кетса ҳам, адсорбтивнинг концентрацияси зона бўйича бир хил ўзгаради.

Ҳаракатсиз адсорбент қатламида адсорбция фронти ташкил бўлган биринчи даврдан кейин, иккинчи даврда ўзгармас (стационар) адсорбция фронтининг кўчиши бошланади. Бу



12.2- Адсорбция фронтининг вақт бўйича ўзгариши.

давр концентрациянинг оқим йўналиши бўйича ўзгармасдан доимий тезликда (и) кўчишини характерлайди. Узунлиги  $l$  бўлган адсорбент қатламида (12.2- расм) адсорбтивнинг бошланғич концентрацияси нолгача камаяди (адсорбтив ютилмай қатламдан ўтадиган концентрация), бу қатлам иш қатлами ёки модда ўтказиш зонаси дейилади.

*Адсорбция процессининг модда ўтказувчанлиги.* Стационар адсорбция фронтининг параллел кўчишида модда ўтказиш процесси узунлиги  $l_0$  бўлган чегарали зонада боради (12.2- расм). Бу зона шартли равишда қуйидаги чегаралар билан характерланади:

$$l = 0, y = y_0, x = x_k^*, l = l_0, y = x = 0.$$

бу ерда  $y$  — буғ—газ ёки суюқлик аралашмасидаги адсорбтив концентрацияси;  $x$  — адсорбтивнинг адсорбентдаги концентрацияси.

Бошланғич зона кесимининг модда ўтказишида адсорбтивнинг адсорбентдаги концентрацияси  $x_k^*$  га, ёхуд буғ-газ ёки суюқлик аралашмасидаги адсорбтивнинг бошланғич концентрациясига тенг бўлади. Адсорбция процессини ҳисоблашда оқимдаги адсорбтивнинг охириги концентрациясини газ (суюқлик) фазаларида иложи борича, анализ орқали зона ичидаги чегарани суриш билан аниқланадиган концентрация миқдори олинади. Масалан, ҳисоблаш ишларида кўпинча шартли чегарадаги модда ўтказиш зонаси учун:

$$l = 0, y = 0,95 \cdot y_0, x = x_k, l = l_0, y = 0,05 y_0, x = x_0.$$

Ишлаётган қатламдаги адсорбент учун, ютилаётган компонент бошланғич концентрациясининг камайиши  $0,95 y_0$  ( $\tau_m$ ) га тенг, нолга яқиндаги концентрацияси  $0,05 y$  ( $\tau$ ).

Модда ўтказиш зонасида ютилаётган модданинг миқдори эса:

$$M = l_0 \cdot S (0,95 \cdot y_0 - 0,05 \cdot y_0) = 0,9 l_0 \cdot S \cdot y_0. \quad (12.4)$$

Ютилаётган модданинг миқдорини модда ўтказиш тенгламасидан ҳам аниқлаш мумкин. Бу ҳолда фазалар контакт юзасининг миқдорини амалий жиҳатдан аниқлаш қийин. Шунинг учун ютилаётган модданинг миқдори аппаратнинг иш ҳажмига нисбатан аниқланади:

$$M = K_{yV} \cdot V_0 \cdot \Delta y_y \cdot \tau_m = K_{yV} \cdot S \cdot l_0 \cdot \Delta y_y \cdot \tau_m, \quad (12.5)$$

бу ерда  $V_0 = S l_0$  — модда ўтказиш зонасининг ҳажми;  $K_{yV}$  — модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициенти;  $\tau_m$  — модда ўтказиш зонасидан адсорбция фронтининг ўтиш вақти.

$$\Delta y_y = \frac{0,95 \cdot y_0 - 0,05 y_0}{\int_{0,05 \cdot y_0}^{0,95 \cdot y_0} \frac{dy}{y - y^*}} = \frac{0,9 \cdot y_0}{n_{oy}} \text{ — модда ўтказишнинг ўртача ҳа-$$

ракатлантирувчи кучи.

$\Delta y_y$  нинг қийматини (12.5) тенгламага қўйиб, (12.4) (12.5) тенгламаларни тенглаштириб, қисқартирилгандан кейин:

$$u = K_{yV} \frac{l_0}{n_{oy}}, \quad (12.6)$$

бу ерда  $u$  — модда ўтказиш зонасидаги адсорбция фронтининг ўтиш тезлиги.

(12.6) тенгламадан модда ўтказиш зонасининг узунлиги аниқланади

$$l_0 = \frac{u \cdot n_{0y}}{K_{yV}},$$

бу ерда  $n_{0y}$  — газ (суюқлик) фазасидаги ўтказиш бирлигининг умумий сони.

Модда ўтказишнинг умумий қаршилиги фазаларнинг аддитив қондасига мувофиқ ички ва ташқи модда бериш қаршиликларининг умумий йиғиндисидан иборат бўлади. Модда ўтказишнинг ҳажмий коэффициенти қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$K_{yV} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{yV}} - \frac{m}{\beta_{xV}}} \quad (12.7)$$

бу ерда  $\beta_{yV}$  ва  $\beta_{xV}$  — газ (суюқлик) ва қаттиқ фазалардаги ҳажмий модда бериш коэффицентлари;  $m$  — мувозанат чизиғи қиялиги бурчагининг тангенси.

Адсорбция процессининг умумий тезлиги буг-газ аралашмаларининг тезлигига, адсорбция процесси изотермасининг шаклига, адсорбент заррачаларининг катталиги ва шаклига, уларнинг колоннада жойлашувига, адсорбтивнинг хусусиятига қараб модда беришнинг ташқи тезлиги билан (яъни газ ёки суюқлик фазасидаги модда бериш коэффицентини) ёки ички модда ўтказиш қаршилигининг тезлиги билан белгиланади.

Кўпинча  $K_{yV}$  нинг миқдорига ташқи ва ички диффузиялар қаршилиги таъсир қилади, лекин уларнинг нисбий таъсири модда ўтказиш зонасининг узунлиги бўйича ўзгаради.

Адсорбция процессида ички ва ташқи фазовий диффузия тезлиги Био (Bi) критерийси билан аниқланади. Агар  $Bi \geq 30$  бўлса, процесснинг тезлиги адсорбент дончаларининг ички диффузия тезлиги билан аниқланиб, бу вақтда ташқи модда беришнинг тезлиги жуда катта бўлади.  $Bi \leq 0,1$  бўлса процесснинг умумий тезлиги газ (суюқлик) фазаларидаги ташқи диффузиянинг тезлиги билан аниқланади. Умуман олганда, адсорбция процесси тезлигига бу иккала фазовий диффузия тезликларининг ҳар бирининг таъсирини миқдорий жиҳатдан алоҳида аниқлаш қийин. Айниқса ҳозирга қадар қаттиқ фазадаги модда бериш коэффицентини аниқ ҳисоблаш тенгламалари топилмаган ва тажриба йўли билан уни аниқлаш ҳам мураккаб масала ҳисобланади. Шунинг учун кўп ҳолларда модда ўтказиш коэффицентининг ҳисоблаш тенгламалари шартли равишда ички диффузия тезлигининг катта миқдорлари учун топилган. Бунда ташқи диффузия тезлигининг қаршилигини ҳисобга олмасдан, модда ўтказиш коэффицентининг миқдори  $K_{yV} = \beta_{yV}$  бўлади.  $\beta_{yV}$  нинг қиймати газ (суюқлик) ва буг оқимларининг гидродинамик режимига боғлиқ бўлгани учун қуйидаги тенгламалар билан ҳисобланади:

$$\begin{aligned} Re &= 2 - 30 \text{ бўлганда} \\ Nu' &= 0,725 \cdot Re^{0,47} \cdot (Pr')^{0,33}; \end{aligned} \quad (12.8)$$

$$\begin{aligned} Re &> 30 \text{ бўлганда} \\ Nu' &= 0,395 \cdot Re^{0,64} \cdot (Pr')^{0,33}; \end{aligned} \quad (12.9)$$

бу ерда  $Nu' = \beta_{yV} \cdot d_3 / D_y$  — Нуссельт диффузия критерийси;

$Re = 4 \omega_0 / a \cdot v_y$  — донадор қатлам учун Ройнольдс критерийси;

$P_r' = v_y / D_y$  — Прандтл диффузия критерийси.  $d_3 = 4 \varepsilon / a$  — донатор қатлам каналларининг эквивалент диаметри;  $D_y$  — газ (суюқлик) фазасидаги диффузия коэффициентини;  $\omega_0$  — газ (суюқлик) оқимининг сохта (фиктив) тезлиги;  $v_y$  — оқимининг кинематик қаршилиги.

Адсорбентда ютилган модданинг концентрацияси ортиши билан қаттиқ фазадаги модда бериш коэффициенти  $\beta_{xV}$  нинг миқдори кескин камаяди ва адсорбентнинг тўйиниш даражаси ортиши билан у умумий диффузия қаршилигининг асосий қисмини ташкил этади.

Модда ўтказиш коэффициентининг миқдорини адсорбент қатламининг узунлиги бўйича ўзгармас деб,  $K_{yV}$  ни аниқлашда тўйиниш даражаси ҳисобга олинмайди.

Ҳаракатдаги адсорбент қатламида адсорбентлар газ (суюқлик) оқимига қараб ҳаракат қилади. Бу ҳаракатнинг тезлигини модда ўтказиш зонасидаги тезликка тенг деб қабул қиламиз. Бу вақтда модда ўтказиш зонасини адсорбернинг деворига нисбатан қўзғалмас деб қараш мумкин. Шу сабабли ҳаракатсиз ва ҳаракатланувчи адсорбент қатламларида модда ўтказишнинг шароити бир бирига ўхшаш бўлгани учун, иккала процесс учун модда ўтказишнинг барча ҳисоблаш тенгламалари бир хил бўлади.

## 12.5-§. Десорбция

Адсорбентни қайта ишлатиш мақсадида унга ютилган моддани десорбция (регенерация) қилиш билан ажратиш олинади. Саноатда адсорбентнинг тури ва ютилаётган модданинг хусусиятига қараб десорбциянинг бир неча усуллари қўлланилади;

1. Адсорбентга ютилган компонентлар ютилувчи моддаларга нисбатан юқори адсорбционлик хусусиятига эга бўлган агентлар воситасида сиқиб чиқарилади;

2. Адсорбент қатламини қиздириш билан ютилган компонентлар буғлатилади.

Баъзи ҳолларда процесс давомида ҳосил бўлган смолалардан адсорбентни тозалаш учун бу компонентлар ёқилади.

Техник иқтисодий ҳисобларга асосан ютилган компонентни ажратиш учун иккала усулдан биттаси қўлланилади.

Амалда десорбция процесси тамом бўлгандан кейин адсорбентнинг қатламиндан таркибида абсорбтив бўлмаган буғ ёки газ ўтказиб ютилган модда ажратиш олинади. Десорбция процессининг самарадорлигини ошириш учун юқори температурада адсорбент қатламиндан ёрдамчи агент ўтказилади.

Десорбцияловчи агент сифатида тўйинган ва ўта тўйинган сув буғи, органик моддаларнинг буғлари ҳамда инерт газлар ишлатилади. Адсорбентдан ютилган компонентлар ажратиш олингандан сўнг у қуриштилади ва совитилиб қайтадан ишлатилади. Рекуперация процессида активланган кўмирга ютилган учувчан эритмалар тўйинган

сув буғи ёрдамида десорбция қилинади. Ютилган компонентларнинг асосий миқдори десорбция процессининг бошидаёқ ажратиб олинади. Шу сабабли сув ёки органик моддаларнинг буғларини тежаш мақсадида десорбция процесси охиригача олиб борилмасдан, балки ютилган модданинг оз қисми адсорбция процессида адсорбентда қолади. Буғларнинг бир қисми адсорбентни қиздириш учун, атроф-муҳитга йўқотилган иссиқликни компенсация қилиш учун сарфланади. Қиздирувчи буғ адсорбентда бутунлай конденсатга айланади. Буғнинг бир қисми активланган кўмирни намлаш учун йўқотилади.

Активланган кўмирга ютилган моддалар динамик буғ воситасида ажратиб олинади. Динамик буғ конденсатга айланмай, аралашманинг буғи билан чиқади.

Активланган кўмирни қиздириш ва намлаш учун сарфланган сув буғи ҳисоблаб аниқланади. Процессни олиб бориш шароитига қараб 1 кг ютилган моддани ажратиб олиш учун 3—4 кг динамик буғ сарфланади. Цеолитлардаги компонентларни кўпинча адсорбент қатламидан қиздирилган қуруқ газ ўтказиб ажратиб олинади. Десорбция процесси худди адсорбция процесси каби, адсорбентнинг ҳаракатсиз ва ҳаракатли қатламида ҳамда мавҳум қайнаш қатламларида олиб борилади.

## 12.6-§. Адсорберларнинг турлари

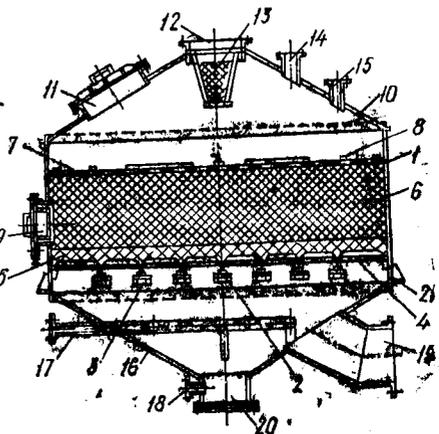
Адсорбция процессини олиб бориш учун ишлатиладиган аппаратлар учта гурпуга бўлинади:

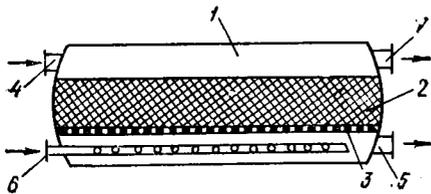
1. Ўзгармас адсорбент қатламли.
2. Ўзгарувчан адсорбент қатламли.
3. Мавҳум қайнаш қатламли.

Химия ва айниқса озиқ-овқат саноатида ўзгармас адсорбент қатламида даврий ишлайдиган бир неча адсорберлар кетма-кет ёки параллел уланган ҳолда кенг миқёсда қўлланилади. Ҳар бир аппаратнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат; 1) адсорбентнинг юти-

12.3-расм. Вертикал адсорбер:

1— қобик; 2— балка; 3— балкалар таянчи; 4— ажратиб олинadиган панжара; 5— шағал қатлам; 6— кўмир қатлами; 7— тўр; 8— юк; 9— адсорбент тушириладиган люк; 10— қопқоқ; 11— юклайдиган люк; 12— буғ— газ аралашмаси берилadиган патрубкa; 13— тақсимловчи тўр; 14— буғ чиқадиган патрубкa; 15— сақлаш клапанининг патрубкaси; 16— пастки қисм; 17— буғ берилadиган патрубкa; 18— конденсат чиқадиган ва сув берилadиган патрубкa; 19— тоза газ чиқадиган патрубкa; 20— кузатувчи люк; 21— адсорбер турадиган таянч ҳалқа.



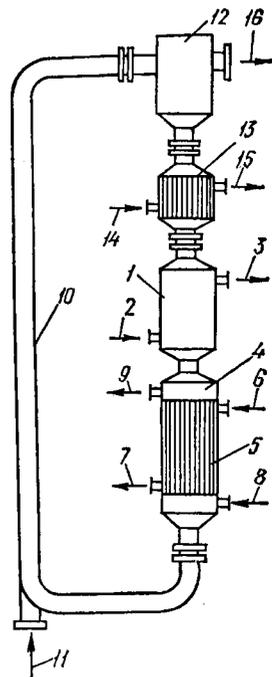


12.4-расм. Горизонтал адсорбер:

1— корпус; 2— адсорбент қатлами; 3— тақсимловчи таянч панжара; 4— газ бериладиган патрубк; 5— тоза газ чиқадиган патрубк; 6— иситилган буғ кирадиган патрубк; 7— буғ аралашмаси чиқадиган патрубк.

12.5-расм. Узлуксиз ишлайдиган адсорбер қурилмаси:

1— адсорбер; 2, 3— газ аралашмаси кирадиган ва тоза газ чиқадиган штуцерлар; 4— десорбер; 5— десорбентнинг иситиш юзаси; 6, 7— иситувчи агентнинг кириш ва чиқиш штуцерлари; 8, 9— десорбция қилувчи агентнинг кириш ва буғнинг чиқиш штуцерлари; 10— узатувчи труба; 11— узатиладиган газнинг кириш патрубк; 12— бункер; 13— совиткич; 14, 15— совитувчи газнинг кириш ва чиқиш патрубк; 16— узатилувчи газнинг чиқиш патрубк.



лаётган модда билан тўйиниши; 2) ютилган моддани адсорбентдан ажратиш; 3) адсорбентни қуритиш; 4) адсорбентни совитиш. Даврий ишлайдиган адсорберлар вертикал (12.3- расм) ёки горизонтал (12.4-расм) цилиндрдан иборат бўлиб, уларнинг пастки ва устки қисмига майда тешикли металл тўрлар ёки ғовак керамик плиталар билан қопланган тақсимловчи таянч панжаралар ўрнатилади.

Ажратилаётган, қуритилаётган, тозаланаётган газ (суюқлик) ёки буғ аралашмалари панжара устига жойлаштирилган адсорбент қатламидан ўтади. Аппаратга берилаётган ва тозаланаётган аралашмаларнинг кириши ва чиқиши, ҳамда десорбция қилувчи, қуритувчи ва совитувчи агентларнинг кириши ва чиқиши учун штуцерлар ўрнатилади.

Даврий ишлайдиган адсорберларда адсорбентнинг ютиш сифимидан тўла фойдаланилмайди ва адсорбция процесси босқичида (бир иш ҳажмида) десорбция ҳам биргаликда олиб борилгани учун аппаратдан фойдаланиш даражаси кам бўлади. Бу камчиликлардан узлуксиз ишлайдиган аппаратлар ҳолидир.

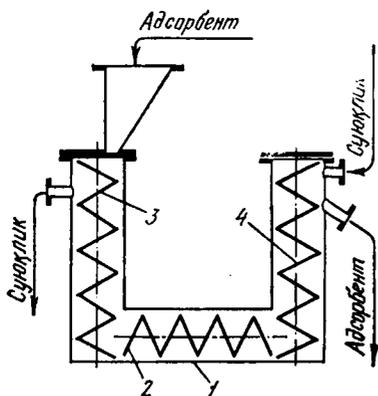
12.5- расмда ўзгарувчан қатламли узлуксиз ишлайдиган адсорбер кўрсатилган. Бу аппаратда адсорбент (кўмир) доим узлуксиз циркуляция қилиб турилади, газдаги ютилувчи компонент адсорбентга ўтади. Газ узлуксиз равишда ютилиш камерасининг пастки қисмига берилади. Кўмир бункердан совиткич орқали ютувчи камерага тушади. Адсорбтив билан тўйинган кўмир десорберга тушади, у ерда ўта қиздирилган сув буғи ёрдамида иситилади ва қайта ишланади. Десор-

бердан сўнг кўмир трубага ўтади ва пневматик усул билан узатилади. Кўмирни узатиш учун штуцер орқали ҳаво берилади. Бункерда ҳаво кўмрдан ажралиб, штуцер орқали чиқиб кетади. Кўмир эса қайтадан советкич орқали ютиш камерасига ўтади. Шундай қилиб, адсорбент доим ҳаракатда бўлади.

Суюқлик аралашмаларини тозалаш учун узлуксиз ишлайдиган шнекли адсорберлар ишлатилади (12.6- расм). Аппаратнинг чап қисмидан адсорбент вертикал шнек ёрдамида пастга қараб ҳаракат қилади. Сўнгра горизонтал шнек воситасида аппаратнинг ўнг қисмига ўтиб, тўйинган адсорбент вертикал шнек ёрдамида юқорига кўтарилиб, аппаратдан штуцер орқали чиқиб кетади. Ютилиши лозим бўлган компонент билан аралашган суюқлик оқими аппаратнинг ўнг қисмидан берилиб, адсорбентнинг оқимига қарама-қарши ҳаракат қилиб тозаланган суюқлик аппаратнинг чап қисмидан штуцер орқали чиқиб кетади.

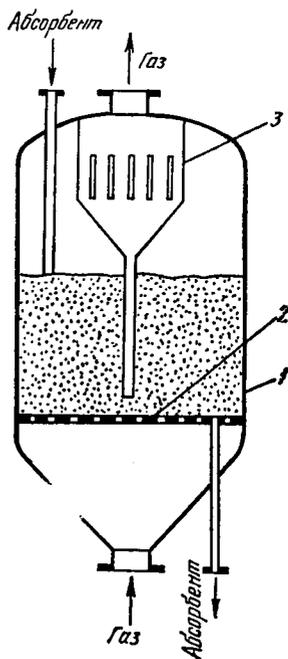
12.7- расмда мавҳум қайнаш қатламли адсорбернинг схемаси берилган. Бу адсорберда адсорбент мавҳум қайнаш ҳолатида бўлади. Адсорбент узлуксиз равишда тўр устига берилиб турилади. Газ аралашмаси маълум тезлик билан тўр остига берилади, сўнг адсорбент қатламидан ўтиб уни мавҳум қайнаш ҳолатига келтиради. Тозаланган газ аппаратнинг юқориги штуцери орқали чиқиб кетади. Адсорбентнинг ортиқчаси тушириш трубаси орқали чиқиб кетади. Ўзида ютилувчи модда тутган адсорбент десорбция қилинади. Десорбция қилинган адсорбент қайтадан ишлатилади.

Бу хилдаги бир камерали аппаратларда қаттиқ заррачалар интенсив аралашиб, уларнинг қатламда бўлиш вақти ҳар хил. Натижада заррачаларнинг ютилаётган компонент билан тўйиниш даражаси ҳам тур-



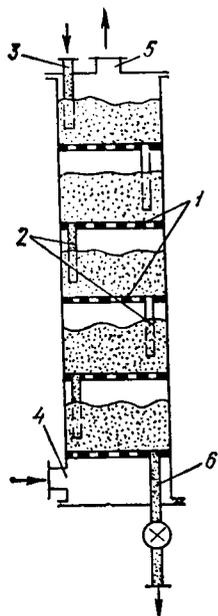
12. 6- расм. Шнекли адсорбер:

1 — корпус; 2 — горизонтал шнек; 3, 4 — вертикал шнек.



12. 7- расм. Мавҳум қайнаш адсорбер:

1 — корпус; 2 — газ тақсимлагич; 3 — чап йиғич.

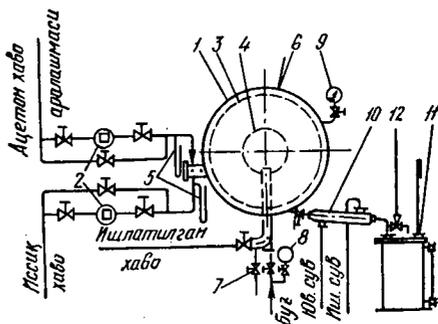


12.8- расм. Кўп камерали адсорбер:

1— тарелка; 2— қуюлувчи труба; 3—адсорбент бериладиган труба; 4— буғ—газ аралашмаси бериладиган штуцер; 5— тоза газ чиқадиган штуцер; 6— ишлатилган адсорбент чиқадиган труба.

релкага ҳаракат қилади. Адсорбент заррачалари колоннанинг юқориги қисмидан қуйиш трубалари орқали газ оқимиға қарама-қарши йўналишда, юқориги тарелкалардан пастга ҳаракат қилади (12.8- расм). Бу аппаратларда газ аралашмаси унинг кўндаланг кесим юзаси бўйлаб бир хил тақсимланади ва фазаларнинг контакт юзаси ортади. Натижада адсорбент заррачаларининг тўйиниш даражаси ютилаётган компонентга нисбатан бир хил ва максимал ютилиш сифмига эга бўлади.

Тошкент политехника институти қошидаги «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасида газ аралашмаларидаги ацетон буғларини ажратиб олиш учун шарсимон адсорберлар ихтиро қилинди. Аппарат шарсимон шаклда бўлиб, металл тўрлардан тайёрланган икки сферадан иборат (12.9- расм). Сфералар орасидаги бўшлиқ диаметри 1—3 мм бўлган СКТ маркали активланган кўмир (10 тонна) билан тўлдирилади. Газ аралашмаси узлуксиз равишда аппаратнинг ён томонида жойлашган штуцер орқали активланган кўмир қатламиға берилади. Ацетондан тозаланган газ аралашмаси штуцер орқали чиқиб кетади. Ацетон буғларига тўйинган активланган кўмир



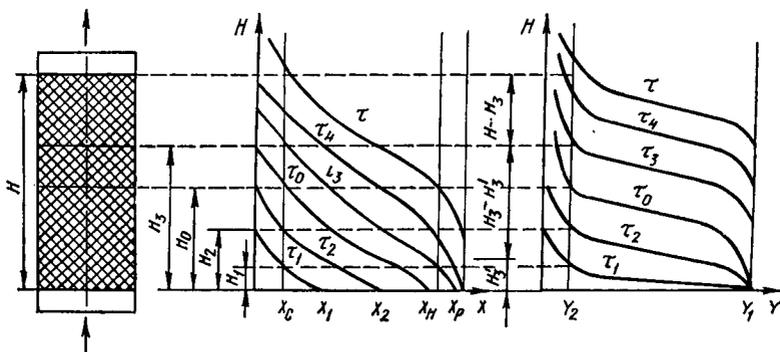
12.9- расм. Шарсимон адсорбер:

1— шарсимон адсорбер; 2— газ ўлчагич; 3,4— ташқи, ички панжара; 5— шарсимон монометр; 6— термометр; 7— анализ олгич; 8, 9— монометр; 10— совиткич; 11— йиғгич; 12— кран.

эса тўйинган сув буғи билан десорбция қилинади. Бу аппаратда бир соатда 2400 м<sup>3</sup> газ аралашмаларидан ацетонни ажратиб олиш мумкин. Бир циклда 1050 кг ацетон активланган кўмирга ютилади. Бу аппаратларда кўндаланг кесим бўйича активланган кўмир қатлами қалинлигининг бир хиллигига эришиш ва адсорбентнинг ютиш сифимидан тўла фойдаланиш мумкин.

### 12.7-§. Адсорберларни ҳисоблаш

Ўзгармас қатламли адсорберни ҳисоблаш. Адсорбция процессининг давом этиш вақти адсорбент қатламини анализ қилиш йўли билан топилади. Ютиладиган модданинг адсорбентдаги миқдори  $x$  қатлам баландлиги ва вақт бўйича ўзгаради (12.10-расм):  $x_c$  — адсорбентдаги модданинг  $y_2$  га тўғри келган концентрацияси.  $x_c$  бирор  $\tau$  вақтдан сўнг, адсорбентнинг  $H_1$  баландлигида ҳосил бўлади. Шу сабабли  $H_1$



12.10- расм. Ўзгармас қатламли адсорбция процессининг механизми.

баландликда амалий жиҳатдан ютилиши керак бўлган модда адсорбентга тўла ютилган бўлади.

$\tau_0$  вақтнинг бошланишида адсорбентдаги модданинг концентрацияси  $x_n$  бўлади,  $x_p$  эса  $y_1$  билан мувозанатда бўлган концентрациядир.

Адсорбция вақти Н. А. Шилов тенгламаси бўйича аниқланади:

$$\tau = \tau_0 + k (H - H_0), \quad (12.10)$$

$k$  — қатламнинг ютиш қобилиятини характерловчи коэффициент, с/м.

Бу коэффициент 1 м адсорбент қатламининг тўйиниш вақтини характерлайди ва қуйидаги материал баланс тенгламаси орқали топилади:

$$S \rho_a \cdot x_n = G y_1 k$$

бундан

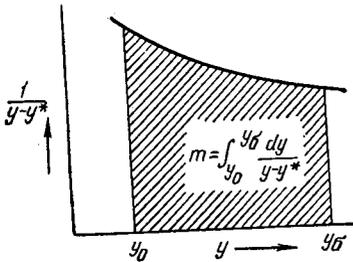
$$k = \frac{S \rho_a x_n}{G \cdot y_1} \quad (12.11)$$

бу ерда  $S$  — адсорбернинг кесим юзаси,  $m^2$ ;  $\rho_a$  — адсорбентнинг зичлиги,  $kg/m^3$ ;  $G$  — газнинг сарфи,  $kg/c$ .

$\tau_0$  нинг қиймати қуйидаги ифода орқали аниқланилади:

$$\tau_0 = \frac{\rho_a}{Kf} \int_0^{x_n} \frac{dx}{y_1 - y^*}; \quad (12.12)$$

бу ерда.  $K$  — модда ўтказиш коэффициентини,  $kg\ m^2/c$ ;  $f$  — адсорбентнинг солиштирма юзаси;  $y_1 - y^*$  — процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи.



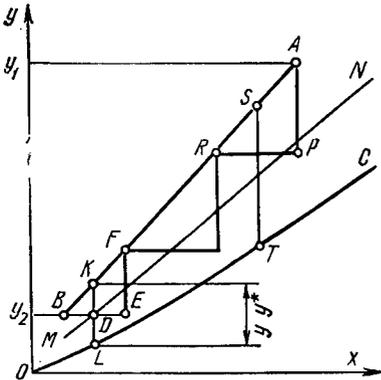
12.11-расм. Процесснинг ҳаракатлантирувчи кучини интеграллаб, ўтказиш бирлигини аниқлаш.

Интегралнинг ўнг томони график усулда топилади. Унинг қиймати  $1/y - y^*$  координаталарида чизилган эгри чизиқнинг юзасига тенг (12.11-расм). Модда ўтказиш коэффициентини  $K$  (12.7) ва (12.8) тенгламалар орқали аниқланади.

$H_0$  нинг қиймати қуйидагича топилади:

$$H_0 = n \cdot h,$$

бу ерда  $h$  — ўтказиш бирлигининг баландлиги,  $m$ ;  $n$  — ўтказиш бирлигининг сони.



12.12-расм. Ўтказиш бирлигининг сонини график усулда аниқлаш.

$OC$  — мувозанат чизиғи;  $AB$  — иш чизиғи;  $MN$  — мувозанат чизиғи билан иш чизиқларининг ордината қисмини тенг иккига бўлувчи чизиқ.

сони ўтказиш бирлигининг сонини сони:

$$n = \frac{y - y_2}{\Delta y_f}. \quad (12.13)$$

$\Delta y_f$  — ўртача ҳаракатлантирувчи куч. Ўтказиш бирлигининг баландлиги қуйидагича аниқланади:

$$h = \frac{G}{KS \cdot f}; \quad (12.14)$$

бу ерда  $S$  — аппарат кўндаланг кесимининг юзаси;  $m^2$ .

Адсорбер кесимининг юзаси қуйидаги тенглама билан топилади:

$$S = \frac{G}{\omega_0 \cdot \rho_r};$$

бу ерда  $G$  — газ сарфи,  $кг/с$ ;  $\omega_0$  — газнинг мавҳум (аппаратнинг тўла кесими-га нисбатан олинган) тезлиги,  $м/с$ ;  $\rho_r$  — газнинг зичлиги  $кг/м^3$ . Одатда  $\omega = 0,08 \dots 0,25$   $м/с$  қилиб олинади.

Ўзгарувчан қатламли узлуксиз ишлайдиган адсорберларни ҳисоблаш. Бу аппаратда донатор қатламли адсорбент юқоридан пастга томон спиралсимон ҳаракат қилиб, кетма-кет равишда  $h_c$  баландликдаги совитиш,  $h$  баландликдаги адсорбция,  $h_d$  баландликдаги десорбция ва иситиш зоналаридан ўтади (12.13-расм). Аппаратнинг умумий иш баландлиги эса учала баландликнинг йиғиндисига тенг:

$$H = h_c + h + h_d. \quad (12.15)$$

Фазаларнинг контакт юзаси модда ўтказишнинг асосий тенгламаларидан аниқланади:

$$F = \frac{M}{K\Delta y_y},$$

бу ерда

$$\Delta y_y = \frac{\bar{y}_c - \bar{y}_0}{y_0 - y_m} \int_{y_m}^{\bar{y}_c} \frac{dy}{y - y_m}$$

$M$  — адсорбция қилинган модданинг миқдори;  $K$  — модда ўтказиш коэффициенти;  $y_0$  — газ аралашмасидаги ютилаётган модданинг бошланғич концентрацияси;  $y_m$  — газ аралашмасидаги ютилаётган модданинг охириги концентрацияси;  $y_m$  — мувозанат концентрацияси.

Ўзгарувчан қатламдаги донатор қатламли адсорбентнинг кўндаланг кесим юзаси сарф тенгласидан аниқланади:

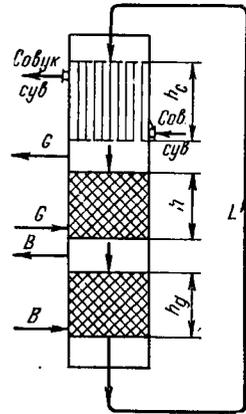
$$S = V_c / \omega,$$

бу ерда  $V_c$  — аппаратдаги газ аралашмасининг сарфи,  $м^3/с$ ,  $\omega$  — газ оқимининг тезлиги,  $м/с$ .

Адсорбция зонасининг баландлиги қуйидагича аниқланади:

$$h = \frac{F}{S \cdot f}, \quad (12.16)$$

бу ерда  $f$  — адсорбентнинг солиштирма юзаси,  $м^2/м^3$ .



12.13-расм. Аппаратнинг умумий баландлигини аниқлаш.

Аппаратнинг қолган иш қисмининг баландликлари қуйидаги нисбатлар орқали аниқланади:

$$h : h_c = \tau : \tau_c \text{ ва } h : h_d = \tau : \tau_d, \\ \text{ёки } h_c = h \cdot \tau_c / \tau \text{ ва } h_d = h \cdot \tau_d / \tau, \quad (12.17)$$

бу ерда  $\tau$ ,  $\tau_c$ ,  $\tau_d$  — адсорбция, совитиш, десорбция ва қиздириш учун кетган вақтни кўрсатади.

Адсорбция учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$\tau = \frac{S \cdot h}{L_c},$$

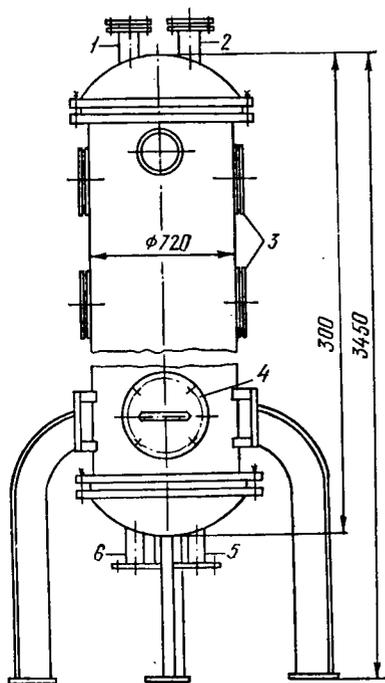
бу ерда  $L_c$  — адсорбентнинг сарфи, м<sup>3</sup>/с.

Адсорбентнинг сарфи эса материал баланс тенгламасидан аниқланади.

### 12.8-§. Ион алмашилиш процесслари

Бу процессда ионитларнинг танловчанлик хусусиятига асосан, эритмалардаги бир ва бир неча компонентлар ионитларнинг сиртида ва ички ғовақларида ютилади. Ион алмашилиш процесси бошқа адсорбция процессларидан ионит билан эритмалар орасидаги ионларнинг химиявий алмашилиши билан фарқланади. Қаттиқ ва суюқ гетероген системаларда химиявий реакциялар давомида фазалар юзасидаги икки ёқлама модда алмашилиш процесси жуда секин бўлиб, бу катталиқ ион алмашилишнинг асосий тезлигини аниқлашда муҳим роль ўйнайди. Ҳозирги вақтда ион алмашилиш процесси химия технологиясининг барча тармоқларида, жумладан қаттиқ сувларни юшатишда, суюлтирилган эритмалардан қимматбаҳо металлларни ажратиб олишда, озиқ-овқат ва медицина саноатида, биологик актив ва органик моддаларни тозалашда, гидрометаллургияда минерал ионларни ажратиб олишда кенг қўлланилмоқда.

Ион алмашилиш процессларини олиб бориш учун саноатда кўпинча қўзғалмас қатламли даврий ишлайдиган ион алмашилиш қурилмалари ишлатилади (12.14-расм). Бу аппарат цилиндрсимон қобикдан ва таянч панжарадан иборат. Аппа-



12.14-расм. Ион алмашилиш колоннаси:

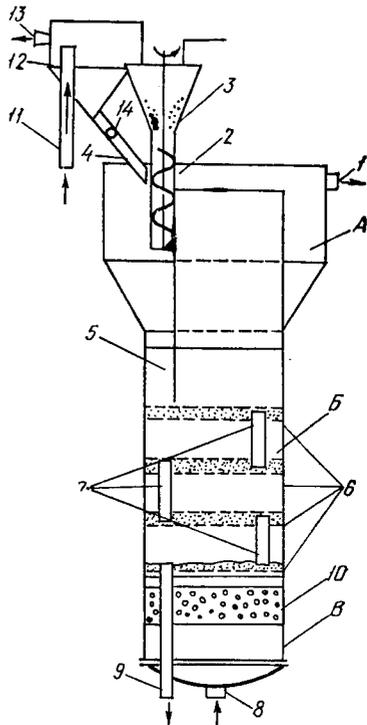
1, 2— эритма ва сув бериладиган штуцер;  
3— кузаткич; 4— люк; 5, 6— тоза ва десорбция қилувчи эритма чиқадиган штуцер.

ратда кўндаланг кесим бўйича суюқликнинг бир хил тақсимланиши учун таянч панжаранинг устки қисмига майда қум заррачалари (баландлиги 200 мм), сўнгра ионит заррачалари солинади. Аппаратдаги ион алмашилиш процесси қуйидаги босқичларда боради; 1) ион алмашилиши; 2) механик аралашмалардан ионитни ювиш; 3) ионитга ютилган моддани десорбция қилиб ажратиб олиш; 4) ионитни десорбция қилинувчи эритма қолдиқларидан ювиш.

Тозаланаётган эритма тақсимлагич орқали ионит қатламидан юқоридан пастга қараб ҳаракат қилади. Ионит тўйингандан сўнг босим остида сув билан ювилади. Сўнгра ионитни қайта ишлатиш мақсадида, унга ютилган моддалар тузлар ёки кислота ва ишқор эритмалари ёрдамида десорбция қилинади. Регенерация процесси тамом бўлгандан сўнг ионитни туз ва кислота, ишқор эритмаларининг қолдиқларидан тозалаш учун сув билан ювилади. Бу охириги босқичдан сўнг аппаратнинг ишлаш цикли яна биринчи босқичдан такрорланади.

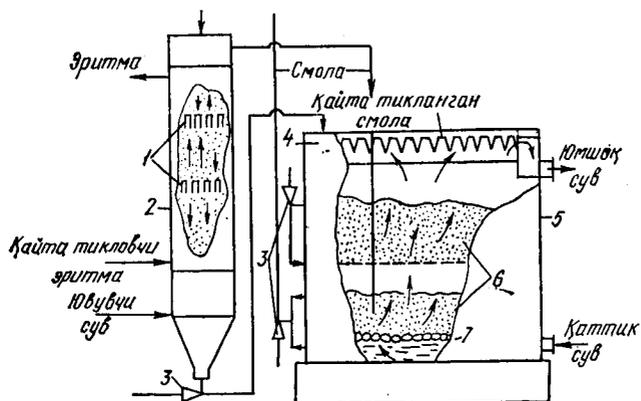
Ион алмашилиш қурилмаларининг самарадорлигини ошириш учун адсорбция процесси ионитларнинг ҳаракатчан ёки мавҳум қайнаш қатламида олиб борилади. Натижада адсорбция процессининг тезлиги ошиб, ионитнинг ютиш сифими максимал қийматга эга бўлади.

Ўзгармас қатламдаги даврий ишлайдиган ҳамда мавҳум қайнаш қатламида ион алмашилиш процесслари бир неча батареяли ион алмашилиш қурилмаларида узлуксиз олиб борилади. Узлуксиз ион алмашилиш процесслари ионитларнинг мавҳум қайнаш ёки ҳаракатчан қатламида ўтказилади. Бу қатламдаги ион алмашилиш процесслари бир неча босқичли қуйилиш қурилмаси бўлган элаксимон тарелкали колонналарда фазаларнинг қарама-қарши йўналишида узлуксиз олиб борилади (12.15-расм). Бу аппаратларда суюқлик ионит заррачаларининг бошланғич мавҳум тезлигига нисбатан катта тезликда, колоннанинг пастки қисмидан юқорисига қараб ҳаракат қилади. Ҳар бир тарелкадаги ионит заррачаларининг қатлами муаллақ ҳолатда бўлиб, қуйилиш штуцерларидан пастки тарелкаларга тушиб тўйингандан сўнг, энг пастки тарелкадан қайта тиклашга, яъни регенерацияга юборилади.



12.15- расм. Кўп босқичли мавҳум қайнаш қатламида қарама-қарши йўналишда ишлайдиган адсорбер:

1— тоза эритма чиқадиган штуцер; 2— ионит берилдиган бункер; 4— регенерация қилинган ионит тушадиган труба; 5— труба; 6— таянч тўр; 7— кружолувчи труба; 8— эритма берилдиган штуцер; 9— ишлатилган ионит чиқадиган штуцер; 10— тақсимлагич; 11— гидравлик кўтаргич; 12— сепаратор; 13— штуцер; 14— гидравлик затвор.



12. 16- расм. Қарама-қарши йўналишда узлуксиз ишлайдиган ион алмашиниш қурилмаси:

1—пластинанинг то-райган кесими; 2—десорбер; 3—эжектор; 4—куйгич; 5—юмшаткич; 6—нонит қатлами; 7—эритма тақсимлагич.

Узлуксиз олиб бориладиган процессдаги ион алмашинишнинг баъзи бир босқичлари (ион алмашиниш, ионитни ювиш ва десорбция қилиш) бошқа аппаратларда ҳам олиб борилиши мумкин (12.16- расм). Бу аппаратлар асосан қаттиқ сувларни юмшатишда ишлатилади.

Тошкент Политехника институти қошидаги «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасида дистилланган глицерин олиш учун, глицериннинг сувдаги эритмаларини ионитлар ёрдамида мавҳум қайнаш қатламида кальций, магний ва бошқа минерал ҳамда органик кислота қолдиқларидан кетма-кет уланган, узлуксиз ишлайдиган ион алмашиниш қурилмаларида тозалаш, десорбция процессининг самарадорлигини ошириш мақсадида бу процессни электромагнит майдон таъсирида ўтказиш таклиф қилинди.

## 13-БОБ. ҚАТТИҚ МАТЕРИАЛЛАРНИ ЭКСТРАКЦИЯЛАШ ВА ЭРИТИШ

### 13.1-§. Умумий тушунчалар

Говаксимон мураккаб қаттиқ моддалар таркибидан бир ёки бир неча компонентларни эритувчилар ёрдамида ажратиб олиш процесси қаттиқ жисм — суюқлик системасида *экстракциялаш* деб аталади. Одатда, ажратиб олиниши лозим бўлган компонент қаттиқ модданинг таркибида қаттиқ ёки эриган ҳолда бўлади. Процессни амалга ошириш учун тегишли эритувчи танлаб олинади.

Экстракциялаш пайтида керакли компонент қаттиқ фазадан диффузия орқали суюқ фазага ўтади, бироқ бу процессда мураккаб қаттиқ модданинг скелети ўзгармай қолади, яъни у инерт — ташувчи вазифасини ўтайди.

Қаттиқ моддаларни экстракциялаш процесси саноатнинг турли тармоқларида ишлатилади. Химия саноатида ишқор, кислота ва тузларни, озиқ-овқат саноатида қанд, ўсимлик мойлари, соклар, витаминларни, химия-фармацевтика саноатида турли доривор моддаларни, гидрометаллургияда эса рангли ва нодир металлларни олишда экстракциялаш усуллари кенг фойдаланилади.

Химиявий технологияда қаттиқ моддаларни суюқликда эритиш процесси ҳам кенг ишлатилади. Қаттиқ модданинг суюқ фазага ўтиши эритиш процесси деб аталади. Бу процессда қаттиқ модданинг эримай қоладиган инерт скелети йўқ.

Қаттиқ моддаларни экстракциялаш ва эритиш процессларининг умумий ва бир-биридан фарқ қиладиган томонлари бор. Умумий томони шундаки, иккала процесс ҳам қаттиқ модда — суюқлик система-сида олиб борилади. Бу процессларнинг бир-биридан фарқини қуйидагича тушунтириш мумкин. Экстракциялаш процесси икки босқич: модданинг қаттиқ заррачалари ички қисмидан ташқи юзасига диффузия йўли билан ўтиши; модданинг диффузия процесси туфайли қаттиқ заррача юзасидан чегара қатлам орқали суюқликнинг асосий масса-сига ўтишидан иборат. Эритиш процессининг тезлиги фақат иккинчи босқичнинг қаршилигига боғлиқ, чунки биринчи босқичда қаршилик бўлмайди. Шу сабабли эритиш процесси экстракциялашга нисбатан анча тез боради.

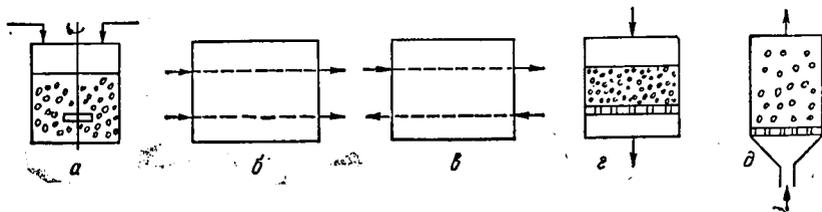
Химия саноатида эритувчилар сифатида кўпинча сув ёки айрим анорганик кислоталарнинг эритмалари ишлатилади, бундай процесс ишқорланиш деб юритилади. Ишқорланиш минерал хом ашёларни химиявий қайта ишлаш учун биринчи босқич ҳисобланади. Бу қайта ишлаш орқали инерт материаллардан қимматбаҳо компонентлар олинади. Дастлабки қаттиқ материални танлаб олинган эритувчи билан ўзаро таъсир этириш натижасида гетероген оқувчан системалар (пульпалар) олинади.

Эритиш процесси одатда кўпчилик химиявий процессларнинг бошланишидан олдин амалга оширилади, чунки эриган модда молекулаларининг ҳаракатчанлиги ва химиявий активлиги ортади.

### 13.2-§. Қаттиқ ва суюқ фазаларнинг ўзаро таъсирлашиш усуллари

Қаттиқ модда ва суюқликнинг ўзаро таъсирлашувига кўра, химиявий технологияда қўлланиладиган экстракциялаш ва эритиш процесслари қуйидаги усулларга бўлинади; 1) чекланган ҳажмли даврий процесс; 2) тўғри ёки қарама-қарши йўналишли процесс; 3) қўзғалмас қатламли процесс; 4) мавҳум қайнаш қатламли процесс (13.1-расм).

1. Чекланган ҳажмли даврий процесс. Бу процесс одатда механик ёки пневматик аралаштиргичи бўлган аппаратларда олиб борилади.



13.1-расм. Экстракциялаш ва эритиш усуллари:

а — чегараланган ҳажмли даврий процесс; б — тўғри йўналишли процесс; в — қарама-қарши йўналишли процесс; г — қўзғалмас қатламли процесс; д — мавҳум қайнаш қатламли процесс.

Қаттиқ заррачалар аралаштиргич ёрдамида турли тезликларда ҳар томонга қараб ҳаракат қила бошлайди. Қаттиқ заррачалар ҳаракатининг инерция кучи таъсирида суюқлик вақт ўтиши билан ўзгарувчан тезликда ҳаракат қила бошлайди. Бундай инерция режимида экстракциялаш ёки эритиш процессини тезлатиш учун керакли шарт-шароит яратилади. Процесс мувозанат ҳолатига яқинлашган сари қаттиқ жисмдаги диффузия бўлаётган модданинг концентрацияси камайиб боради, натижада ҳаракатлантирувчи кучнинг қиймати ҳам камаяди. Экстракциялаш давомида суюқликка ўтган модданинг миқдори эса кўпайиб боради. Демак, чекланган ҳажмда олиб бориладиган процесс типик ностационар (турғунмас) процесс ҳисобланади.

Аралаштиргичли аппаратларда олиб бориладиган чекланган ҳажмли процесслар даврий процессларга хос бўлган бир қатор камчиликларга эга бўлганлиги сабабли уларнинг самарадорлиги кам.

2. **Тўғри ёки қарама-қарши йўналишли процесслар.** Бундай процесслар узлуксиз ишлайдиган аппаратларда олиб борилиши сабабли химия саноатида кенг ишлатилади. Тўғри йўналишли процессларда қаттиқ материал ва эритувчи бир томонга ҳаракат қилади. Бунда экстракциялаш ёки эритиш процесси кетма-кет жойлашган бир неча аралаштиргичли аппаратларда олиб борилади. Қаттиқ материал ва эритувчининг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлган аралашма (пульпа) бир аппаратдан иккинчисига ўз-ўзича оқиб ўтади. Бу схема бўйича процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи бир поғонадан иккинчисига ўтиши билан аста-секин камая боради. Одатда, поғоналарнинг сони 3—6 тадан ортмайди. Тўғри йўналишли қурилмаларда қаттиқ материаллар таркибидан ажратилиши керак бўлган модда бир-мунча катта миқдорда ажратиб олинади.

Узлуксиз процессларни қарама-қарши йўналишда олиб бориш анча юқори самарадорликка эга. Бу принцида ишлайдиган қурилмаларда қаттиқ материал ва суюқлик бир-бирига қарама-қарши томонга ҳаракат қилади. Қурилманинг охириги аппаратига тоза эритувчи берилади, бу ерда таркибидан ажратиб олинаётган компонент кам қолган қаттиқ материал тоза суюқлик билан ўзаро таъсир эттирилади. Қурилманинг биринчи аппаратида эса дастлабки қаттиқ материал концентрацияси юқори бўлган эритма билан аралашади. Натижада аппаратлар бир текисда яхши ишлайди. Эритманинг концентрацияси ортади, эритувчининг сарфи камаяди ва қурилманинг иш унумдорлиги кўпаяди.

3. **Қўзғалмас қатламли процесс.** Бу процессда донасимон қаттиқ материал қатламидан суюқлик (эритувчи) ўтади. Бунда филтрланиш процесси юз беради. Экстракциялаш процессида қаттиқ материал қатламнинг баландлиги ўзгармас бўлади. Қаттиқ материалларни эритиш процессида қатламнинг баландлиги вақт давомида ўзгариб боради. Бу процесс даврий равишда олиб борилади. Қаттиқ материал заррачаларининг қатламнинг ҳар бир нуқтасидаги ва қатламдан чиқаётган суюқликнинг концентрациялари доим ўзгариб туради. Шу сабабли ўзгармас қатламли процесслар ностационар (турғунмас) ҳисобланади.

Қўзғалмас қатламли процесслар бир қатор афзалликларга эга: экстракциялаш аппаратлари оддий тузилишга эга, пульпани ажратиш

ва чўкмани ювиш учун қўшимча аппаратлар талаб қилинмайди, экстракциялаш процесси филтрлаш орқали олиб борилгани сабабли экстракт анча тоза ҳолда олинади, аппаратларнинг иш унуми анча катта, ҳосил бўлган экстракт эритмасининг концентрацияси эса юқори бўлади.

Бу усул камчиликлардан ҳам холи эмас; қўзғалмас қатлам катта гидравлик қаршиликка эга, ушбу процессни амалга ошириш учун қаттиқ материал бир хил катталиқдаги майда заррачаларга бўлинган бўлиши керак.

4. Мавҳум қайнаш қатламли процесс. Бундай процессда қаттиқ материалнинг заррачалари суюқлик таъсирида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилади. Қаттиқ материал заррачаларининг қатлами аппаратнинг ғалвирсимон тўсиғи устига жойлашган. Суюқлик (эритувчи) маълум критик тезлик билан қаттиқ материал қатламининг пастидан берилади, бундай қаттиқ заррачалар ҳар томонга ҳаракат қилади. Суюқлик албатта турбулент оқим билан ҳаракатланади. Экстракциялаш процесси давомида қаттиқ заррачаларнинг барча юзаси эритувчи билан ўзаро таъсир этади, натижада қаттиқ ва суюқ фазалар ўртасидаги модда алмашилиш процесси тез боради.

Мавҳум қайнаш қатламли процесслар асосида ишлайдиган аппаратлар оддий тузилган, уларнинг массаси кам, қаттиқ материал таркибидаги тегишли компонентнинг чиқиши анча юқори, экстракциялаш ёки эритиш процесси катта тезлик билан боради.

Қаттиқ материал ва эритувчининг юқорида кўриб ўтилган ўзаро таъсир қилиш усулларида ташқари, саноат аппаратларида фазалар таъсирининг бошқа мураккаб схемалари ҳам қўлланилиши мумкин. Ҳар бир конкрет шароит учун техник-иқтисодий ҳисоблашлар орқали тегишли усул қабул қилинади.

### 13.3-§. Экстракциялаш ва эритиш процессларининг тезлиги

Қаттиқ материал—суюқлик системасида экстракциялаш процесси икки босқичда боради:

1. Қаттиқ жисм ичида модданинг ички диффузия (ёки модда ўтказувчанлик) ёрдамида тарқалиши. Модда ўтказувчанлик ҳам молекуляр диффузияга ўхшаш қуйидаги тахминий тенглама орқали белгиланади:

$$dM = -D_n \frac{dc}{dx} dF \cdot d\tau. \quad (13.1)$$

Бу тенгламага мувофиқ, қаттиқ фаза ичига модданинг модда ўтказувчанлик таъсирида ўтган миқдори концентрация градиентига, диффузия йўналишига перпендикуляр бўлган юзага ва вақтга тўғри пропорционалдир. Тенгламанинг ўнг томонидаги пропорционаллик коэффициенти  $D_n$  ички диффузия ёки модда ўтказувчанлик коэффициенти деб юритилади.

2. Қаттиқ жисм юзасидан модданинг чегара қатлам орқали суюқликка модда бериш ёки ташқи диффузия йўли билан ўтиши. Ташқи

диффузия йўли билан тарқалган модданинг миқдори конвектив диффузия қонуни асосида топилади;

$$dM = \beta (c_a - c') dF \cdot d\tau, \quad (13.2)$$

бу ерда  $\beta$  — модда бериш коэффициенти;  $c_a$  — фазаларни ажратувчи юзадаги концентрация;  $c'$  — суюқлик оқимидаги концентрация.

Қаттиқ жисм юзасидан суюқликка ўтган модданинг миқдори қаттиқ материал — суюқлик чегарасидаги ва суюқлик оқимининг асосий массасидаги концентрациялар фарқига, элементар юзага ва процесснинг вақтига тўғри пропорционалдир.

Охирги икки тенгламаларнинг ўнг томонларини ўзаро тенглаштириб, фазаларни ажратувчи чегарадаги модда беришнинг дифференциал тенгламасини оламиз;

$$-D_n \frac{dc}{dx} = \beta \Delta c. \quad (13.3)$$

(13.3) тенгламадан кўриниб турибдики, экстракциялаш процессидаги модда ўтказиш тезлиги модда ўтказувчанликка ҳам, модда беришга ҳам боғлиқ экан. Бу процесснинг модда ўтказишга таъсири уч хил бўлиши мумкин; 1) модда бериш процессининг тезлиги модда ўтказувчанликнинг тезлигига нисбатан анча катта бўлади. Бунда модда ўтказиш тезлиги модда ўтказувчанлик  $D_n$  орқали аниқланади; 2) модда ўтказувчанликнинг тезлиги модда бериш процессининг тезлигига нисбатан анча катта бўлади. Бунда модда ўтказиш тезлиги модда бериш процесси  $\beta$  асосида ҳисобланади; 3) модда ўтказувчанлик ва модда бериш процессларининг тезлигини ўзаро солиштириш мумкин бўлади.

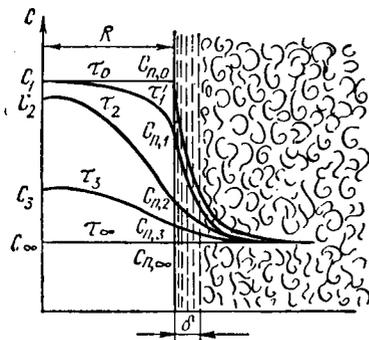
Бунда модда ўтказишнинг тезлигини аниқлашда  $D_n$  ва  $\beta$  коэффициентлар ҳисобга олинади.

Қаттиқ материал таркибидаги тегишли компонентни эритувчи ёрдамида ажратиб олиш мураккаб процесс ҳисобланади. Бу процессда қаттиқ материал ичида ва атроф-муҳитда концентрациялар миқдори вақт давомида ёки аппаратнинг узунлиги бўйича ўзгариб туради (13.2-расм).

Қаттиқ материал ичида концентрациялар миқдорининг ўзгариш тезлигига қуйидагилар сабаб бўлади:

а) қаттиқ жисм ва тарқалаётган модданинг диффузия хоссалари, бу хоссалар модда ўтказувчанлик коэффициенти  $D_n$  орқали ифодаланади;

б) қаттиқ жисм — суюқлик чегарасида модда ўтказиш шароитлари (қаттиқ материалларни экстракциялаш процессининг чегара шартлари,



13.2-расм. Концентрациянинг қаттиқ модда — суюқлик чегара қатламларида тақсимланиши:

$\tau = 0$ ;  $\tau = \infty$ ;  $\tau_1, \tau_2$  — экстракция процессининг бошланишидан ўтган вақт;  $C_0$ ;  $C_\infty$ ;  $C_1$ ;  $C_2$  — пластиня ўртасига тўғри келган экстракция қилинаётган материалнинг концентрацияси;  $C_{n,0}$ ;  $C_{n,\infty}$ ;  $C_{n,1}$ ;  $C_{n,2}$  — ажратиш фазасига тўғри келган экстракция қилинаётган материалнинг концентрацияси;  $\delta$  — диффузия чегара қатламининг қалинлиги.

А. В. Ликовнинг классификацияси бўйича учинчи турга ки-  
ради);

в) қаттиқ ва суюқ фазалар миқдорларининг нисбати, бу нисбат ба-  
ланс тенгламаси билан ифодаланади:

$$\frac{c_{\sigma} - c_0}{c'_{\sigma} - c'_0} = n, \quad (13.4)$$

бу ерда  $c'_{\sigma}$  ва  $c'_0$  — процесснинг бошланиши ва охирида суюқ фазадаги эк-  
стракцияланган модданинг концентрациялари;  $c_{\sigma}$  ва  $c_0$  — процесснинг бошланиши ва  
охирида қаттиқ фазадаги экстракцияланиши лозим бўлган модданинг коцентрация-  
лари;

$n = \frac{W}{N}$  — ўзаро контакт ҳолатида бўлган суюқлик миқдори  $W$  нинг қаттиқ  
жисм миқдори  $N$  га нисбати;

г) қаттиқ материал заррачаларининг суюқлик билан ўзаро таъ-  
сир қилиш усули;

д) қаттиқ материал заррачаларининг шакли ва ўлчамлари.

Қаттиқ жисм таркибидан ажратиб олинаётган модда концентрация-  
лар миқдорининг ўзгаришини билиш ва шунинг асосида экстракция-  
лаш процессининг ҳамма қонуниятларини аниқлаш учун диффузия-  
нинг дифференциал тенгламасини ечиш зарур ёки ўхшашлик назария-  
сидан фойдалан иш лозим.

Дифференциал тенгламаларни ечиш анча қийин иш ҳисобланади.  
Шу сабабли кўпчилик ҳолларда тажриба натижалари ўхшашлик на-  
зарияси асосида қайтадан ишлаб чиқилади. Бундай шароитларда қат-  
тиқ фазадаги экстракцияланаётган модданинг ўлчамсиз концентрация-  
сидан фойдаланилади:

$$\frac{c - c_m}{c_{\sigma} - c_m} = f \left( Bi_d, Fo_d, \frac{x}{R} \right); \quad (13.5)$$

бу ерда  $c_m$  — қаттиқ фазадаги экстракцияланаётган модданинг мувозанат кон-  
центрацияси;  $c_{\sigma}$  — қаттиқ фазадаги экстракцияланаётган модданинг дастлабки кон-  
центрацияси;  $c$  — қаттиқ фазанинг берилган нуқтасидаги  $\tau$  вақтга тўғри келган  
концентрация,  $x$  — берилган нуқтанинг координатаси;  $R$  — қаттиқ жисмнинг аниқ-  
ловчи геометрик ўлчами (масалан бу ўлчам шарсимон заррачанинг радиуси, плас-  
тина қалинлигининг ярми бўлиши мумкин);

$$Bi_d = \frac{\beta \cdot R}{D_n} \text{ — Био диффузия критерийси;}$$

$$Fo_d = \frac{D_n \cdot \tau}{R^2} \text{ — Фурье диффузия критерийси;}$$

$x/R$  — геометрик ўхшашлик симплекси.

Био критерийси қаттиқ материалларни экстракциялаш процесси-  
ни текширишда катта аҳамиятга эга. Бу критерий қаттиқ материал —  
суюқлик чегарасида тарқалаётган модда ўтишининг ўхшашлигини  
белгилайди. Био критерийсининг қиймати кичик бўлганда модда ўт-  
казишнинг тезлиги ташқи диффузиянинг тезлиги билан аниқланади,  
агар бу критерий катта қийматга эга бўлса, модда ўтказиш процесси-  
нинг тезлиги ички диффузиянинг тезлиги орқали белгиланади.

Фурье критерийси қаттиқ фаза ичида модданинг модда ўтказувчанлик йўли билан тарқалиш тезлигининг ўхшашлигини аниқлайди.

Охирги (13.5) тенглама ёрдамида вақт давомида қаттиқ заррачалар ўртача концентрациясининг ўзгаришини аниқлаш мумкин. Демак, бундан процесснинг кинетикаси ва унинг самарадорлигини билиш имкони туғилади. Бироқ бу ифода фақат оддий шаклдаги геометрик жисмлар (шар, узлуксиз цилиндр, чегараланмаган пластина) учунгина аналитик ечимга эга. Бошқа шаклдаги қаттиқ жисмлар учун тажриба натижаларини (13.5) ифода асосида қайта ишлаш йўли билан ҳисоблаш тенгламаси олинади.

Агар қаттиқ материалларни экстракциялаш процесси икки босқичдан иборат бўлса, эритиш процесси фақат битта босқич (яъни ташқи диффузия) дан ташкил топган бўлади. Шу сабабли эритиш процесси экстракциялашга қараганда анча тез боради. Эритиш процессига қаттиқ жисмнинг ўлчамлари, ички тузилиши ва химиявий таркиби таъсир қилади. Қаттиқ материалларни эритиш учун асосан сув ёки айрим кислота ва ишқорларнинг сувли эритмалари ишлатилади.

Эритиш процессининг тезлиги модда бериш тенгламаси орқали топилади:

$$\frac{dM}{d\tau} = \beta F (c_{\text{туя}} - c_0), \quad (13.6)$$

бу ерда  $d/Md\tau$  — процесснинг тезлиги бўйича қисқа вақт  $d\tau$  давомида эриган модданинг миқдорини белгилайди;  $F$  — маълум вақт  $\tau$  га тўғри келган қаттиқ жисмнинг эриш юзаси;  $\beta$  — суюқ фазадаги модда бериш коэффициентини;  $c_{\text{туя}}$  — эритманинг тўйиниш концентрацияси;  $c_0$  — эритманинг асосий массасидаги ўртача концентрацияси.

Тажриба натижаларини қайта ишлаш йўли билан  $\beta$  ни ҳисоблаш учун қуйидаги критериял тенглама олинган:

$$Nu'_d = 0,8 \sqrt[3]{Pr'_d} \cdot \sqrt{Re}; \quad (13.7)$$

бу ерда  $Nu'_d = \frac{\beta d}{D}$  — Нуссельт диффузия критерийси;

$Pr'_d = \nu/D$  — Прандтль диффузия критерийси;

$Re = \omega d/\nu$  — Райнольдс критерийси;

$d$  — заррача диаметри;  $D$  — молекуляр диффузия коэффициентини;  $\nu$  — суюқликнинг кинематик қовушоқлиги;  $\omega$  — суюқликнинг қаттиқ заррачаларни айланиб ўтиш тезлиги.

Эритиш процессининг тезлигини аралаштириш, температурани ошириш, қўшимча босим бериш, қаттиқ жисмни майдалаш йўллари билан ошириш мумкин. Аралаштириш усули қўлланилганда қаттиқ заррачаларга нисбатан суюқликнинг тезлиги ортади, бу ҳол қаттиқ жисм юзасидаги диффузия чегара қатламининг қалинлигини камайтиради, натижада  $\beta$  нинг қиймати ортади.

Температура ортиши билан суюқ фазанинг қовушоқлиги камаяди, натижада  $D$  нинг қиймати ошади. Қўшимча босим бериш ҳам эритиш тезлигини оширади.

Қаттиқ материални майдалаш орқали ҳам эритиш процессини тезлатиш мумкин. Заррачаларнинг ўлчами кичрайганда фазаларнинг

ўзаро контакт юзаси кўпаяди, бундан ташқари, модданинг заррача ички қисмидан унинг юзасига ўтиши учун масофа камаяди. Бироқ қаттиқ материални ҳаддан зиёд майдалаш мумкин эмас, бунда қўшимча энергия сарф бўлади ва эритишдан кейин борадиган филтрлаш процесси қийинлашади. Шу сабабли ҳар бир конкрет шароит учун қаттиқ заррачанинг оптимал ўлчами аниқланади.

### 13.4-§. Экстракциялаш аппаратларининг тузилиши

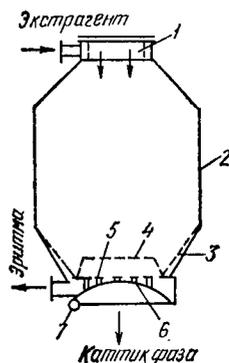
Қаттиқ материалларни экстракциялаш ва эритиш процессларини амалга ошириш учун ишлатиладиган аппаратларга қуйидаги талаблар қўйилади; 1) аппаратнинг иш ҳажми бирлигига тўғри келган экстрактнинг миқдори, яъни солиштира иш унуми катта бўлиши керак; 2) ҳосил бўлаётган эритманинг концентрацияси иложи борича юқори бўлиши зарур; 3) охириги эритма ҳажми бирлигига тўғри келган энергия сарфи кам бўлиши лозим.

Экстрактор ва эриткичлар даврий ва узлуксиз ишлайдиган аппаратларга бўлинади. Фазаларнинг ўзаро йўналишига кўра, улар тўғри йўналишли, қарама-қарши йўналишли ва аралаш йўналишли аппаратларга ажратилади. Суяқликнинг қаттиқ заррачалар атрофини айланиб ўтиш тезлигини ҳосил қилиш усулига кўра, ўзгармас қатламли, механик аралаштиргичи бўлган қатламли ва мавҳум қайнаш қатламли аппаратларга бўлинади.

Даврий ишлайдиган аппаратларнинг иш унуми кичик бўлганлиги сабабли улар кичик ҳажми ишлаб чиқаришларда ишлатилади. Саноатда асосан узлуксиз ишлайдиган аппаратлардан кенг фойдаланилади. Экстракторлар ва эриткичлар принципаал жиҳатдан бир-биридан фарқ қилмайди. Агар аппарат қаттиқ материалларни экстракциялаш учун ишлатилса экстрактор деб аталади, агарда бу аппарат қаттиқ моддаларни эритиш учун ишлатилса, бу ҳолда эриткич деб юритилади.

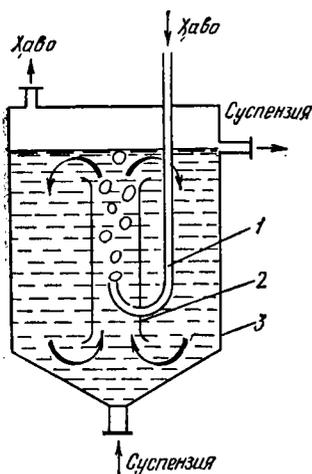
Саноатда қаттиқ материалларни экстракциялаш учун турли аппаратлар ишлатилади. Уларни танлашда қаттиқ фазанинг тури (заррачаларнинг ўлчами ва шакли) ва ҳосил бўлган экстрактнинг концентрацияси ёки материалдан маҳсулотнинг чиқиши ҳисобга олинади.

Айрим ишлаб чиқаришларда қўзғалмас қатламли даврий ишлайдиган экстракторлар (диффузорлар) ишлатилади (13.3-расм). Бундай диффузорда қаттиқ материал қўзғалмас қатламли бўлиб, эритувчи аппаратнинг юқориги қисмидан махсус тарқатувчи тўсиқ орқали берилди ва қатламдан филтрланиб ўтади. Қаттиқ материал таркибидан тегишли компонент суяқлик таркибига ўтади. Диффузорнинг пастки қисмида ғалвирсимон тўсиқлар жойлашган. Қаттиқ материал қолдиғини аппаратдан тушириш учун



13.3-расм. Қўзғалмас қатламли даврий ишлайдиган экстрактор:

1 — тарқатувчи тўсиқ;  
2 — корпус; 3, 4, 5 — ғалвирсимон тўсиқлар; 6 — қоғоқ;  
7 — қоғоқ ўқи.



13.4- расм. Пневматик аралаштириш усули билан ишлайдиган экстрактор:

1— ҳаво берувчи труба; 2— марказий циркуляция трубаси; 3— корпус.

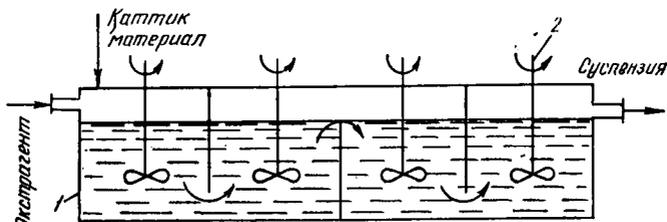
пастки қопқоқ ва ғалвирсимон тўсиқлар қопқоқнинг ўқи атрофида айланади. Узлуксиз иш технологиясини ташкил қилиш учун даврий ишлайдиган бир неча диффузорлар (уларнинг сони 16 тагача боради) кетма-кет бирига уланади, бунда батарея ҳосил бўлади. Эритувчи эса материал йўналишига қарама-қарши йўналишда кетма-кет ҳамма аппаратлардан ўтади. Батарея тегишли иссиқлик режимини ташкил қилиш учун қўшни диффузорлар ўртасига иссиқлик алмашишиш аппаратлари жойлаштирилади.

Пневматик аралаштириш усули билан ишлайдиган экстракторлар ҳам кенг тарқалган (13.4- расм). Қаттиқ материал ва суyoқлик аралашмаси (суспензия) аппаратнинг пастки қисмидан берилади. Циркуляция трубасига сиқилган ҳаво бериб аралашманинг аппаратда яхши аралашувини таъминлаш мумкин. Пневматик аралаштиришчи аппаратларни даврий ва узлуксиз ишлайдиган технологик процессларда ишлатиш мумкин.

Кўп поғонали экстракциялаш процессини ичида тўсиқлари бўлган битта аппаратда амалга ошириш мумкин (13.5- расм). Экстракторнинг ҳар бир секциясида суспензия механик аралаштиргич ёрдамида аралаштирилади.

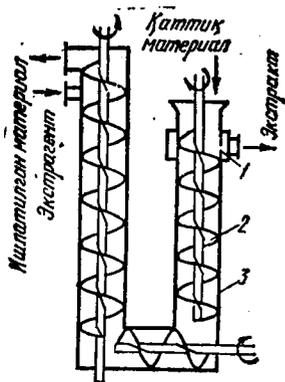
Қаттиқ фаза ва суyoқликни шнекли қурилма ёрдамида бир-бирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилдириш мумкин. 13.6- расмда узлуксиз ишлайдиган учта шнекли экстракторнинг схемаси кўрсатилган.

13.7- расмда узлуксиз ишлайдиган лентали экстрактор кўрсатилган. Қаттиқ материал қатлами маълум баландлиқ билан лентали транспортёрнинг устида ҳаракат қилади, бундай экстрактор бир неча қисмларга бўлинади. Тоза эритувчи (экстрагент) чап томонидаги сочиб берувчи қурилмага узатилади, у ҳаракат қилиб турадиган қатламдан ўтади ва тўйинмаган эритма сифатида қабул қилувчи идишга тушади. Бу тўйинмаган эритма насос ёрдамида аппаратнинг олдинги қисмига сочиб берувчи қурилма орқали узатилади ва цикл шу тарзда такрор-



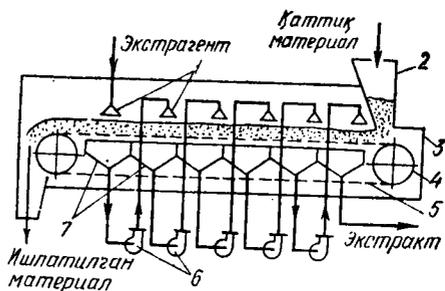
13.5- расм. Кўп поғонали механик аралаштиришчи экстрактор:

1— корпус; 2— аралаштиргич.



13. 6- расм. Шнекли экстрактор:

1— ажратувчи галвир; 2— шнек;  
3— корпус.



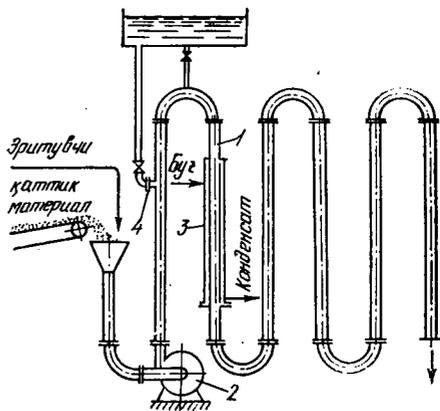
13. 7- расм. Сочиб берувчи лентали экстрактор:

1— сочиб берувчи қурilmалар; 2— бункер; 3— корпус; 4— юлдузча; 5— лентали транспортер; 6— насос; 7— йиғич.

ланаверади. Шундай қилиб, аппаратнинг айрим қисмларида суюқлик фазаси қаттиқ фазага нисбатан перпендикуляр йўналишда бериледи, умуман олганда эса фазалар бир-бирига нисбатан қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Экстракторнинг ўнг томонидаги биринчи қисмидан тўйинган эритма (экстракт) ажратиб олинади.

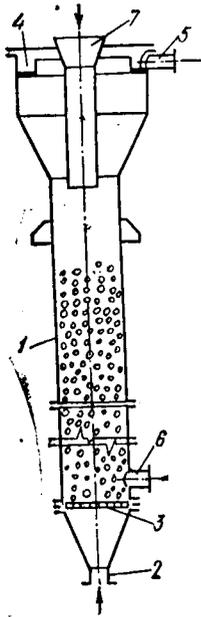
Мавҳум қайнаш қатламли аппаратларда қаттиқ заррачаларнинг ҳамма юзаси процесснинг бутун давомида турбулент оқимли суюқлик билан ўзаро контактда бўлади, натижада экстракциялаш ёки эритиш процесси анча тезлашади. 13.8- расмда трубали экстракторнинг схемаси кўрсатилган. Бу экстрактор кетма-кет уланган бир неча трубалардан ташкил топган. Экстракторга қаттиқ материал майда заррачалар шаклида бериледи. Қаттиқ материал ва суюқлик аралашмаси насос ёрдамида трубаларга юборилади. Процессни юқори температурада олиб бориш учун трубаларга буғ қобиғи ўрнатилади. Насос бирдан тўхтаб қолган шароитда, системадаги қаттиқ материал заррачаларини ювиб юбориш учун юқорида жойлашган идишдан трубаларга сув бериледи.

Мавҳум қайнаш қатламли колоннали экстракторнинг кўриниши 13.9- расмда кўрсатилган. Цилиндрсимон колоннанинг пастки қисмидан эритувчи маълум критик тезлик билан бериледи, натижада тўрнинг устида



13. 8- расм. Трубали экстрактор:

1— труба; 2— насос; 3— буг қобиғи; 4— ювадиган сув берувчи труба.



13. 9- расм. Мавҳум қайнаш қатламли экстрактор:

1— колонна; 2— эритма кирадиган штуцер; 3— тақсимлагич; 4— ҳалқасмон тарнов; 5— концентрланган эритма чиқадиған штуцер; 6— қаттиқ модда қолдиғи чиқадиған штуцер; 7— труба.

қаттиқ материалнинг майда заррачалари мавҳум қайнаш ҳолатига келади. Дастлабки материал аппаратнинг юқориги қисмидан юклаш трубаси орқали тўғридан-тўғри мавҳум қайнаш қатламига берилади. Мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги бир неча метрга тенг. Қаттиқ ва суюқ фазанинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлаётган экстрактнинг концентрацияси аппарат юқорисига кўтарилган сари ортиб боради. Юқори концентрацияли экстракт колоннанинг кенгайган қисми орқали ҳалқасмон тарновга тушади ва сўнгра аппаратдан ташқарига чиқарилади. Қаттиқ материал қолдиғи тўрнинг тепароғида жойлашган штуцер орқали узлуксиз равишда экстрактордан чиқариб турилади.

Мавҳум қайнаш қатламли аппаратларнинг тузилиши оддий ва массаси кичик. Бундай экстракторларда процесснинг тезлиги анча катта, қаттиқ материалдан керакли компонентнинг ажралиб чиқиш даражаси ҳам анча юқори бўлади.

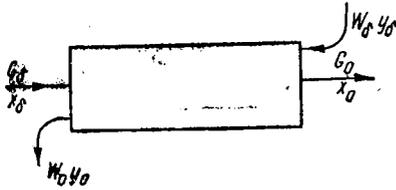
### 13.5- §. Экстракторларни ҳисоблаш.

**Экстракторнинг моддий баланси.** Узлуксиз ишлайдиган экстракторнинг моддий балансини тузамиз. Экстракциялашга берилаётган материал миқдорини  $G_6$  (кг/соат), эритувчи миқдорини  $W_6$  (кг/соат), аппаратдан чиқиб кетаётган экстракт миқдорини  $W_0$  (кг/соат) ва қолдиқ миқдорини  $G_0$  (кг/соат) билан белгилаймиз.

Экстракторга тушаётган материалдан ажралиши лозим бўлган компонент концентрацияси  $x_6$  (%), аппаратдан чиқаётган қолдиқ материалдаги концентрацияси  $x_0$  (%), ажралаётган компонентнинг эритувчидаги дастлабки ва охириги концентрациялари  $y_6$  ва  $y_0$  (%).

Бунда экстракторнинг моддий балансини қуйидагича ёзиш мумкин (13.10- расм):

13. 10- расм. Экстракторнинг моддий балансини аниқлаш.



$$G_6 + W_6 = W_0 + G_0 \quad (13.8)$$

ва

$$G_6 x_6 + W_6 y_6 = G_0 x_0 + W_0 y_0 \quad (13.9)$$

$G_0$  ни  $G_6$  орқали белгилаймиз:

$$G_0 = \alpha \cdot G_6, \text{ бу ерда } \alpha = G_0/G_6.$$

Бунда (13.9) тенглама қуйидаги кўринишни эгаллайди:

$$G_0 x_0 + W_0 \cdot y_0 = W_0 y_0 + \alpha \cdot G_0 \cdot x_0 \quad (13.10)$$

$$\text{ёки} \quad G_0 (x_0 - \alpha x_0) = W_0 y_0 - W_0 \cdot y_0 \quad (13.11)$$

Агар  $W_0$  ни  $G_0$  орқали белгиласак, у ҳолда:

$$W_0 = G_0 \cdot \beta \quad (13.12)$$

Охири ифодани (13.11) тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$G_0 (x_0 - \alpha x_0) = W_0 \cdot y_0 - G_0 \cdot \beta \cdot y_0 \quad (13.13)$$

Агар экстракторга берилган эритувчининг дастлабки концентрацияси  $y_0 = 0$  бўлса, охири тенглама қуйидаги кўринишни эгаллайди:

$$G_0 (x_0 - \alpha x_0) = W_0 \cdot y_0 \quad (13.14)$$

Бу тенгламани  $W_0$  га нисбатан ечиш учун  $G_0$ ,  $\alpha$ ,  $x_0$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  ларнинг қийматларини билиш керак.  $W_0$  орқали  $W_0$  нинг қийматини топиш мумкин.

**Экстракторнинг иссиқлик баланси.** Агар маҳсулотларнинг температуралари ва иссиқлик сифимлари маълум бўлса, экстракциялаш процессининг иссиқлик балансини тузиш мумкин. Иссиқликнинг кириши қуйидагича ёзилади:

$$Q_k = G_0 \cdot c_{G_0} \cdot t_{G_0} + W_0 \cdot c_{W_0} \cdot t_{W_0} + Q_{k_{\text{ўш}}}, \quad (13.15)$$

бу ерда  $Q_k$  — иссиқликнинг кириши, Ж/с;  $G_0$  — экстракторга берилётган материалнинг миқдори кг/с;  $c_{G_0}$  — экстракторга берилётган материалнинг иссиқлик сифими, Ж/(кг·К);  $t_{G_0}$  — экстракторга берилётган материалнинг температураси, °С;  $W_0$  — экстракторга берилётган эритувчининг миқдори, кг/с;  $c_{W_0}$  — экстракторга берилётган эритувчининг иссиқлик сифими; Ж/(кг·К);  $t_{W_0}$  — эритувчининг бошланғич температураси, °С;  $Q_{k_{\text{ўш}}}$  — экстракторга киритилётган қўшимча иссиқлик, Ж/с.

Иссиқлик сарфини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q_c = G_0 \cdot c_{G_0} \cdot t_{G_0} + W_0 \cdot c_{W_0} \cdot t_{W_0} + Q_{k_{\text{ўш}}}, \quad (13.16)$$

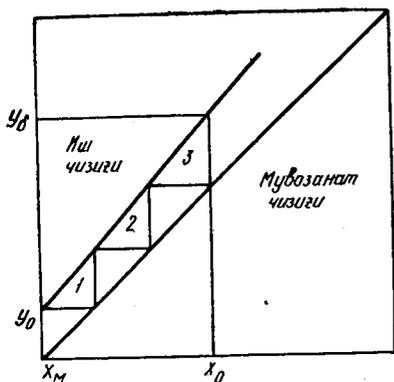
бу ерда  $Q_{k_{\text{ўш}}}$  — иссиқликнинг ташқи муҳитга конвекция ва нурланиш йўли билан йўқотилиши, Ж/с.

$Q_k$  ва  $Q_c$  ни бир-бирига тенглаштириб, экстракторнинг иссиқлик балансини тузамиз:

$$\begin{aligned} G_0 \cdot c_{G_0} \cdot t_{G_0} + W_0 \cdot c_{W_0} \cdot t_{W_0} + Q_{k_{\text{ўш}}} = \\ = G_0 t_{G_0} c_{G_0} + W_0 c_{W_0} t_{W_0} + Q_{k_{\text{ўш}}}. \end{aligned} \quad (13.17)$$

Бу иссиқлик баланси тенгламасини тузишда эриш иссиқлиги ҳисобга олинмаган. Аниқ ҳисоблашлар учун эса модданинг эриш иссиқлиги ҳисобга олиниши керак.

**Экстракторнинг асосий ўлчамлари.** Ҳозирги вақтда экстракциялаш аппаратларининг ўлчамлари махсус қўлланмалар бўйича олинади.



13.11- расм. Концентрациялар поғонасини аниқлаш.

да шнеки бўлган колоннали экстрактор учун (қанд қизилчаси заррачалари 60 минут мобайнида экстракция қилинганда)  $h_{\text{эқв}}$  нинг қиймати 1,17 м га тенглиги аниқланган. Бироқ кўпчилик экстракторлар учун  $h_{\text{эқв}}$  нинг қиймати топилмаган.

### 13.6- §. Экстракциялаш процессларини тезлатиш

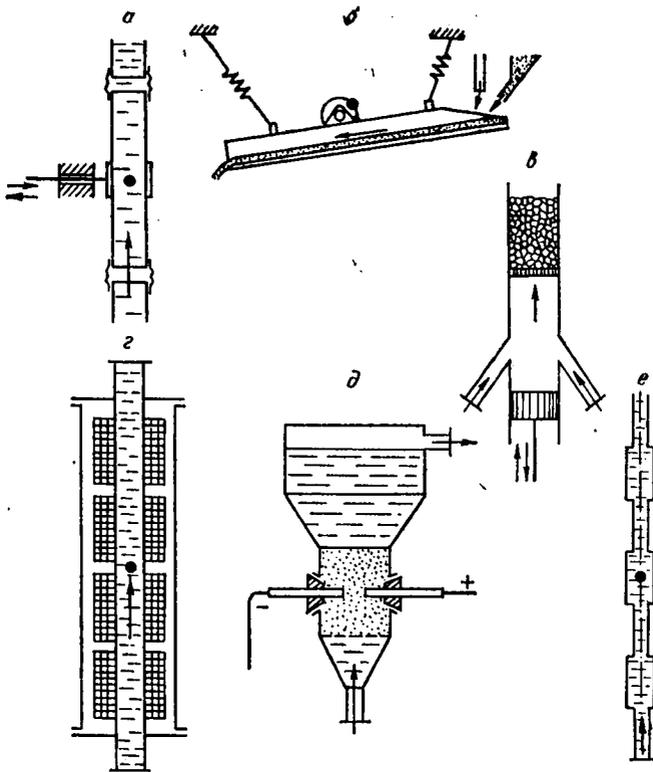
Қаттиқ материал — суюқлик системаларида экстракциялаш процесси анча секин боради, чунки қаттиқ фаза ичида борадиган модда ўтказувчанликнинг тезлиги суюқлик фазасида юз берадиган модда беришнинг тезлигига нисбатан бир неча марта кичик. Натижада қаттиқ материаллардан керак бўлган компонентни ажратиб олиш процесси кўп вақт талаб қилади.

Шу сабабли қаттиқ материалларни экстракциялаш процессларини интенсифлашнинг бир қатор усуллари таклиф этилган (13.12- расм). Модда ўтказишни тезлатиш учун турли тебраниш усуллари қўлланилади: а) кўндаланг механик тебранишлар; б) вибрация; в) қатламдан ўтаётган суюқликнинг тебраниши (пульсация); г) қаттиқ жисм ва суюқлик аралашмаси (пульпа) га ультратовуш таъсир этириш; д) суюқликда электр яшинларини ҳосил қилиш; е) суюқлик оқими тезлигини даврий равишда ўзгартириш. Булардан ташқари, вакуум остида эритувчини қайнаган ҳолда ишлашиш ва электромагнит майдон кучларини таъсир этириш усуллари ҳам таклиф қилинган.

Механик тебранишлар (кўндаланг тебраниш, пульсация, вибрация) таъсирида (13.12- расм, а, б, в) суюқликнинг қаттиқ заррачаларни айланиб ўтиш тезлиги кўпаяди, қаттиқ фаза юзасидаги чегара қатламининг қалинлиги камаяди, фазалар ўртасидаги ўзаро контакт юзаси ортади, ҳаракатсиз зоналар йўқолади, натижада асосан ташқин диффузия тезлашади.

Ультратовушнинг қаттиқ материалларни экстракциялашга таъсирини (13.12- расм, г) қуйидагича гушунтириш мумкин. Ультратовуш

Бу ўлчамларни назарий йўл билан топиш учун концентрациялар ўзгариши поғоналарининг сони аниқланилади. 13.11- расмда концентрациялар поғонасини аниқлаш йўли кўрсатилган.  $x - y$  координаталарида мувозанат чизиги диагональ чизикни ташкил қилади. Иш чизиги эса бошланғич  $y_0$ ,  $x_0$  ва охириги  $x_0$ ,  $y_0$  концентрациялар бўйича чизилади. Ушбу диаграмма бўйича концентрациялар поғонасининг сони 3 га тенг. Экстракторнинг иш баландлигини топиш учун концентрациялар поғонасининг сони эквивалент баландлик  $h_{\text{эқв}}$  қийматига кўпайтирилади. Масалан, ичи-



13.12- расм. Экстракция процессининг тезлигини интенсивлаш:  
 а) кундаланг тебранш; б) пульсация; в) вибрация; г) ультратовуш таъсирида; д) электр яшиклари ёрдамида; е) оқим тезлигини даврий ўзгартириш билан.

таъсирида кавитация ҳодисаси содир бўлади, бу эффект ёрдамида қаттиқ материал ғовакларидаги кичик оқимларнинг ҳаракати тезлашади, натижада қаттиқ фаза ичидаги модданинг тарқалиши ўзгаради. Ультратовуш майдонида муҳитнинг исиши ва уни аралаштириш эффектлари ҳам пайдо бўлади, бироқ бу эффектларнинг экстракциялаш процессига таъсири сезиларли даражада эмас. Шундай қилиб, ультратовуш асосан қаттиқ фаза ичидаги модда ўтказувчанликни тезлатади.

Электр яшинлари ёрдамида экстракциялаш процессини тезлатиш усули (13.12- расм. д) бир қатор афзалликларга эга. Бу усул ёрдамида электр энергияси тўғридан-тўғри суюқликнинг тебранма ҳаракат энергиясига айланади, бу бир поғонали процесс бўлиб, катта фойдали иш коэффицентига эга. Суюқлик фазасида ҳар қандай частотали ва амплитудали акустик тебранишларни ҳосил қилиш мумкин. Агар катта амплитудали ва кичик частотали тебранишлар ҳосил қилинса, бунда суюқликнинг қаттиқ заррачани айланиб ўтиш тезлиги кўпаяди,

натижада ташқи диффузион қаршилик камаяди. Электр яшинлари таъсирида суюқликда плазмали каверна ҳосил бўлади, бу каверна процесс давомида кенгайиб бориб, максимал ҳажмга етгач, ёрилиб кетади, натижада вибрация тебраниши вужудга келади.

Трубанинг кўндаланг кесими даврий равишда ўзгартирилганда (13.12- расм, е) қаттиқ ва суюқ фазаларнинг тезликлари ҳам ўзгариб туради. Ўзгарувчан суюқлик оқимида ҳаракат қилаётган қаттиқ заррача трубанинг тор кесимида тез ҳаракат қилаётган суюқликдан орқада қолади. Трубанинг кенг кесимига ўтганда қаттиқ заррача секин оқаётган суюқликдан ўтиб кетади. Натижада қаттиқ фаза юзасидан суюқликка модда бериш процесси бирмунча тезлашади.

Экстракциялашни тезлатишда эритувчини қайнаган ҳолда ишлатиш энг кам ўрганилган усул ҳисобланади. Агар муҳитлар (эритувчи ва суюқ фазага ўтаётган компонент) ларнинг зичликлари бир-бирига яқин бўлса, вакуум остида эритувчини қайнаган ҳолда ишлатиш бир қатор афзалликларга эга. Ҳосил бўлган буғ пуфакчалари бир хил тезлик билан қатламнинг бутун ҳажми бўйича тарқалади ва қатламнинг ҳамма жойларида бир хил шароит яратилади. Бу процессда янги фаза (буғ пуфакчалари) мавжуд бўлади. Янги фазанинг фарқлиги ўзаро таъсир қилаётган асосий фазалар зичликларидан зич-қилиди, натижада қаттиқ заррача ва суюқликнинг нисбий ҳаракатлари анча тезлашиб кетади. Қаттиқ фаза ва эритувчи массаларининг нисбати бир хилда туриши учун қайнаш пайтида ҳосил бўлган буғлар совиткичда конденсацияланади ва сўнгра экстракторнинг қайнаш камерасига қайтарилади. Эритувчини қайнаган ҳолда ишлатиш орқали экстракциялашни тезлатишнинг асосий сабаби процесснинг кетиши пайтида қаттиқ заррачалар актив юзасининг кўпайишидир.

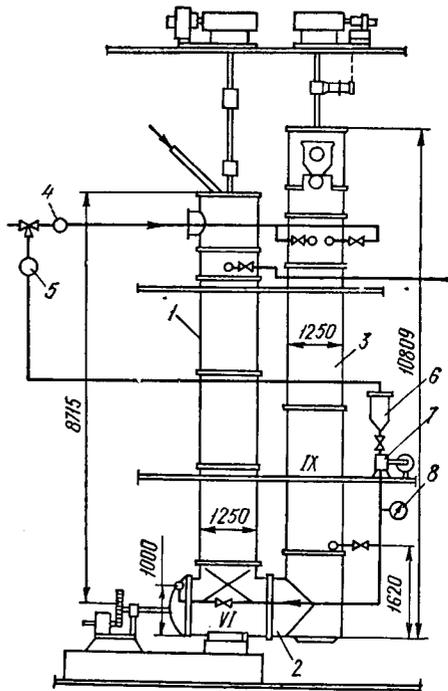
Электромагнит майдон таъсирида қаттиқ материалларни экстракциялаш процессини тезлатишни қуйидагича тушунтириш мумкин. Электромагнит кучлар таъсир эттирилганда ажралаётган компонент ва эритувчининг молекулалари қутбланади, суюқ фазанинг диэлектрик ўтказувчанлиги ортади. Лоренц кучлари пайдо бўлади. Натижада қаттиқ заррачалар юзасидаги соф чегара қатлам қалинлиги камаяди ва қаттиқ фазадаги ички диффузия коэффициентини ортади, бу сабаблар экстракциялаш процессини тезлатишга олиб келади.

Тошкент Политехника институти қошидаги «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасида кунжара ва эзилган чигит маъзидан пахта ёғини экстракциялаш процессларини пульсация ва вибрация тебранишлари ҳамда электромагнит майдон таъсирида тезлатиш усуллари таклиф этилди. Тажриба натижалари шуни кўрсатдики, механик тебранишлар ёрдамида кунжарадан пахта ёғини ажратиб олиш процессини 1,5—3,0 марта тезлатиш мумкин экан. Эзилган чигит маъзидан магнит майдон таъсирида эритувчи ёрдамида пахта ёғи олинганда процесс 1,5—1,6 марта тезлашади, хом ашёдан госсипол деб аталадиган модданинг ажралиб чиқиши эса 1,6—1,9 марта тез кетади.

Мисол тариқасида 13.13- расмда саноат миқёсида ишлатиладиган 1250 шнекли экстракторда борадиган процессни пульсация тебранишлари ёрдамида тезлатиш схемаси кўрсатилган. Бу схемага кўра,

экстракторга берилаётган эритувчининг бир қисми (0,5—1,0 м<sup>3</sup>/соат) пульсатор ёрдамида экстракциялаш колоннаси IX царгасининг пастки қисмига ва горизонтал шнекка (VI царга) берилади. Пульсатор сифатида оддий поршенли насос ишлатилган. Поршенли насоснинг ишлашида эритувчи келаётган трубадаги босим бир оз ўзгаради, бу ҳолни йўқотиш учун схемада оралиқ идиш кўзда тутилган. Пульсаторнинг оптимал кўрсаткичлари; иш унумдорлиги 0,5—1,1 м<sup>3</sup>/соат; тебранишлар частотаси минутига 100—150; тебранишлар амплитудаси 8—10 мм; ҳайдаш босими 196,1—294,2 кПа; талаб қилинадиган қувват 3 кВт.

Тажрибалардан шу нарса маълум бўлдики, экстракторга берилаётган эритувчининг тахминан 15 проценти аппаратнинг горизонтал қисмига берилса, мисцелла (ёғнинг эритувчидаги эритмаси) нинг концентрацияси 1—3% га кўпаяди, қолдиқ материал (кунжара)нинг ёғлилиги эса 0,2—0,6% га камаяди. Бундан ташқари, эритувчининг сарфини 20% га камайтириш мумкин бўлади.



13. 13-расм. Узлуксиз ишлайдиган шнекли экстракторда процесснинг тезлигини пульсация тебранишлари ёрдамида интенсивлаш:

1— юкланадиган колонна; 2— горизонтал узатувчи шнек; 3— экстракция колоннаси; 4, 5— сарф ўлчагичлар; 6— оралиқ идиш; 7— поршенли насос; 8— манометр.

## 14- боб. ҚУРИТИШ

### 14.1- §. Умумий тушунчалар

Қаттиқ ва пастасимон материалларни қуритувчи агент ёрдамида сувсизлантириш процесси *қуритиш* деб аталади. Бу процессда намлик қаттиқ фаза таркибидан газ (ёки буғ) фазасига ўтади.

Нам материалларни қуритиш процессини саноатда ташкил этиш катта аҳамиятга эга. Қуритилган материалларни транспорт воситасида узатиш арзонлашади, уларнинг тегишли хоссалари яхшиланади, аппарат ва трубаларнинг коррозияга учраши камаяди.

Материалларни уч хил усулда: механик, физик-химиявий ва иссиқлик ёрдамида сувсизлантириш мумкин.

Механик усул билан сувсизлантириш — таркибида кўп миқдорда сув тутган материалларни қуритиш учун ишлатилади. Бу усул билан сувсизлантиришда намлик сиқиш ёки центрифугаларда марказдан қочма куч ёрдамида ажратиб олинади. Одатда механик йўл билан намликни ажратиш — материалларни сувсизлантиришда биринчи босқич ҳисобланади. Механик сувсизлантиришдан сўнг материалда яна бир қисм намлик қолади, бу қолган намликни иссиқлик ёрдамида, яъни қуритиш йўли билан ажратиб чиқарилади.

Физик-химиявий усул билан материалларни сувсизлантириш лаборатория шароитларида ишлатилади. Бу усул сувни ўзига тортувчи моддалар (масалан, сульфат кислота, кальций хлорид) дан фойдаланишга асосланган. Ёпиқ идиш ичида сувни тортувчи модда устига нам материал жойлаштириш йўли билан уни сувсизлантириш мумкин.

Иссиқлик таъсирида сувсизлантириш (қуритиш) химия саноатида кенг ишлатилади. Қуритиш кўпчилик ишлаб чиқаришларнинг охириги, яъни тайёр маҳсулот олишдан олдинги процесс ҳисобланади. Айрим ишлаб чиқаришларда материалларни сувсизлантириш икки босқичдан иборат бўлиб, намлик аввал арзон процесс ҳисобланган механик усул билан, сўнгра қолган намлик эса қуритиш йўли билан ажратилади. Материал таркибидан намликни бундай мураккаб йўл билан ажратиш усули процесснинг самарадорлигини оширади.

Қуритиш икки хил (табiiй ва сунъий) йўл билан олиб борилади. Материалларни очиқ ҳавода сувсизлантириш *табiiй қуритиш* дейилади, бу процесс узоқ вақт давом этади. Химия саноатида материалларни сувсизлантириш учун сунъий қуритиш усули ишлатилади, бу процесс махсус қуриткич қурилмаларида олиб борилади.

Иссиқлик ташувчи агентнинг қуритилаётган материал билан ўзаро таъсирлашув усулига кўра қуритиш қуйидаги турларга бўлинади:

1) конвектив қуритиш — нам материал билан қуритувчи агент тўғридан-тўғри ўзаро аралашади;

2) контактли қуритиш — иссиқлик ташувчи агент ва нам материал ўртасида уларни ажратиб турувчи девор бўлади;

3) радиацияли қуритиш — иссиқлик инфрақизил нурлар орқали тарқалади;

4) диэлектрик қуритиш — материал юқори частотали ток майдо-нида қиздирилади;

5) сублимацияли қуритиш — материал музлаган ҳолда, юқори вакуум остида сувсизлантирилади.

Охириги учта усул саноатда нисбатан кам ишлатилади ва одатда қуритишнинг махсус усуллари деб юритилади.

Қуритишнинг турларидан қатъи назар, процесс давомида материал нам газ (кўпинча ҳаво) билан ўзаро таъсирлашиб туради. Конвектив қуритиш усули саноатда кенг ишлатилади, бу процессни амалга ошириш учун материалга нам ҳаво таъсирининг аҳамияти катта. Шу сабабли нам ҳавонинг асосий параметрларини ўрганиш муҳим ҳисобланади.

## 14.2- §. Нам ҳавонинг асосий параметрлари

Нам ҳаво қуруқ ҳаво ва сув буғларининг аралашмасидан иборат. Қуритиш процессида нам ҳаво намлик ва иссиқлик ташувчи агент вазифасини бажаради. Айрим шароитларда тутунли газлар ёки уларнинг ҳаво билан аралашмаси ишлатилади, бироқ нам ҳаво ва тутунли газларнинг физик хоссалари бир-биридан фақат сон қиймати бўйича фарқ қилади.

Нам ҳавонинг асосий хоссалари қуйидаги параметрлар билан белгиланади: абсолют намлик, нисбий намлик, нам сақлаш, энтальпия.

*Абсолют намлик.* Нам ҳавонинг ҳажм бирлигига тўғри келган сув буғларининг миқдори *абсолют намлик* деб аталади ва  $\rho_{с.б}$  (кг/м<sup>3</sup>) билан белгиланади. Агар нам ҳаво совитилиб борилса, маълум температурага етгач, намлик шудринг сифатида ажрала бошлайди. Намликнинг бундай ҳолатда ажрალიшига тўғри келган температурага *шудринг нуқтаси* деб аталади. Бундай шароитда ҳаво таркибида максимал миқдорда сув буғи бўлади. Ҳавонинг тўйиниш пайтидаги абсолют намлиги  $\rho_T$  (кг/м<sup>3</sup>) орқали ифодаланади.

*Нисбий намлик.* Ҳаво абсолют намлигининг тўйиниш пайтидаги абсолют намликка нисбати *нисбий намлик* деб аталади. Ҳавонинг нисбий намлиги (тўйиниш даражаси) процент ҳисобида қуйидаги ифода бўйича топилади:

$$\varphi = \frac{\rho_{с.б}}{\rho_T} = \frac{P_{с.б}}{P_T}; \quad (14.1)$$

бу ерда  $P_{с.б}$  — текширилаётган нам ҳаводаги сув буғларининг парциал босими, Па;  $P_T$  — берилган температура ва умумий барометрик босимда тўйинган сув буғларининг босими, Па.

Нисбий намлик ҳавонинг муҳим хоссаси ҳисобланади. Ҳаво таркибида намлик қанча кам бўлса, бундай ҳаво қуритиш процессида шунча самарали ишлатилади. Намлик билан тўйинган ҳаводан қуритувчи агент сифатида фойдаланиш мумкин эмас.

Нисбий намликни аниқлаш учун психрометрдан фойдаланилади. Психрометр иккита термометрдан иборат бўлиб, битта термометрнинг шарчаси доим ҳўллаб турилади ва у ҳўл термометр деб юритилади.

Иккинчиси эса қуруқ термометр деб аталади.

Қуруқ ва ҳўл термометрлар кўрсатишларининг айирмаси  $\Delta t = t_k - t_x$  температураларнинг психрометрик айирмаси дейилади. Нисбий намлик қанча кам бўлса, ҳўл термометр шарчаси юзасида сувнинг буғланиши шунча тез боради, натижада шарча тезлик билан совийди. Шу сабабли ҳавонинг нисбий намлиги қамайиши билан температураларнинг психрометрик айирмаси кўпаяди. Бу айирма  $\Delta t$  асосида ва психрометрик жадваллар ёки диаграммалар ёрдамида ҳавонинг намлиги топилади.

*Нам сақлаш.* 1 кг абсолют қуруқ ҳавога тўғри келган сув буғларининг миқдори *ҳавонинг нам сақлаши* деб юритилади. Бу параметр  $x$  (кг/кг) ёки  $d$  (г/кг) билан белгиланади. Ҳавонинг нам сақлаши қуйидаги нисбат орқали топилади.

$$x = \frac{m_{с.б}}{m_{кк}} = \frac{\rho_{с.б}}{\rho_{кк}}, \quad (14.2)$$

бу ерда  $m_{сб}$  — нам ҳавонинг берилган ҳажмидаги сув буғлари массаси;  $m_{кк}$  — нам ҳавонинг берилган ҳажмидаги абсолют қуруқ ҳавосининг массаси;  $\rho_{кк}$  — абсолют қуруқ ҳавонинг энчилиги.

*Нам ҳавонинг энтальпияси.* Нам ҳавонинг энтальпияси  $I$  (Ж/кг қуруқ ҳаво) қуруқ ҳаво энтальпияси билан шу нам ҳавода бўлган сув буғининг энтальпияси йиғиндисига тенг:

$$I = c_{кк} \cdot t + x i_{y.б}; \quad (14.3)$$

бу ерда  $c_{кк}$  — қуруқ ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифими; (Ж/кг·К);  $t$  — ҳаво температураси, °С;  $i_{y.б}$  — ўта қиздирилган буғнинг энтальпияси, Ж/кг.

Ўта қиздирилган буғнинг энтальпияси  $i_{y.б}$  (Ж/кг) термодинамикада қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$i_{y.б} = r + c_б \cdot t, \quad (14.4)$$

бу ерда  $r = 0^\circ\text{C}$  даги буғнинг энтальпияси,  $r = 2493 \cdot 10^3$  Ж/кг;  $c_б$  — буғнинг солиштирма иссиқлик сифими,  $c_б = 1,97 \cdot 10^3$  Ж/(кг·К).

Агар қуруқ ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифими  $1000$  Ж/(кг·К) деб олинса, (14.3) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I = 1000 \cdot t + x \cdot (2493 + 1,97 \cdot t) \cdot 10^3 \text{ Ж/кг қуруқ ҳаво.} \quad (14.5)$$

Демак, нам ҳавонинг иссиқлик ушлаши (энтальпияси) нам ҳаво таркибида бўлган қуруқ ҳавонинг  $1$  кг миқдорига нисбатан олинади.

### 14.3- §. Нам ҳавонинг диаграммаси

Нам ҳавонинг асосий хоссалари техник ҳисоблашлар учун зарур бўлган аниқлик билан  $\mathcal{I} - x$  диаграммаси ёрдамида топилиши мумкин. Бу диаграмма Л. К. Рамзин томонидан таклиф қилинган.  $\mathcal{I} - x$  диаграммасини тузишда босимнинг қийматини ўзгармас деб олинган, яъни  $P = 745$  мм симоб устуни ( $99$  кПа га яқин). Босимнинг бу қиймати кўп йиллик статистик маълумотларга кўра, СССРнинг марказий районлари учун ўртача йиллик босимни ташкил этади.

Диаграмманинг асосий ўқлари ораллигидаги бурчак  $135^\circ$  га тенг (14.1- расм). Асосий ўқларга нам ҳавонинг иккита асосий параметрлари — энтальпия  $\mathcal{I}$  (Ж/кг қуруқ ҳаво) ва нам сақлаш  $x$  (кг/кг қуруқ ҳаво) жойлаштирилган. Нам сақлашнинг қийматлари диаграммадан фойдаланиш қулай бўлиши учун ёрдамчи горизонтал ўққа жойлаштирилган. Бунда  $\mathcal{I} = const$  чизиқлар ордината ўқига нисбатан  $135^\circ$  бурчак билан маълум масштабда жойлаштирилган.  $x = const$  чизиқлар эса ёрдамчи абсцисса ўқига перпендикуляр қилиб жойлаштирилган.

$\mathcal{I} - x$  диаграммасига асосий чизиқлардан ташқари қуйидаги чизиқлар ҳам жойлаштирилган; ўзгармас температура чизиқлари ёки изотермалар ( $t = const$ ), ўзгармас нисбий намлик чизиқлари  $\phi = const$  сув буғининг парциал босими чизиғи.

$\varphi = 100\%$  чизиғи диаграммани икки қисмга бўлади. Бу чизиқнинг тепа қисми диаграмманинг иш юзаси деб аталади ва у тўйинмаган нам ҳавога тўғри келади. Тўйинмаган нам ҳаво қуритувчи агент сифатида ишлатилади.  $\varphi = 100\%$  чизиғининг пастки қисмида жойлашган юза сув буғи билан тўйинган ҳавога тўғри келади ва қуриткичларни ҳисоблашда ишлатилмайди.

Температура  $99,4^\circ \text{C}$  га етганда тўйинган буғнинг босими ўзгармас барометрик босим қиймати ( $P = 745 \text{ мм}$  симоб устуни) га тенг бўлиб қолади, натижада нисбий намлик  $\varphi$  температурага боғлиқ бўлмайди. Бундай шароитда  $\varphi$  намлик сақлаш  $x$  каби амалий жиҳатдан ўзгармас қийматни эгаллайди. Шу сабабли  $t = 99,4^\circ \text{C}$  бўлганда  $\varphi = \text{const}$  чизиғи кескин бурилади ва юқорига вертикал бўлиб йўналади (бу ҳолат 14.1-расмда кўрсатилган).

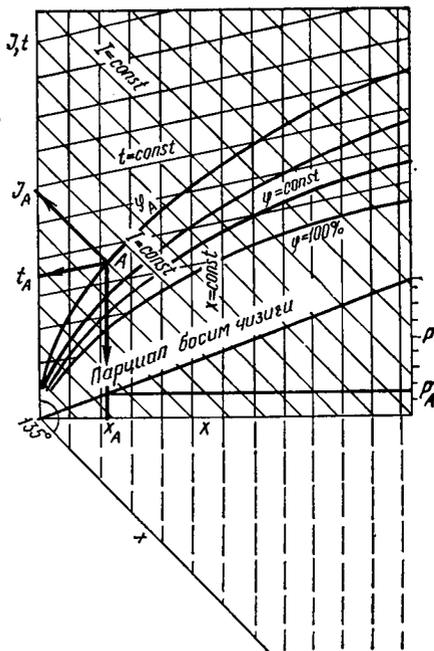
$\mathcal{T}$ - $x$  диаграммаси ёрдамида нам ҳавонинг исталган иккита параметри бўйича унинг ҳолатини белгиловчи нуқта (масалан,  $A$  нуқта) топилади, сўнгра бу нуқта ёрдамида нам ҳавонинг қолган параметрларини аниқлаш мумкин.

Сув буғининг парциал босими чизиғи диаграмманинг пастки қисмига жойлаштирилган. Агар диаграммада нам ҳавонинг ҳолатини белгиловчи нуқта маълум бўлса, сув буғининг парциал босими қиймати  $p_a$  ни аниқлаш мумкин.

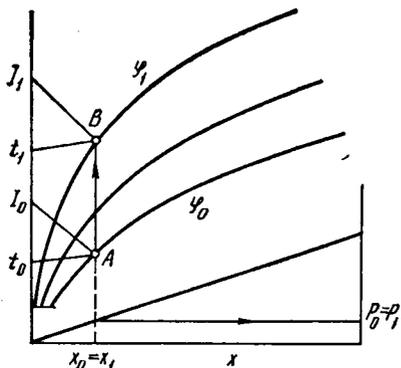
#### 14.4-§. Нам ҳаво ҳолатини диаграммада тасвирлаш

$\mathcal{T}$ - $x$  диаграммасида нам ҳаво билан боғлиқ бўлган исталган процессларни тасвирлаш мумкин.

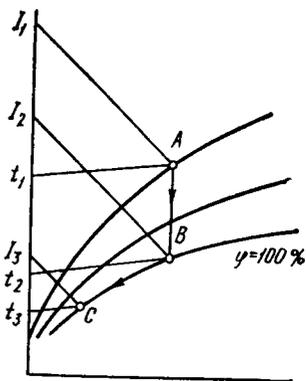
**Нам ҳавони иситиш.** Нам ҳавони сиртий иссиқлик алмашилини аппаратларида (калориферда) иситиш пайтида ҳавонинг намлик сақлаши ўзгармайди, шу сабабли ҳавони иситиш процесси  $x = \text{const}$  чизиғи билан ифодаланади (14.2- расм). Ҳавонинг дастлабки ҳолати  $A$  нуқта билан белгиланади, унинг температураси  $t_0$ , энтальпияси  $\mathcal{T}_0$  ва нисбий намлиги  $\varphi_0$ . Иситиш процесси  $AB$  чизиқ билан ифодаланади. Иситилган ҳавонинг температураси  $t_1$ , нисбий намлиги  $\varphi_1$ , энтальпияси эса  $\mathcal{T}_1$  га тенг. Бу расмдан кўриниб турибдики, иситиш пайтида ҳавонинг нисбий намлиги камаяди. Иситиш пайтида ҳавонинг ўзига қабул қил-



14.1-расм.  $\mathcal{T}$  -  $x$  диаграммаси.



14.2- расм. Ҳавонинг иссиқлиги  $\mathcal{I} - x$  диаграммада ифодалаш.



14.3- расм. Ҳавонинг совитиши  $\mathcal{I} - x$  диаграммада ифодалаш.

ган иссиқлик миқдори диаграмма ёрдамида топилиши мумкин:  $\mathcal{I}_1 - \mathcal{I}_0 = \Delta \mathcal{I}$  (Ж-кг қуруқ ҳаво).

Нам ҳавони совитиш. Агар ҳавонинг дастлабки ҳолати  $A$  нуқта билан белгиланса, уни сиртий иссиқлик алмашилини аппаратида (совиткичда) совитиш процесси ҳам  $x = const$  чизиқ билан ифодаланади (14.3- расм). Диаграммада ҳавони совитиш процесси  $AC$  чизиқ билан белгиланган. Совитиш пайтида ҳавонинг нисбий намлиги ортиб боради.  $C$  нуқтада ҳавонинг нисбий намлиги  $\phi = 100\%$  бўлади. Ҳавони совитиш натижасида ажралиши мумкин бўлган иссиқлик  $\mathcal{I}_1 - \mathcal{I}_2$  га тенг (Ж-кг қуруқ ҳаво).

Совитиш процесси яна давом эттирилса, сув буғларининг конденсацияланиши бошланади.  $B$  нуқтага тўғри келган температура шудринг нуқтасининг температураси  $t_2$  деб аталади. Ҳавонинг ўта совитилиши пайтида ундан ортиқча намлик ажралиб чиқади, бироқ нисбий намлик ўзгармайди ( $\phi = 100\%$ ). Ҳавонинг ўта совитилиш процесси  $BC$  чизиқ бўйича боради.  $C$  нуқтага тўғри келган температура  $t_3$  ва энтальпия  $\mathcal{I}_3$  диаграмма бўйича топилиши мумкин.

Турли параметрли ҳавони аралаштириш. Ҳолати  $A$  нуқта билан белгиланадиган ҳавони ҳолати  $B$  нуқтага тўғри келган ҳаво билан аралаштириш процессини кўриб чиқамиз (14.4- расм).  $A$  нуқтага тўғри келган нам ҳавонинг таркибида  $l$  кг абсолют қуруқ ҳаво бор деб оламиз. Ҳолати  $B$  нуқта билан белгиланадиган нам ҳавонинг таркибида эса  $n$  кг абсолют қуруқ ҳаво бор деб ҳисобланади. Бунда аралашманинг энтальпияси:

$$I_{ap} = \frac{I_0 + n \cdot I_2}{1 + n} I_{ap} - I_0 = n(I_2 - I_{ap}). \quad (14.6)$$

Аралашманинг нам сақлаши:

$$x_{ap} = \frac{x_0 + n x_2}{1 + n}; \quad x_{ap} - x_0 = n(x_2 - x_{ap}). \quad (14.7)$$

Охирги тенгламани  $n$  га нисбатан ечамиз;

$$n = \frac{x_{ap} - x_0}{x_2 - x_{ap}} \quad (14.8)$$

(14.6) тенгламани (14.7) тенгламага ҳадлари б ўйича бўлиб қуйидаги ифодани оламиз:

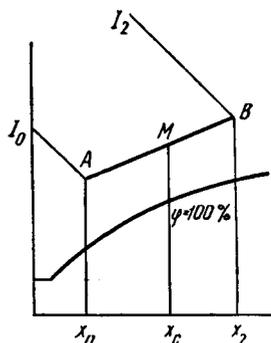
$$\frac{I_{ap} - I_0}{x_{ap} - x_0} = \frac{I_2 - I_{ap}}{x_2 - x_{ap}} \quad (14.9)$$

Бу  $A$  ва  $B$  нуқталардан ўтадиган тўғри чизиқ тенгламасини ифодалайди (14.4- расм). Аралашманинг ҳолати  $M$  нуқта билан ифода қилинади, бу нуқта  $AB$  тўғри чизиқни икки қисмга қуйидаги нисбатда бўлади:

$$\frac{MA}{MB} = \frac{x_{ap} - x_0}{x_2 - x_{ap}} = \frac{n}{1} \quad (14.10)$$

$MA$  ва  $MB$  кесмаларнинг қиймати  $A$  ва  $B$  ҳолатларга тўғри келган нам ҳаволар таркибидаги қуруқ ҳаволар массаларига тескари пропорционалдир.

14.4- расмда кўрсатилган аралашманинг ҳолати (яъни  $M$  нуқта)  $\varphi = 100\%$  чизиқнинг тепасида жойлашган. Бундай шароитда ҳаво таркибидаги сув буғлари конденсацияланмайди. Айрим шароитларда  $M$  нуқта тўйиниш чизиғининг пастки қисмида жойланиши мумкин, бунда турли параметрли ҳаволарнинг аралашishi натижасида сув буғлари конденсацияланади ва шудринг ажралиши рўй беради.



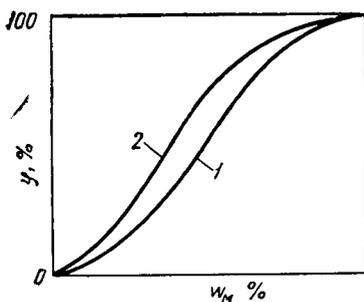
14. 4- расм. Турли параметрларга эга бўлган ҳавонинг аралашishi диаграммада тасвирлаш.

#### 14.5- §. Қуритиш процессининг мувозанати

Қаттиқ материал ва нам ҳаво ўзаро таъсир эттирилганда асосан икки хил процесс содир бўлади: 1) қуритиш (материалдан намликнинг десорбцияланиши, агар  $P_m > P_x$ ); 2) намланиш (намликнинг материал томонидан сорбцияланиши, агар  $P_m < P_x$ ); бу ерда  $P_m$  — буғнинг материал юзасидаги парциал босими,  $P_x$  — буғнинг ҳаво ёки газдаги парциал босими).

Қуритиш пайтида  $P_m$  нинг қиймати камаяди ва  $P_m = P_x$  чегарасига яқинлашиб боради. Бундай ҳолат динамик мувозанат ҳолати деб аталади, материалнинг бу мувозанат ҳолатига тўғри келган намлиги мувозанат намлик дейилади.

Материалнинг мувозанат намлиги  $W_m$  сув буғининг материал устидаги парциал босимига ёки унга пропорционал бўлган ҳавонинг нисбий намлигига боғлиқ ва у тажриба йўли билан топилади.  $W_m = f(\varphi)$  функция ўзгармас температура шароитида аниқланади, шу сабабли у изотермани ташкил қилади. 14.5- расмда 1- эгри чизиқ нам материал-



14. 5- расм. Материал намлиги билан ҳавонинг нисбий намлигининг ўзаро боғлиқлиги:

1— десорбция изотермаси; 2— ютилиш изотермаси.

дагига нисбатан катта бўлиши зарур. Гистерезиснинг ҳосил бўлишига асосий сабаб — қуритилган материалнинг капиллярларида ҳаво кириб, бу ҳавонинг капиллярлар деворларида сорбцияланишидир. Натижада материал қайтадан намланганда унинг намлик билан ҳўлланиш даражаси камаяди ва ҳавони капиллярлардан сиқиб чиқариш учун сув буғининг катта парциал босими (ёки катта нисбий намлик  $\phi$ ) керак бўлади.

Қуритиш процессининг механизми маълум даражада намликнинг материал билан боғланиш турига боғлиқ. Қуритиш пайтида намликнинг материал билан боғланиши бузилади. П. А. Ребиндер томонидан намликнинг материал билан таъсирининг уч (химиявий, физик-химиявий, физик-механик) тури таклиф қилинган.

Химиявий усулда материал намлик билан таъсирлашганда жуда мустаҳкам ва маълум нисбатларда бирикма ҳосил бўлади. Бу намликни материалдан ажратиш учун юқори температуралар таъсирида қиздириш ёки химиявий реакция йўли билан таъсир қилиш керак. Қуритиш процессида бундай намликни материалдан чиқариш мумкин эмас.

Қуритиш процессида одатда материалдан физик-химиявий ва физик механик усуллар билан таъсирлашган намликлар ажратиб чиқарилади. Механик усул билан бириккан намлик материалдан жуда тез чиқиб кетади. Бундай намлик модданинг капиллярларида ва унинг юзасида жойлашган бўлади. Механик усул билан бириккан намлик ўз навбатида икки хил бўлади: макрокапиллярларнинг намлиги (капиллярларнинг ўртача радиуси  $r_{ур} 10^{-5}$  см дан катта); микрокапиллярларнинг намлиги ( $r_{ур} < 10^{-5}$  см). Модда юзасидаги жойлашган намлик ҳўлланиш намлиги деб юритилади. Механик бириккан намлик эркин намлик деб аталади ва бундай намликни материалдан механик усуллар (масалан, сиқиш) ёрдамида ажратиш мумкин.

Физик-химиявий йўл билан бириккан намлик икки турга (адсорбцион ва осмотик бириккан намликларга) бўлинади. Адсорбцион намлик материалнинг юзасида ва унинг ғовакларида, молекулаларнинг куч майдони таъсирида мустаҳкам бириккан бўлади. Осмотик

ни қуритиш процесси учун ҳосил қилинган ва у десорбцияланиш изотермаси деб аталади. 2- эгри чизик эса қуруқ материални намлаш учун ҳосил қилинган, у сорбцияланиш изотермаси дейилади.

Сорбцияланиш изотермаси десорбцияланиш изотермасининг устида жойлашган бўлади. 1- ва 2- эгри чизикларнинг бир-биридан фарқи гистерезис деб аталади. Гистерезис ҳодисасидан шу хулоса келиб чиқадики, бир хил қўйматга эга бўлган мувозанат намликка эришиш учун ҳавонинг нисбий намлиги материални намлаш процессида уни қуритиш-

бириккан намлик бўкиш намлиги деб ҳам аталади, бу намлик материалларнинг тўқималарида осмотик кучлар таъсирида боғланган бўлади. Адсорбцион намликни материалдан ажратиш учун бўкиш намлигини ажратишга нисбатан бир оз катта энергия талаб қилинади. Коллоид ва полимер материалларда адсорбцион ва осмотик усул билан бириккан намлик мавжуд бўлади. Материал таркибида физик-химиявий йўл билан ушлаб турилган намлик боғланган намлик деб юритилади.



14.6- расм. Қуриш процессида материал намлигининг ўзгариши.

14.6- расмда қуритиш пайтидаги материал намлигининг ўзгариши кўрсатилган. Намлик  $W_1$  дан  $W_r$  гача ўзгарганда материал ўзида эркин намликни тутати. Бу I соҳада материал нам ҳолатда бўлади. I соҳада материалдан эркин намлик ажратиб чиқарилади. Намлик  $W_r$  дан  $W_m$  гача ўзгарганда материал ўзида боғланган намликни ушлайди. II соҳада материал гигроскопик ҳолатда бўлади. A нуқта гигроскопик нуқта деб аталади ва бу нуқтага тўғри келган намлик гигроскопик намлик  $W_r$  дейилади. A нуқта  $\phi = 100\%$  га тўғри келади. II соҳада материалдан боғланган намлик ажратиб чиқарилади.

Гигроскопик намлик  $W_r$  материалдаги эркин ва боғланган намликлар чегарасига тўғри келади. Материалдан эркин намликни ажратиб чиқариш учун ҳар қандай нисбий намликдаги (фақат  $\phi < 100$ ) ҳаводан фойдаланиш мумкин. Боғланган намликни материалдан чиқариш учун керакли миқдордаги нисбий намликка эга бўлган ҳаво ишлатиш зарур. Бунда фақат материалнинг намлиги мувозанат намлик  $W_m$  дан катта бўлиши керак. Материалнинг зарур бўлган охириги намлигига қараб ҳавонинг нисбий намлиги танланади. 14.6- расмда материални қуритиш мумкин бўлган зона штрихлаб кўрсатилган. Мувозанат намлиги эгри чизигининг тепасидаги зонада материални фақат намлаш мумкин, бу зонада материални қуритиш мумкин эмас.

#### 14.6- §. Қуритиш процессининг кинетикаси

Материалларни қуритиш процессида намликни йўқотиш мураккаб процесслардан ҳисобланади. Аввал намлик материалнинг ички қисмларидан унинг юзасига тарқалади, сўнгра намлик материал юзасидан буғланиб қуритувчи агент (ҳаво) таркибига ўтади ва қуриткичдан ташқарига чиқиб кетади. Материал таркибидан намликнинг буғланиб чиқиш интенсивлиги  $m$  материал юзаси бирлиги  $F$  дан вақт бирлиги ичида буғланган намликнинг миқдори билан ўлчанади:

$$m = \frac{W}{F \cdot \tau}; \quad (14.11)$$

бу ерда  $W$  — қуритиш пайтида материалдан ажралиб чиққан намлик массаси;  
 $\tau$  — қуритишнинг умумий вақти.

Намликнинг буғланиш интенсивлиги нам материал ва атроф-муҳит ўртасидаги иссиқлик ва модда алмашилиш механизмига боғлиқ. Бу механизм жуда мураккаб бўлиб, икки босқичдан иборат; а) намликнинг материал ичида силжиши; б) материал юзасидан намликнинг буғланиши.

**Намликнинг материал юзасидан буғланиши.** Бу процесс асосан буғнинг қаттиқ материал юзасидан ҳавонинг чегара қатлами орқали диффузия йўли билан ўтишидан иборат. Материалнинг юзасидан намликнинг буғланиш йўли билан ҳаво оқимига ўтиши ташқи диффузия деб аталади. Ташқи диффузия ёрдамида намликнинг тахминан 90 проценти тарқалади. Материал юзасидан атроф-муҳитга намлик буғ ҳолатида ўтади. Ташқи диффузиянинг ҳаракатлантирувчи кучи материал юзасидаги ва атроф-муҳитдаги концентрациялар ёки парциал босимлар айирмаси  $P_m - P_x$  билан ифодаланади.

Диффузия оқимидан ташқари намлик термодиффузия йўли билан ҳам тарқалади. Термодиффузия ҳодисаси чегара қатламда температуралар айирмасининг таъсири натижасида юз беради. Конвектив қуритиш процесси нисбатан паст температураларда олиб борилса, термодиффузия орқали тарқалган намликнинг миқдори жуда кичик бўлади.

Қуритиш тезлиги ўзгармас бўлган биринчи даврда материалнинг намлиги гигроскопик намликдан катта бўлади, материал юзасидаги буғ эса тўйинган бўлади ( $P_m = P_t$ ). Бу даврда намлик материалнинг юзасига унинг ички қисмларидан катта тезлик билан силжийди. Материал юзасидан намликнинг берилиши қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$m = \beta (P_t - P_x) \frac{760}{B}; \quad (14.12)$$

бу ерда:  $\beta$  — модда бериш (ёки намлик бериш) коэффициенти;  $P_t$  — материал юзасидаги тўйинган буғнинг парциал босими;  $P_x$  — буғнинг ҳаводаги парциал босими;  $B$  — барометрик босим.

(14.12) тенгламадаги  $P_t$ ,  $P_x$  ва  $B$  катталиклар Па (паскаль) ёки мм сымоб устуни ҳисобида ўлчанади.

Намлик бериш коэффициенти  $\beta$  нинг қиймати ҳавонинг тезлигига, қуритувчи агентнинг материал юзасини айланиб ўтиш шаронтига, материалнинг шакли ва унинг ўлчамига, қуритиш температурасига ва бошқа параметрларга боғлиқ. Бу коэффициент тегишли критериал тенгламалар ёрдамида топилади.

**Намликнинг материал ичида силжиши.** Материалнинг ташқи юзасидан намликнинг буғланиши натижасида материал ичида намлик градиенти пайдо бўлади, бу градиент таъсирида материалнинг ички қатламларидан унинг юзасига қараб намликнинг бундай ҳаракати ички диффузия деб аталади. Қуритишнинг биринчи даврида (қуритиш тезлиги ўзгармас бўлганда) материал ичидаги намликнинг ўзгариши катта бўлади, бунда қуритиш тезлигига асосан материал юзасидан намликнинг буғланиш тезлиги (яъни ташқи диффузия) таъсир

қилади. Бироқ материал юзасидаги намлик камайиб бориб гигроскопик намликка етганда ва ундан кейин ҳам камайиши давом этса, яъни қуритишнинг иккинчи даврида процесснинг тезлигига асосан ички диффузия таъсир қилади. Қуритишнинг иккинчи даврида процесснинг тезлиги доим камайиб боради.

Қуритишнинг биринчи даврида материал ичидаги намлик (капиллярлардаги намлик ва осмотик бириккан намлик) суюқлик кўринишида тарқалади. Иккинчи даврнинг бошланиши, яъни қуритиш тезлигининг бир меъёрада камайишида материал юзасининг айрим жойларида ҳар хил шаклдаги чуқур зоналар пайдо бўлади ва материалнинг ичида буғланиш юз беради. Бунда капиллярлардаги намлик ва адсорбцион бириккан намликнинг бир қисми материалнинг ичида буғ ҳолида силжийди.

Кейинчалик материалнинг юза қатлами тўла қуриб бўлгандан сўнг, буғланишнинг ташқи юзаси борган сари материалнинг геометрик юзасидан камайиб кетади. Бундай шароитда намликнинг ички диффузия ёрдамида силжишининг аҳамияти ортади. Иккинчи даврнинг қуритиш тезлиги турлича камайдиган босқичда материал билан мустаҳкам боғланган адсорбцион намлик қаттиқ фазалар ичида фақат буғ ҳолида тарқалади.

Намликнинг қаттиқ материал ичида тарқалиш ҳодисаси намлик ўтказувчанлик деб аталади. Намлик ўтказувчанликнинг интенсивлиги ёки намлик оқимининг зичлиги намлик концентрацияси градиентига пропорционалдир:

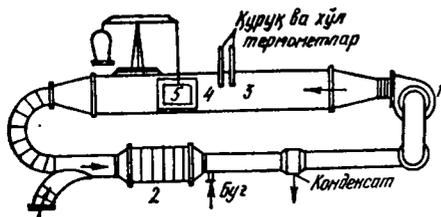
$$m = - D_m \frac{\partial c}{\partial n}; \quad (14.13)$$

бу ерда  $D_m$  — намлик ўтказувчанлик коэффициентини.

Бу ифоданинг ўнг томонидаги минус ишора намликнинг концентрацияси катта бўлган қатламдан концентрацияси кичик бўлган қатламга қараб силжишини кўрсатади.

Намлик ўтказувчанлик коэффициентини  $D_m$  нинг ( $m^2/\text{соат}$ ) физик маъноси намликнинг материалдаги ички диффузия коэффициентини ифодалайди ва иссиқлик ўтказиш процессларидаги температура ўтказувчанлик коэффициентига ўхшайди. Намлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати намликнинг материал билан бирикиш турига, қуритиш температурасига, материалнинг намлигига боғлиқ бўлиб, фақат тажриба йўли билан аниқланади.

Қуритишнинг айрим турларида (масалан, контакт, радиациялаш ёки диэлектрик усуллар ишлатилганда) материал қатламида намлик градиентидан ташқари, бирор қийматга эга бўлган температура градиенти ҳам пайдо бўлади. Температура градиенти таъсирида материал ичида иссиқлик оқимига параллел бўлган намлик оқими ҳосил бўлади. Бу ҳодиса иссиқлик таъсирида намлик ўтказувчанлик деб аталади. Иссиқлик таъсирида намлик ўтказувчанлик билан намликнинг ўтиш тезлиги иссиқлик ёрдамида намлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\delta$  орқали белгиланади. Намлик ва температура градиентлари таъсирида материалнинг ичидан ўтаётган намлик оқимлари бир-бирига



14. 7- расм. Лаборатория қурилмасининг схемаси:

1— вентилятор; 2— электр иситкич; 3— хўл термометр; 4— куруқ термометр; 5— тарози.

қарама-қарши йўналган бўлади. Конвектив қуритиш процессига иссиқлик таъсирида намлик ўтказувчанлик ҳодисасининг аҳамияти сезиларли эмас.

Қуритишнинг тезлиги ва даврлари. Қуритиш аппаратларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш учун қуритиш тезлигини билиш зарур. Қуритиш тезлиги  $u$  чексиз қисқа вақт  $dt$  давомида материал намлигининг камайиши  $dW$  орқали аниқланади:

$$u = \frac{dW}{d\tau}$$

Қуритиш тезлиги тажриба йўли билан лаборатория қурилмаларида топилади (14.7- расм). Бу қурилма вентилятор, электр иситкич, қуритиш камераси ва тарозидан ташкил топган. Электр иситкичда қиздирилган ҳаво вентилятор ёрдамида қуритиш камерасига берилади. Камеранинг эшикчаси орқали нам материал тарозининг бир палласига жойлаштирилади. Қуритиш процесси давомида материалнинг массаси (ёки намлиги) камайиб боради. Олинган тажриба натижалари асосида қуритиш эгри чизиғи чизилади. Қуриткичдан қуруқ ва хўл термометрлар ёрдамида ҳавонинг нисбий намлиги аниқланади.

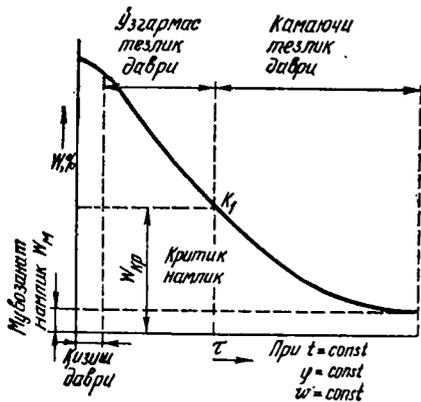
Материал намлиги  $W$  нинг вақт давоми  $\tau$  да ҳаво параметрлари ўзгармас бўлганда ( $t = const$ ,  $\varphi = const$ ,  $\omega = const$ ) олинган график боғлиқлиги *қуритиш эгри чизиғи* деб юритилади (14.8- расм).

Қуритиш процессининг бошланишида намлик ажралиб чиқиши билан бирга материал қизийди. Бу давр қисқа вақтни ташкил этади, қуритиш процесси эгри чизиқ бўйича ўзгаради. Материалнинг қизиши тамом бўлганидан сўнг қуритиш процесси тўғри чизиқ бўйича кетади. Бу даврда қуритиш процесси ўзгармас тезликка эга бўлади. Бу давр  $K_1$  нуқтада тамом бўлади, бу нуқтага материалнинг критик намлиги  $W_{кр}$  тўғри келади.

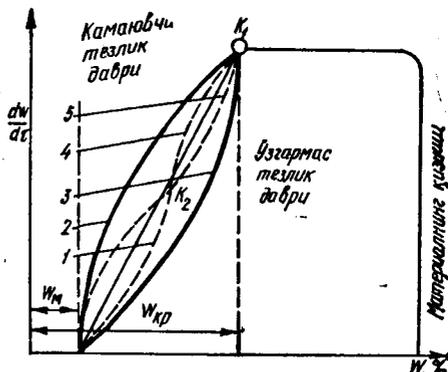
Биринчи даврда эркин намлик ажралиб чиқади.  $K_1$  нуқтадан сўнг қуритишнинг иккинчи даври бошланади, бу даврда материал таркибидан бириккан намлик ажралиб чиқади. II даврда қуритиш тезлиги доим камайиб боради, материалнинг намлиги эса мувозанат намликка яқинлашади. Қуритиш процессини мувозанат намликка қадар давом эттириш мумкин.

Қуритиш эгри чизиғи ҳосил қилинади. Эгри чизиқнинг исталган нуқтасига ўтказилган уринма оғиш бурчагининг тангенси қуритиш тезлигини ( $dW/d\tau$ ) ташкил қилади (14.9- расм). Горизонтал ўққа материал намлигининг қиймати (% ҳисобида), вертикал ўққа эса қуритиш тезлиги  $dW/d\tau$  нинг қиймати (масалан,  $\frac{\%}{\text{мин}}$ ) қўйилади.

I даврда қуритиш тезлиги горизонтал тўғри чизиқ бўлади, чунки бу даврда қуритиш тезлиги ўзгармас қийматга эга. II даврда қуритиш



14. 8- расм. Материал намлигининг вақт давомида ўзгариши.



14. 9- расм. Қуритиш тезлигининг эгри чизиғи.

тезлигининг чизиғи материалнинг турига ва намликнинг материал билан бирикиши турига кўра ҳар хил кўринишга эга бўлади. Бу даврда қуритиш тезлиги доим камайиб боради.

14.9- расмда турли материаллар учун қуритиш тезлигининг эгри чизиқлари келтирилган. Ҳамма эгри чизиқлар мувозанат намликка тўғри келган нуқтага келганда тугайди. Қуритиш тезлиги эгри чизиқларининг айримларида иккинчи критик нуқта ( $K_2$ ) мавжуд бўлади. Бу критик нуқта материалнинг шундай намлигига тўғри келадиги, бунда материалдан намликнинг силжиш характери ўзгаради. Кўпинча бу нуқта ( $K_2$ ) адсорбцион намлик ажралиб чиқишининг бошланishiга тўғри келади.

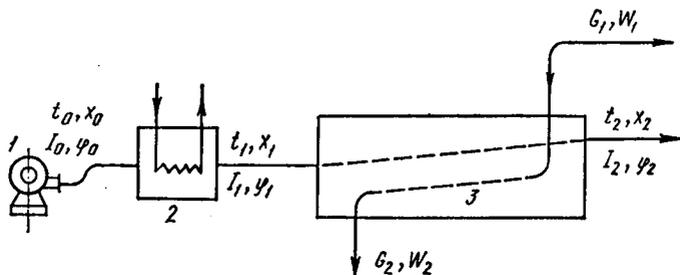
Қуритиш ва қуритиш тезлиги эгри чизиқларидан шу нарса кўриниб турибдики, қуритиш процесси икки даврга бўлинар экан. Тадқиқотлар натижасида шу нарса маълум бўлдики, биринчи даврда қуритиш тезлиги ўзгармас бўлса, иккинчи даврда эса қуритиш тезлиги доим камайиб боради.

Биринчи даврда қуритиш тезлиги асосан ташқи диффузияга боғлиқ бўлади. Бу даврда қуритувчи агентнинг тезлиги ва унинг параметрлари (нисбий намлик, температура) ҳисоблаш ишларида катта аҳамиятга эга. Материалнинг ичида намликнинг диффузияланиш тезлиги катта қийматга эга бўлади, бироқ бу ҳолат намликнинг материал юзасидан берилиш тезлигини белгиламайди.

Иккинчи даврда анча мураккаб процесс содир бўлади. Бу даврда боғланган намлик ажрала бошлайди. Қуритиш тезлиги асосан материал ичидаги намликнинг тарқалиш тезлигига боғлиқ. Шу сабабли иккинчи даврда қуритиш тезлигига материал таркиби билан боғлиқ бўлган параметрлар (қуритилаётган материалнинг шакли ва ўлчамлари; материалнинг намлиги, материалнинг намлик ўтказувчанлиги) таъсир кўрсатади. Қуритиш тезлигига ҳаво оқимининг тезлиги ва унинг параметрлари ҳам бир оз таъсир қилиши мумкин.

## 14.7- §. Қуритиш аппаратларининг ҳисоби

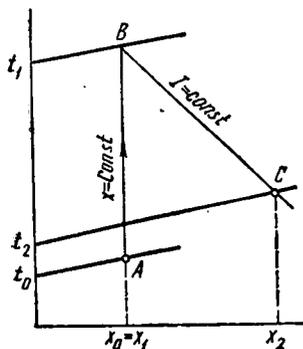
**Қуриткичларнинг назарий ҳисоби.** 14.10-расмда қуритиш қурилмасининг схемаси кўрсатилган. Бу қурилма вентилятор, иситкич (калорифер) ва қуритиш камерасидан иборат. Иситкичга кираётган ҳавонинг параметрларини  $I_0, t_0, \varphi_0, x_0$  билан белгилаймиз. Иситкичда ҳаво  $t_1$  температурагача қиздирилади, бунда унинг намлик сақлаши ўзгармайди ( $x_0 = x_1$ ), нисбий намлиги камаяди ( $\varphi_1$ ), энтальпияси ортади ( $I_1$ ). Шу параметрлар билан қизиган ҳаво қуритиш



14.10-расм. Қуритиш қурилмаси.

камерасига киради. Қуритиш камерасида ҳавога қўшимча иссиқлик берилмайди ва ҳаво ўзидаги иссиқликни йўқотмайди деб қабул қиламиз. Бу процесс назарий қуритиш деб аталади. Ҳаво орқали материалга берилган иссиқлик миқдори намликнинг материалдан буғланиши учун сарфланади ва ҳосил бўлган сув буғи орқали материалдан қайтади деб қабул қилинади. Назарий қуритишда ҳавонинг энтальпияси ўзгармай қолади ( $I = const$ ).

Қуриткичдан чиқаётган ҳавонинг параметрлари  $t_2, \varphi_2, I_2, x_2$ , би-роқ  $I_2 = I_1; x_2 > x_1; t_2 < t_1; \varphi_2 > \varphi_1$ . Схемадан кўри-ниб турибдики, нам материалнинг массаси  $G_1$  (кг/соат), унинг намлиги  $W_1$  (%), қури-ган материалнинг массаси  $G_2$  (кг/соат) ва унинг намлиги  $W_2$  (%).

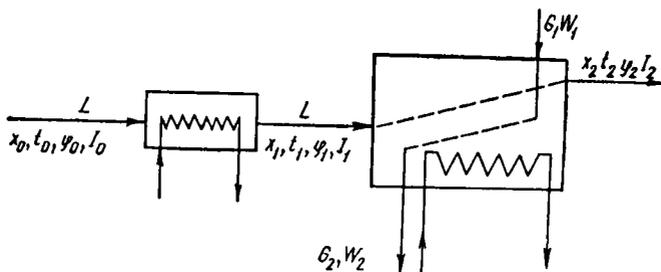


14.11-расм. Қуритиш процессининг  $I - x$  диаграммада ифодаланиши.

14.11-расмда қуритиш процесси  $I - x$  диаграммасида тасвирланган. Иситкичдаги ҳавонинг  $t_0$  температурадан  $t_1$  температурагача қиздириш процесси  $AB$  чизик билан ифодаланган.  $BC$  чизик эса қуритиш камерасида содир бўладиган процессни кўрсатади. Қуритиш камерасидан чиқаётган ҳавонинг ҳолати  $C$  нуқта билан белгиланади.

Диаграмма ёрдамида (14.11-расм) 1 кг намликни буғлатиш учун зарур бўлган ҳаво сарфи  $l$  (кг) ва иссиқлик сарфи  $q$  (кЖ) ни аниқлаш мумкин:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{x_2 - x_0}; \quad (14.14)$$



14. 12- расм. Қуритиш камерасида ҳавони қўшимча қиздириш усули билан материалларни қуритиш.

$$q = l(I_1 - I_0) = \frac{I_1 - I_0}{x_2 - x_1}. \quad (14.15)$$

**Реал қуриткичнинг моддий ва иссиқлик баланслари.** Реал қуриткичлардаги процесс назарий қуритишдаги процесдан шу билан фарқ қиладики, бунда  $I_2 \neq I_1$  бўлади. Бунга сабаб шуки, реал қуриткичларда иссиқликнинг бир қисми атроф-муҳитга йўқолади. Айрим пайтларда қуритиш камерасига қўшимча иссиқлик киритилади (14.12- расм).

Узлуксиз ишлайдиган қуриткичнинг моддий балансини тузиш учун қуйидаги белгиларни қабул қиламиз:  $G_1$  — нам материалнинг массаси, кг/соат;  $W_1$  — унинг намлиги, %;  $G_2$  — қуруқ материалнинг массаси, кг/соат;  $W_2$  — унинг намлиги, %;  $W$  — буғланган намлик миқдори, кг/соат;  $L$  — ҳавонинг сарфи (қуруқ ҳаво ҳисобида), кг/соат.

Модданинг кириши (кг/соат): 1) ҳаво  $L$ ; 2) ҳаво таркибидаги намлик  $Lx_0$ ; 3) нам материал  $G_1$ .

Модданинг чиқиши (кг/соат): 1) ҳаво  $L$ ; 2) ҳаво таркибидаги намлик  $Lx_2$ ; 3) қуриган материал  $G_2$ .

Моддий баланс тенгламасини тузамиз:

$$L + Lx_0 + G_1 = L + Lx_2 + G_2.$$

Бундан  $G_1 - G_2 = Lx_2 - Lx_0 = L(x_2 - x_0)$ ,

ёки  $W = L(x_2 - x_0)$ .

$$\text{Бу ерда } L = \frac{W}{x_2 - x_0} = \frac{W}{x_2 - x_1}. \quad (14.16)$$

Қуритиш процесси учун қуруқ моддалар бўйича ушбу баланс тенгламасини тузиш мумкин:

$$\frac{G_1(100 - W_1)}{100} = \frac{G_2(100 - W_2)}{100}.$$

Бу сўнгги ифодадан қуритиш охиридаги материалнинг массасини аниқлаймиз:

$$G_2 = G_1 \left( \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \right).$$

Буғланган намликнинг (ёки материалдан чиқарилган сувнинг) миқдорини қуйидаги тенглама орқали ҳам топиш мумкин:

$$W = G_1 - G_2 = G_1 - G_1 \left( \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \right),$$

ёки

$$W = G_1 \left[ 1 - \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \right] = G_1 \left( \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \right).$$

Моддий баланс асосида реал қуриткичнинг иссиқлик балансини тузамиз.

Иссиқликнинг кириши (кЖ/соат); 1) ҳаво билан  $\Delta I_1 = \Delta I_0 + Q_n$  (бу ерда:  $\Delta I_0$  — иситкичга кирган ҳавонинг иссиқлиги,  $Q_n$  — иситкичда ҳавонинг берган иссиқлиги); 2) материал билан  $G_1 c_1 \theta_1$  (бу ерда:  $c_1$  — нам материалнинг иссиқлик сифими,  $\theta_1$  — материалнинг дастлабки температураси); 3) транспорт қурилмалари билан  $G_{тр} c_{тр} \theta'_{тр}$  (бу ерда  $G_{тр}$  — транспорт қурилмаларининг массаси,  $c_{тр}$  — транспорт қурилмалари материалнинг иссиқлик сифими,  $\theta'_{тр}$  — транспорт қурилмаларининг дастлабки температураси); 4) қуритиш камерасига киритилган қўшимча иссиқлик  $q_k$ .

Иссиқликнинг сарфланиши (кЖ/соат): 1) қуриткичдан чиқётган ҳаво билан  $\Delta I_2$ ; 2) қуритилган материал билан  $G_2 c_2 \theta_2$ ; 3) транспорт қурилмалари билан  $G_{тр} c_{тр} \theta''_{тр}$ ; 4) иссиқликнинг атроф-муҳитга йўқолиши  $Q_n$ .

Иссиқлик балансини тузамиз:

$$\Delta I_1 + G_1 c_1 \theta_1 + G_{тр} c_{тр} \theta'_{тр} + q_k = \Delta I_2 + G_2 c_2 \theta_2 + G_{тр} c_{тр} \theta''_{тр} + Q_n; \quad (14.18)$$

бундан

$$\Delta (I_2 - I_1) = G_1 c_1 \theta_1 + G_{тр} c_{тр} \theta'_{тр} + q_k - G_2 c_2 \theta_2 - G_{тр} c_{тр} \theta''_{тр} - Q_n,$$

$$\text{ёки } \Delta (I_2 - I_1) = \sum Q. \quad (14.19)$$

Охири тенгламанинг ўнг ва чап томонларини  $W$  га бўлиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$\frac{\Delta}{W} (I_2 - I_1) = \frac{\sum Q}{W}.$$

$$\frac{\sum Q}{W} = \Delta \text{ деб белгилаймиз, } \frac{\Delta}{W} = l \text{ бўлгани учун}$$

$$l (I_2 - I_1) = \Delta \quad (14.20)$$

ёки

$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{l}. \quad (14.21)$$

Тенгламага киритилган  $\Delta$  катталиқ қу-  
ритиш камераси ичидаги киритилган ва сарф-  
ланган иссиқликлар айирмасининг 1 кг буғ-  
ланган намликка нисбатини белгилайди. Бу  
ерда асосий калориферда иситилган ҳаво би-  
лан кирган ва чиққан иссиқликлар ҳисоба  
олинмайди. Кўпинча  $\Delta$  қуритиш камераси-  
нинг ички баланси деб аталади.

(14.21) тенгламадан кўриниб турибдики,  
 $\Delta$  нинг ишорасига кўра  $I_2$  нинг қиймати  
 $I_1$  нинг қийматидан катта ёки кичик бўлиши  
мумкин. Агар  $\Delta = 0$  бўлса,  $y$  ҳолда  $I_2 = I_1$ .

Реал қуриткичдаги процессни диаграммада  
тасвирлаш. Назарий қуритишларда  $\Delta = 0$  бўл-  
са, реал қуриткичларда эса  $\Delta \neq 0$ . Икки хил  
шароит бўлиши мумкин: а)  $\Delta > 0$ ; б)  $\Delta < 0$ .  
Аввал  $\Delta > 0$  бўлган шароит учун  $I-x$  диаг-  
раммада қуритиш чизиғининг шаклини кўра-  
миз.

Берилган шартлар бўйича дастлаб назарий  
қуритишнинг чизиғи  $CB$  ни тузамиз. Қуритиш  
камерасига қўшимча иссиқлик киритилганда  
( $\Delta > 0$ ), реал қуриткичнинг чизиғи  $B$  нуқта-  
дан бошланиб,  $I_1 = \text{const}$  чизиғининг юқорисидан ўтади (14.13-рasm).  
Реал процесснинг охири нуқтаси  $C_1$  назарий процессга тегишли бўл-  
ган  $\varphi = \text{const}$  чизиқда ётади.  $BC_1$  чизиқни тузиш учун (14.14) ва (14.20)  
тенгламаларини ўзаро солиштириб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$\Delta = \frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} \quad (14.22)$$

Бу ифода, агар  $\Delta$  нинг қиймати маълум бўлса,  $BC_1$  чизиқнинг ўр-  
нини топишга ёрдам беради. Бунинг учун  $BC$  чизиқнинг устида ихтиё-  
рий олинган  $e$  нуқтадан  $eF$  горизонтал ва  $eE$  вертикал чизиғини ўтка-  
замиз.  $C$  нуқтадан  $G_1G$  вертикал чизиқни то  $BC$  чизиқнинг давоми би-  
лан  $G$  нуқтада кесишгунча давом эттирамиз.  $BEe$  ва  $BC_1G$ ;  $FBe$  ва  
 $DBG$  учбурчакликларнинг ўхшашлигидан қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$\frac{C_1G}{Ee} = \frac{DG}{eF},$$

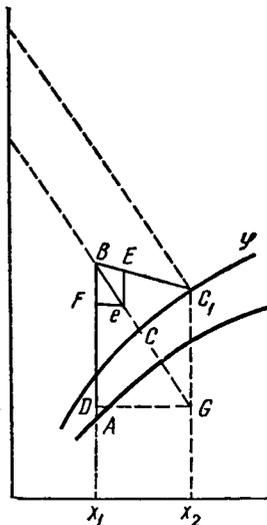
биноқ  $C_1G = (I_2 - I_1) M_l$  ва  $DG = (x_2 - x_1) M_x$ ;

бу ерда  $M_l$  ва  $M_x$  — энтальпия ва намлик сақлашнинг масштаблари.  
Бу тенгламалардан қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

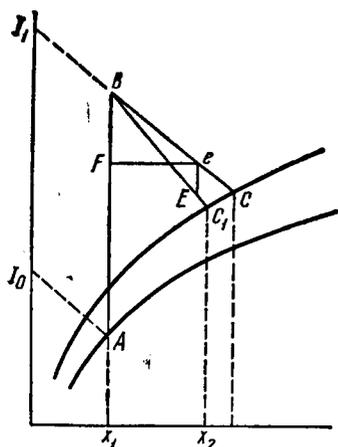
$$\frac{(I_2 - I_1) M_l}{Ee} = \frac{(x_2 - x_1) \cdot M_x}{eF}.$$

ёки

$$Ee = \frac{(I_2 - I_1) \cdot M_l}{(x_2 - x_1) \cdot M_x} \cdot eF = \frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} eF \cdot n,$$



14.13-рasm. Назарий қу-  
риткични график усулда  
ҳисоблаш ( $\Delta > 0$ ).



14.14- расм. Ҳақиқий қуриткич-  
ни график усулда ҳисоблаш  
( $\Delta < 0$ ).

гидан) фарқ қилмайди. Фақат  $eE$  кесма нуқтадан пастга қараб чизилади.  $\Delta < 0$  бўлган шароит учун реал қуриткичда процессни ўтказиш 14.14- расмда кўрсатилган.

Ҳаво ва иссиқликнинг солиштирма сарфларини топишда (14.14) ва (14.15) тенгламалардан фойдаланилади.

#### 14.8- §. Қуритиш процессларининг вариантлари

Юқорида кўриб ўтилган назарий ва реал қуритишлардаги процесслар нормал процесслар деб аталади. Нормал процесслардан ташқари, қуритиш процессининг турли вариантларини ташкил этиш мумкин. Қуритиш процессининг вариантлари бир-биридан қуритувчи агентга иссиқлик беришнинг усули билан фарқланади. Қуритиш процессининг вариантларини танлашда нам материалнинг хоссалари ва қуритишнинг иқтисодий томонлари ҳисобга олинади. Қуритиш процессининг асосий вариантлари билан қисқача танишиб чиқамиз.

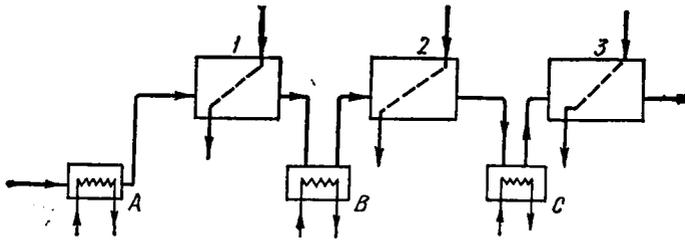
Қуритиш камерасида ҳазони қўшимча қиздириш. Бу усул билан қуритиш процессининг схемаси 14.12- расмда кўрсатилган. Қуритувчи агентни қиздириш учун қуритиш камерасига қўшимча равишда иситиш юзаси киритилган. Бу процессни ўтказишни  $I-x$  диаграммада тузиб ва уни нормал қуритиш процесси билан солиштирсак, ҳаво ва иссиқликнинг солиштирма сарфлари иккала процессда ҳам бир хил эканлиги кўринади. Бироқ процессни қуритиш камерасида, ҳавони қўшимча қиздириш йўли билан олиб боришнинг афзаллиги шундаки, бунда материални қуритишни нисбатан паст температураларда олиб бориш имкони туғилади. Бу усул юқори температураларда ўз сифатини ўзгартирадиган материалларни қуритиш учун кенг ишлатилади.

бу ерда  $n = \frac{M_i}{M_x}$ ; бироқ  $\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \Delta$ ,

натигада  $Ee = \Delta nF \cdot e$ . (14.23)

Шундай қилиб,  $\Delta > 0$  бўлган шароитда  $BC_1$  чизиқни ҳосил қилишни кўриб чиқамиз. Қуритишнинг берилган шартлари бўйича аввал назарий қуритиш чизигини тузамиз.  $BC$  чизиқда олинган  $e$  нуқтадан  $eF$  кесмасини ўтказамиз.  $eF$  кесманинг узунлигини (мм ҳисобида) ўлчаймиз ва (14.23) формула бўйича  $eF$  кесманинг узунлигини (мм ҳисобида) аниқлаймиз.  $eE$  кесманинг қийматини диаграммага жойлаштирамиз, сўнгра  $B$  ва  $eE$  нуқталар орқали реал қуриткич чизигини ўтказамиз.

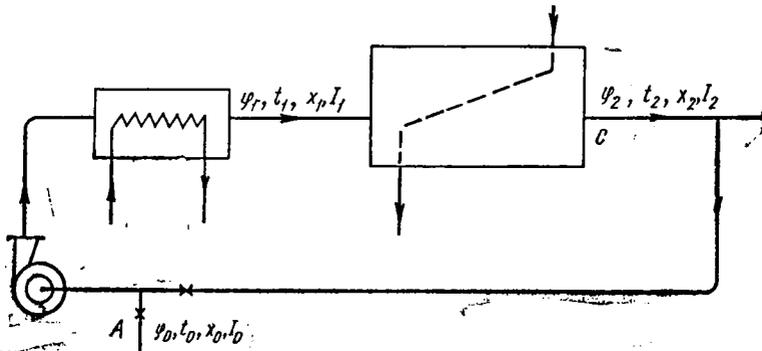
Агар  $\Delta < 0$  бўлса, яъни қуриткичда иссиқликнинг йўқолиши мавжуд бўлса, реал қуриткичнинг чизигини тузиш олдинги мисолдан (яъни  $\Delta > 0$  бўлганда-



14.15-расм. Ҳавони қуритиш камераларининг оралиғида қиздириш усули билан материалларни қуритиш (1, 2, 3-қуритиш камералари).

Ҳавони қуритиш камераларининг орасида қиздириш. Бу усулда ишлайдиган қуриткичнинг схемаси 14.15-расмда кўрсатилган. Учта қуритиш камераларининг орасига *B* ва *C* қўшимча иситкичлар ўрнатилган. Ҳаво асосий иситкич *A* да қиздирилиб, биринчи қуритиш камерасига юборилади. Биринчи камерада чиққан ҳаво атмосферага чиқарилмасдан оралиқ иситкич *B* га берилади. Оралиқ иситкичда қайтадан қиздирилган ҳаво (бунда унинг нисбий намлиги камаяди) яна иккинчи қуритиш камерасига берилади ва ҳоказо. Бу процессни ўтказишни *I*—*x* диаграммада тузиб ва уни нормал процесс билан солиштирсак, иккала процесдан ҳам ҳаво ва иссиқликнинг солиштирма сарфлари бир хил бўлишини кўрамиз, фақат нормал қуритиш процессини амалга ошириш учун бирмунча юқори температуралар керак бўлади.

Ишлатилган ҳаводан такрор фойдаланиш. 14.16-расмда ишлатилган ҳаводан такрор фойдаланишга асосланган қуриткичнинг схемаси кўрсатилган. Бу схемага кўра, ишлатилган ва параметрлари  $\varphi_2, t_2, x_2, I_2$  бўлган ҳавонинг бир қисми параметрлари  $\varphi_0, t_0, x_0, I_0$  бўлган янги ҳаво билан аралашади. Ҳосил бўлган аралашма вентилятор ёрдамида иситкич (калорифер) га юборилади, иситилгандан сўнг ҳаво қуритиш камерасига ўтади. Бу усулни ишлатишга мосланган қуритиш процессини *I*—*x* диаграммада тузиб ва уни нормал қуритиш процесси билан солиштириб, қуйидагича хулоса қилиш мумкин:



14.16-расм. Ишлатилган ҳаводан такрор фойдаланиш усули билан материалларни қуритиш.

а) ишлатилган ҳаводан таққор фойдаланишга мўлжалланган ва нормал режим билан ишлайдиган қуриткичларнинг иссиқлик сарфи бир хил;  
б) ишлатилган ҳаводан қайтадан фойдаланиладиган қуриткичларда нормал қуриткичларга нисбатан катта ҳаво сарфи талаб қилинади.

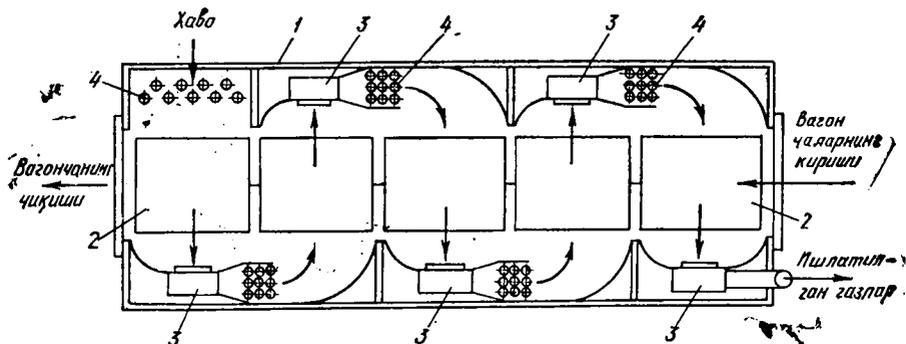
Секин ва бир меъёردа қуритишни талаб қиладиган материаллар таркибидан намликни чиқариш учун ишлатилган ҳаводан қайтадан фойдаланишга асосланган қуриткичларнинг қўлланилиши мақсадга мувофиқдир. Бундай ҳолатда циркуляция қилинаётган ҳаво таркибидаги сув буғларининг юқори парциал босимлари процесснинг ҳаракатлантирувчи кучини камайтиради, натижада қуритиш процессининг тезлиги секинлашади. Қуритиш процессининг ушбу варианти қуриткичдаги ҳаво намлигини жуда аниқ ва керакли даражада ўзгартириш имконини беради.

Бу айтилганлардан ташқари, ишлаб чиқаришларда қуритувчи-агентни қуритиш камераларига бўлиб юбориш, ўзгарувчан иссиқлик майдонидан фойдаланиш, яъни иссиқ ёки совуқ ҳаво оқимини кетма-кет алмаштириб ишлатиш каби қуритиш процессининг вариантларидан ҳам фойдаланилади.

#### 14.9-§. Қуритиш аппаратларининг тузилиши

Саноатда турли типдаги қуритиш аппаратлари ишлатилади. Қуриткичлар бир-бирдан турли белгилари билан фарқ қилади. Нам материалга иссиқлик бериш усулига кўра аппаратлар конвектив контактли ва бошқа турдаги қуриткичларга бўлинади. Иссиқлик ташувчи сифатида ҳаво, газ ёки буғ ишлатилиши мумкин. Қуритиш камерасидаги босимнинг қийматига кўра атмосферали ва вакуумли қуриткичлар бўлади. Процессни ташкил қилиш бўйича даврий ва узлуksиз ишлайдиган аппаратлар бўлади. Конвектив қуриткичларда материал ва қуритувчи агент бир-бирига нисбатан тўғри, қарама-қарши ёки перпендикуляр ҳаракат қилиши мумкин. Қуритилиши лозим бўлган материал донасимон, чангга ўхшаш, пастасимон ёки суюқ ҳолда бўлади. Қуритувчи агентнинг босимини ҳосил қилиш учун табиий ёки мажбурий циркуляция ишлатилади. Донасимон материаллар ишлатилганда қатлам зич, кенгайтирилган, мавҳум қайнаш, фонтан ҳосил бўлиш каби ҳолатларда бўлади. Қуритувчи агент буғ, иссиқ сув, олов билан ишлайдиган калориферларда ёки электр токи ёрдамида иситилади. Қуритиш процессининг ҳар хил вариантларидан кенг фойдаланилади: ишлатилган қуритувчи агентни аппаратдан чиқариб юбориш, қуритувчи агентдан такрор фойдаланиш, қуритувчи агентни қуритиш камералари оралиғида қиздириш, қуритувчи агентни қуритиш камераларига бўлиб бериш, қуритувчи агентни қуритиш камерасида қўшимча равишда қиздириш, ўзгарувчан иссиқлик майдонидан фойдаланиш (иссиқ ва совуқ ҳавони материал қатламига кетма-кет алмаштириб бериш) ва ҳоказо.

Конструктив тузилишига кўра қуритиш аппаратлари ҳар хил бўлади. Саноатда шкафли, камерали, коридорли (тунелли), шахтали, барабанли, трубабли, шнекли, цилиндрсимон, турбинали, каскадли, каруселли, конвейерли, пневматик, сочиб берувчи ва шу каби бир қатор қуриткичлар ишлатилади.



14. 17- расм. Туннелли қуриткич:

1— камера; 2— вагонлар; 3— вентилятор; 4— калорифер.

### КОНВЕКТИВ ҚУРИТКИЧЛАР

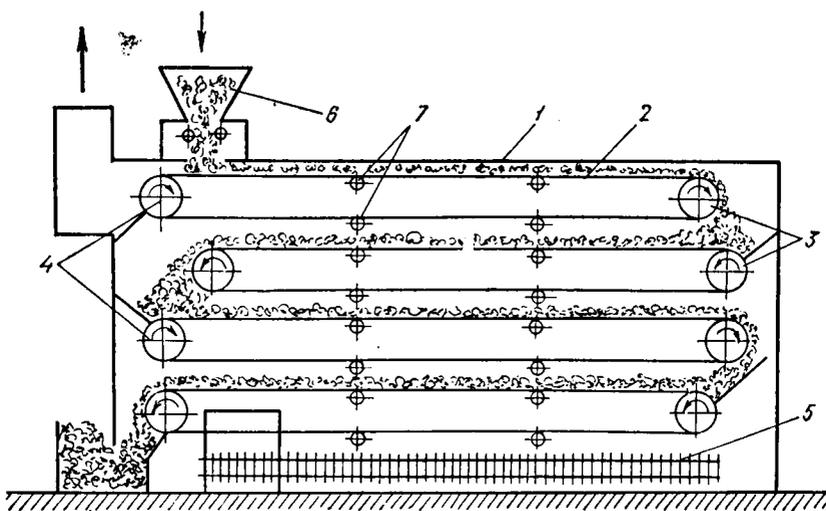
Саноатда конвектив усул билан ишлайдиган қуритиш аппаратлари кенг тарқалган. Бундай аппаратларда қуритиш процесси нам материал билан қуритувчи агентнинг тўғридан-тўғри контакти орқали боради. Химия, озиқ-овқат ва бошқа саноат тармоқларида камерали, туннелли, лентали, сиртмоқли, барабанли, мавҳум қайнаш қатламли, сочиб берувчи, пневматик ва бошқа конвектив қуриткичлар ишлатилади.

**Туннелли қуриткичлар.** Бундай типдаги қуриткичлар тўғри бурчак кесимига эга бўлган узун камерадан (коридордан) иборат бўлади (14.17- расм). Камера ичида вагонеткаларнинг секин ҳаракатланиши учун темир йўл излари ўрнатилган. Коридорга кирувчи ва ундан чиқадиган эшиклар зич ёпилади. Вагонеткаларнинг ичига нам материал жойлаштирилади. Қуритувчи агент (ҳаво) калориферлардан берилади. Ҳаво оқими вентиляторлар ёрдамида нам материалга нисбатан тўғри ёки қарама-қарши йўналишда ҳаракатга келтирилади. Вагонеткалар эса механик чиғирлар ёрдамида ҳаракатланади.

Туннелли қуриткичларда қуритувчи агент қисман рециркуляция қилинади. Бундай аппаратлар катта ўлчамли донасимон материалларни (масалан, керамик буюмларни) қуритиш учун ишлатилади. Камчиликлари: қуритиш тезлиги кичик, процесс узоқ вақт давом этади, қуритиш бир меъёрда бормайди, қўл кучидан фойдаланилади.

**Лентали қуриткичлар.** Бундай қуриткичларда материал узлуксиз равишда атмосфера босимида қуритилади (14.18- расм). Қуритиш камераси ичидаги иккита барабан ўртасида узлуксиз лента тортилган. Барабанларнинг биттаси электромотор ёрдамида ҳаракатга келади, иккинчиси эса ёрдамчи бўлади. Нам материал лентанинг бир учига берилади, қуруқ материал эса лентанинг иккинчи учидан ажралади. Қуритиш процесси иссиқ ҳаво ёки тутунли газлар ёрдамида олиб борилади.

Бу типдаги қуриткичлар битта ёки кўп лентали бўлади. Саноатда кўп лентали қуриткичлар кенг ишлатилади. Кўп лентали қуритиш



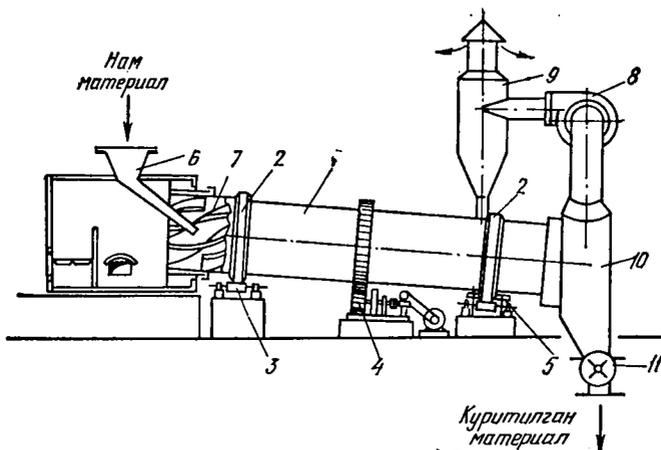
14. 18- расм. Лентали қуриткич:

1— қуритиш камераси; 2— лента; 3— ҳаракатланувчи барабан; 4— ёрдамчи барабан; 5— калорифер; 6— бункер; 7— таянч роликлар.

аппаратларида қуритувчи агент нам материалга нисбатан перпендикуляр йўналган бўлади. Материал бир лентадан иккинчисига тушаётганда унинг қуритувчи агент билан контакт юзаси кўпаяди. Бундай қуриткичларда қуритиш процессининг турли вариантларини ташкил қилиш мумкин.

Лентали қуриткичлар кўп жойни эгаллайди ва уларни ишлатиш анча мураккаб (ленталарнинг чўзилиши ва барабанда нотўғри жойланиш ҳолатлари рўй бериши мумкин). Бундай аппаратларнинг солиштирма иш унуми кичик, солиштирма иссиқлик сарфи эса катта, пастасимон материалларни қуритиш мумкин эмас.

**Барабанли қуриткичлар.** Бундай аппаратлар атмосфера босими билан узлуксиз равишда турли сочилувчан материалларни қуритиш учун ишлатилади. Барабанли қуриткич цилиндрсимон барабандан ташкил топган бўлиб, горизонтга нисбатан кичик оғиш бурчагида (1 : 15—1 : 50) жойлаштирилган бўлади (14.19- расм). Барабан банджлар ва роликлар ёрдамида ушлаб турилиб, электромотор ва редуктор ёрдамида айлантрилади. Барабanning айланишлар сони одатда 5 ... 8 мин<sup>-1</sup> дан ортмайди. Нам материал таъминлагич орқали винтли қабул қилувчи насадкага берилади, бу ерда материал аралаштириш таъсирида бир оз қуриydi. Сўнгра материал барабanning ички қисмига ўтади. Барабanning бутун узунлиги бўйича насадкалар жойлаштирилади. Насадкалар барабanning кесими бўйича материални бир меъёрда тарқатиш ва аралаштиришни таъминлайди. Бундай шароитда материал билан қуритувчи агентнинг ўзаро таъсири самарали бўлади.



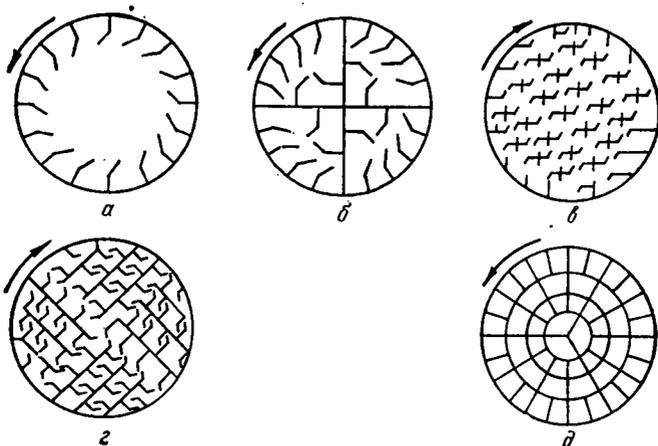
14. 19- расм. Барабанли қуриткич:

1— барабан; 2— бандаж; 3— таянч роликлар; 4— узаткич; 5— таянч роликлар; 6— бункер; 7— насадка; 8— вентилятор; 9— циклон; 10— туширадиган камера; 11— тушириш қурилмаси.

Барабан ичида материалнинг ўта қизиб кетиш даражасини камайтириш учун материал ва қуритувчи агент (тутунли газлар) бир-бирига нисбатан тўғри йўналишда бўлади, чунки бундай шароитда юқори температурали иссиқ газлар катта намликка эга бўлган материал билан контактлашади. Майда заррачаларнинг газлар билан кетиб қолишини камайтириш учун барабандан сўриб олинаётган газларнинг тезлигини вентилятор ёрдамида 2—3 м/с атрофида ушлаб турилади. Ишлатилган газлар атмосферага чиқарилишдан олдин майда чанглардан циклонда тозаланади. Қуритилган материал барабандан ташқарига, туширувчи қурилма орқали чиқарилади.

Қуритилаётган материал доналарининг ўлчамлари ва хоссаларига кўра аппаратларда ҳар хил насадкалардан фойдаланилади (14.20-расм). Катта бўлакли ва қовушиб қолиш хусусиятига эга бўлган материалларни қуритиш учун кўтарувчи парракли насадкалар, ёмон сочилувчан ва катта зичликка эга бўлган катта бўлакли материалларни қуритиш учун эса секторли насадкалар ишлатилади. Кичик бўлакли, тез сочилувчан материалларни қуритишда тарқатувчи насадкалар кенг ишлатилади. Майда қилиб эзилган, чанг ҳосил қилувчи материалларни берк ячейкали довосимон насадкалари бўлган барабанларда қуритиш мақсадга мувофиқдир. Айрим шароитларда мураккаб насадкалардан фойдаланилади.

**Мавҳум қайнаш қатламли қуриткичлар.** Процесс мавҳум қайнаш қатламида олиб борилганда қаттиқ материал заррачалари ва қуритувчи агент ўртасида контакт юзаси кўпаяди, намликнинг материалдан буғланиб чиқиш тезлиги ортади, қуритиш вақти эса анча қисқаради. Ҳозирги кунда химиявий технологияда мавҳум қайнаш қатламли қуриткичлар сочилувчан донасимон материалдан ташқари, қовушиб



14, 20- расм. Насадкаларнинг турлари:

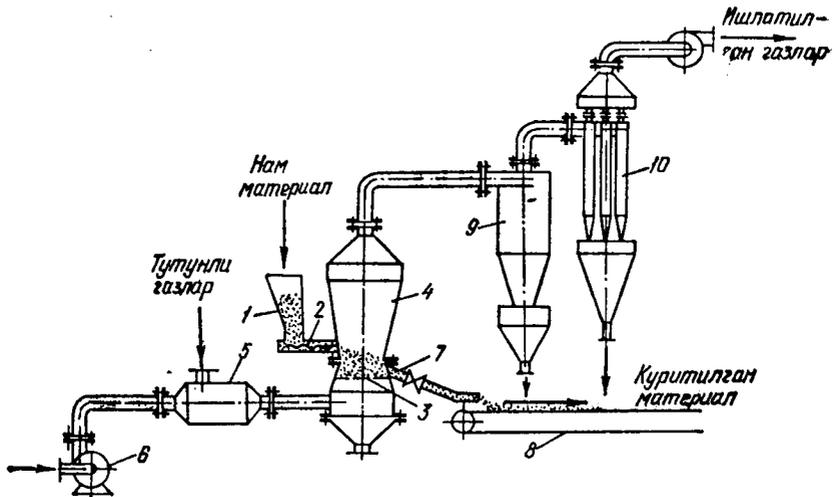
а— кўтарилувчи куракчали; б— секторли; в, г— тарқатувчи; д— ағдарилувчи.

қолиш хусусиятига эга бўлган материаллар, пастасимон моддалар эритмалар, қотишмалар ва суспензияларни сувсизлантириш учун ишлатилмоқда.

Узлуксиз ишлайдиган битта камерали қуриткичлар кенг тарқалган (14.21- расм). Нам материал бункердан таъминлагич орқали қуриткич камерасига берилади. Камеранинг пастки қисмида тарқатувчи тўр жойлаштирилган. Ҳаво вентилятор орқали аралаштириш камерасига берилади ва бу ерда иссиқ тутунли газлар билан аралашади. Қуритувчи агент (иссиқ ҳаво ёки ҳавонинг тутунли газлар билан аралашмаси) маълум тезлик билан тўрнинг пастидан берилади. Ҳаво оқими таъсирида қаттиқ материал дончалари мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилади. Қуритилган материал тўрдан бир оз тепада жойлашган штуцер орқали ташқарига чиқарилади ва транспортёрга тушади. Ишлатилган газлар циклон ва батареяли чанг ушлагичда тозаланadi.

Цилиндрсимон корпусли қуриткичларда баъзан қуритиш процесси бир меъёрда бормайди, чунки қатламда интенсиф аралаштириш мавжуд бўлганлиги сабабли айрим заррачаларнинг аппаратда бўлиш вақти ўртача қийматдан анча фарқ қилади. Шу сабабли ўзгарувчан кесимли (масалан, конуссимон) қуриткичлардан фойдаланилади. Бундай конуссимон аппаратнинг пастки қисмида газнинг ҳаракатланиш тезлиги энг катта заррачанинг чўкиш тезлигидан катта, тепа қисмида эса энг кичик заррачанинг чўкиш тезлигидан кам бўлади. Бундай ҳолатда қаттиқ заррачаларнинг нисбатан тартибли циркуляцияси мавжуд бўлиб, заррачалар аппаратнинг марказий қисмида кўтарилади, унинг чекка қисмларида эса пастга қараб тушади. Натижада материал бир меъёрда исийди ва камеранинг иш баландлиги камаяди.

**Сочиб берувчи қуриткичлар.** Бундай аппаратларда қуритилиши лозим бўлган материал жуда майда қилиб сочиб берилади ва параллел оқимда ҳаракат қилаётган қуритувчи агент (иссиқ ҳаво ёки тутун-



14. 21-расм. Бир камерали мавҳум қайнаш қатламли қуриткич:

1, 2— бункер қурилмаси; 3— газ таркатувчи тўр; 4— қуритиш камераси; 5— аралаштириш камера-  
си; 6— вентилятор; 7— қуритилган материал чиқадиған штуцер; 8— транспортёр; 9— циклон; 10—  
чанг ушлағич.

ли газлар) билан тўқнашади, натижада намлик катта тезлик билан буғланади. Сочиб берувчи қуриткичларда буғланишнинг солиштирма юзаси катта бўлади, шу сабабли қуритиш процесси қисқа вақт (тахминан 15 ... 30 с) давом этади.

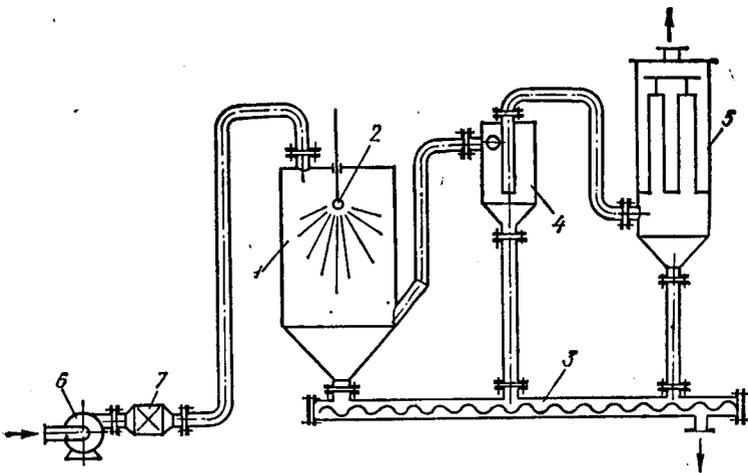
Қуритиш қисқа вақт давом этганлиги сабабли процесс паст температураларда олиб борилади, натижада сифатли кукунсимон маҳсулот олинади. Агар нам материал олдин қиздириб олинса, совуқ ҳолдаги қуритувчи агентдан ҳам фойдаланса бўлади.

Материални сочиш учун механик ва пневматик форсункалар ҳамда марказдан қочма дисклар (айланишлар сони минутига 4000 ... 20000) ишлатилади.

Сочиб берувчи қуриткичда (14.22- расм) нам материал қуритиш камерасига форсунка ёрдамида сочиб берилади. Қуритувчи агент вентилятор ёрдамида калорифер орқали аппаратга берилади, у камера ичида материал билан параллел ҳаракат қилади. Қуриган материалнинг майда заррачалари камеранинг пастки қисмига чўкади ва шнек ёрдамида керакли жойга юборилади. Ишлатилган қуритувчи агент циклон ва энгли фильтрда майда чанг заррачаларидан тозаланади, сўнг атмосферага чиқариб юборилади.

Сочиб берувчи қуриткичларда материал ва қуритувчи агент оқимлари тўғри, қарама-қарши ва аралаш йўналишда бўлиши мумкин, бироқ кўпинча тўғри (ёки параллел) йўналишли оқим кенг ишлатилади.

Сочиб берувчи қуриткичлар юқорида айтиб ўтилган афзалликлардан ташқари бир қатор камчиликларга ҳам эга: 1) нам материалнинг аппарат деворларига ёпишиб қолмаслиги учун камеранинг диаметри анча катта бўлади; 2) камерада солиштирма буғланиш қиймати жуда

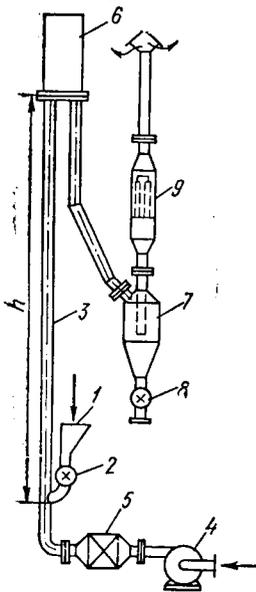


14. 22- расм. Сочиб берувчи қуриткич:

1— қуритиш камераси; 2— форсунка; 3— шнек; 4— циклон; 5— енгли филтър; 6— вентилятор; 7— калорифер.

кичик ( $1 \text{ м}^3$  камерадан соатига  $10 \dots 25 \text{ кг}$  сув ажралади); 3) ҳаво оқимининг тезлиги нисбатан кичик ( $0,2 \dots 0,4 \text{ м/с}$ ) агар ҳаво тезлиги катта бўлса майда заррачаларнинг чўқиши қийинлашади ва уларнинг ҳаво оқими билан кетиб қолиши кўпаяди.

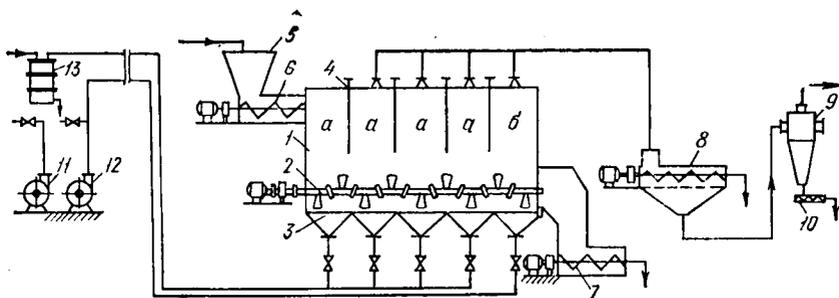
**Пневматик қуриткичлар.** Донадор (лекин қовушиб қолмайдиган) ва кристалл материалларни эритилмаган ҳолда қуритиш учун пневматик қуриткичлар ишлатилади. Қуритиш процесси узунлиги  $25 \text{ м}$  гача бўлган вертикал трубада олиб борилади. Материалнинг заррачалари иситилган ҳаво (ёки тутунли газ) оқими билан бирга ҳаракат қилади. Бунда ҳаво оқимининг тезлиги қаттиқ заррачанинг ҳаракат тезлигидан катта бўлади ( $10 \dots 30 \text{ м/с}$ ). Бундай труба-симон қуриткичларда процесс жуда қисқа вақт ( $1 \dots 3 \text{ с}$ ) давом этади, шу сабабли материал таркибидаги эркин намликнинг бир қисмигина ажралиб чиқади.



14. 23- расм. Пневматик қуриткич:

1, 2— бункер қурилмаси; 3— труба; 4— вентилятор; 5— калорифер; 6— йиғичли амортизатор; 7— циклон; 8— тушириш қуралмаси; 9— филтър.

Пневматик қуриткичда (14.23- расм) материал бункердан таъминлагич орқали вертикал труба-қуриткичга тушади. Ҳаво оқими вентилятор ёрдамида калорифер орқали вертикал трубага юборилади. Трубада ҳаво оқими материал заррачаларини ўзи билан бирга олиб кетади. Ҳаво қуриган материал билан бирга йиғувчи амортизаторга киради, кейин циклонга ўтади. Циклонда қуриган материал ҳаво оқимидан ажралади, сўнгра тўқиш қурилмаси ёр-



14, 24- рasm. Кўп секцияли мавҳум қайнаш қатламли қуриткич:

*a*— қуритиш секцияси; *b*— совитиш секцияси; 1— қуритиш камераси; 2— куракчали шнек; 3— газ тақсимловчи тўр; 4— вертикал тўсиқлар; 5— бункер; 6— шнек; 7— материал тушириладиган шнек; 8— ҳавони тозалаш қурилмаси; 9— циклон; 10— толани узатадиган шнек; 11, 12— вентильатор; 13— буғ калорифери.

дамида ташқарига чиқарилади. Ишлатилган ҳаво филтёрда тозалангандан сўнг атмосферага чиқарилади. Шундай қилиб, қуритиш процесси пневмотранспорт режимида олиб борилади.

Пневматик қуриткичларда энергия сарфи анча катта, бу сарф материал заррачасининг ўлчами кичрайиши билан камаяди, бироқ заррачаларнинг ўлчами 8... 10 мм дан ошмаслиги керак. Катта ўлчамли заррачалари бўлган материалларни қуритиш ҳамда материалдан намликни чиқариш учун пневматик қуриткичларни бошқа типдаги қуриткичлар билан бирга ишлатиш зарур. Демак, тузилиши оддий ва ихчам бўлишидан қатъи назар пневматик қуриткичларни ишлатиш чегараланган.

**Толали материаллар учун қуриткичлар.** Тошкент политехника институти қошидаги «Химиявий технология процесслари ва аппаратлари» кафедрасида толали материалларни (масалан, пахта чигитини) қуритишга мосланган бир қатор аппаратлар (кўп камерали, мавҳум қайнаш қатламли қурилма, ўзгармас иссиқлик майдонидан фойдаланувчи қуриткич, иккита қобиқли перфорацияли шнекли аппарат) таклиф қилинган.

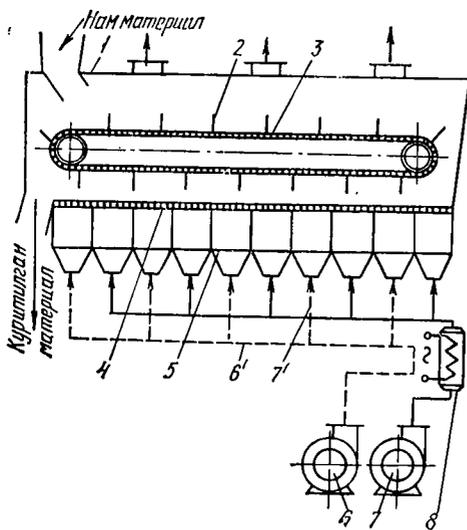
Бир неча секцияси бўлган мавҳум қайнаш қатламли қуриткичнинг схемаси 14.24- рasmда кўрсатилган. Бу қуриткич тўғри бурчакли кесимга эга бўлган 5 та секциядан иборат, дастлабки 4 та секцияда материал қурийд, охириги секция эса қуриган материални совитиш учун мўлжалланган. Камеранинг пастки қисмида, тарқатувчи тўрнинг устида парракли шнек ўрнатилган, бу шнек материални бир меърада силжитади ва қатламни кўзгагиб туради.

Аппарат қуйидагича ишлайди. Нам материал бункер ва таъминловчи шнек орқали қуритиш камерасининг биринчи секциясига берилади. Камеранинг дастлабки 4 та секциясига вентильатор ёрдамида юқори босимли иссиқ ҳаво юборилади. Ҳаво пластина калориферда иситилади. Ҳаво оқимининг тезлиги материал қатламини мавҳум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун етарли бўлиши керак. Материал дастлабки секциялардан бир текисда ўтиб қурийд, сўнгра камеранинг охириги секциясига ўтади. Охириги секцияда қуриган материал со-

вийди, сўнгра аппаратдан чиқиб шнекка тушади ва қуриган материал тегишли жойга юборилади. Ишлатилган ҳаво бирламчи тозаланиш учун махсус қурилмага тушади, бу қурилма цилиндрсимон кўринишда бўлиб, унинг ичидаги тўрнинг устига шнек ўрнатилган бўлади. Бу ерда материалдан ажралиб ҳаво билан бирга кетиб қолган толалар ушланиб қолинади. Қурилма ичидаги шнек бу толаларни ушлаб қолиб ташқарига чиқаради. Бирламчи тозаланган ҳаво сўнгра циклон орқали атмосферага чиқарилади.

Бундай қуриткич бир қатор афзалликларга эга; 1) аппаратда бо- раётган процесс, қаттиқ материал мавҳум қайнаш ҳолатида бўлгани сабабли, катта тезликда кетади; 2) мавҳум қайнаш қатламини бир текисда ушлаб туриш учун қуритиш камерасига парракли шнек ўрна- тилган, бу шнек ёрдамида аппаратнинг бутун узунлиги бўйича ма- териал бир меъёردа силжийди; 3) керак бўлганда секцияларнинг сони- ни ўзгартириш мумкин, бунинг учун силжиб турадиган вертикал тў- сиқлардан фойдаланилади, бундай шароитда ҳаво оқими вентиляр ёрдамида бошқарилади; 4) материалнинг аппаратдан ўтиш вақтини кераклича ўзгартириш мумкин, бунинг учун таъминловчи ва паррак- ли шнекларнинг айланишлар сони ўзгартирилади.

14.25- расмда ўзгарувчан иссиқлик режимида ишлайдиган қурит- кич схемаси кўрсатилган. Қуритиш камерасининг ичида иккита ба- рабан ўртасида перфорация қилинган «чексиз» лента тортилган. Лен- танинг тепасида тишли тароқлар ўрнатилган. Камеранинг пастки қисми эса ҳаво тарқатувчи тўрдан иборат. Тўрнинг тагида бир неча коллекторлар жойлаштирилган. Коллекторларга вентиляторлар ёр- дамида бирин-кетин иссиқ ва совуқ ҳаво оқимлари юбори- лади. Калорифер иссиқ ҳаво ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Лентанинг тепаси ҳам, пастки ҳам иш режимида бўлади. Ишлатилган ҳаво ап- паратнинг тепа қисмидан чи- қарилиб, циклон ва филтёрда тозалангандан сўнг атмосфе- рага узатилади.



14. 25- расм. Ўзгарувчан иссиқлик режими билан ишлайдиган қуриткич:

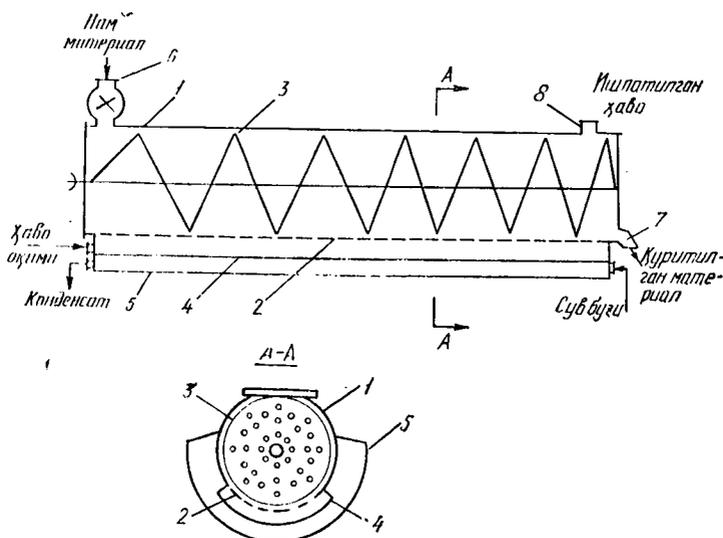
1— корпус; 2— тишли тароқ; 3— чексиз лента; 4— тўр; 5— совуқ ва иссиқ ҳаво бериладиган хоналар; 6, 7— вентилятор 6', 7'— коллекторлар; 8— калорифер.

Бу аппаратда қуритиш процесси қуйидагича кетади. Нам материал лента юқори- ги қисмининг чап чеккасига берилади. Материал лентанинг ҳаракати ва тишли тароқлар ёрдамида бир текисда қурийд. Қуритиш лентанинг пастки қисмида ҳам давом этади. Камеранинг пастки қисмида жойлашган тўрдан иссиқ ва совуқ ҳаво оқим- лари бирин-кетин чиқиб ту-

ради. Шундай қилиб, қуритиш процесси ўзгарувчан иссиқлик майдонида олиб борилади. Иссиқ ҳаво оқими берилганда (иситиш давомида) материал қизийди, яъни материал таркибида иссиқликнинг йиғилиши юз беради. Совуқ ҳаво оқими берилганда (оралиқ совитиш даврида) эса иситиш даврида йиғилган иссиқлик ҳисобига намликнинг ўз-ўзидан буғланиши содир бўлади. Ўзгарувчан температуралар майдонидан фойдаланилганда намлик ва температура градиентларининг йўналишлари бир хил бўлади, яъни иссиқлик таъсирида намлик ўтказувчанлик ҳолати қуритиш процессининг боришига ёрдам беради.

Ўзгарувчан температура майдони ёрдамида ишлайдиган қуриткичлар оддий лентали қуриткичларга нисбатан бир қатор афзалликларга эга: 1) материалнинг қизиш даражаси нисбатан паст; 2) қуриган материалнинг сифати анча яхши; 3) иссиқликнинг сарфи аввалги қуриткичга нисбатан 18 ... 20% кам.

Толали материалларни қуритиш учун мосланган шнекли аппаратнинг схемаси 14.26- расмда кўрсатилган. Бундай қуриткич қўш қобиққали цилиндрсимон шнекли камерада иборат. Аппарат бир неча секциядан ташкил топган бўлиши мумкин. Аппарат ичидаги шнек ўрамларининг юзалари перфорация қилинган, қадамлари эса чапдан ўнгга қараб камайиб боради. Цилиндрсимон корпуснинг пастки қисми ҳам перфорация қилинган. Ички қобиққали юзаси корпуснинг периметри бўйлаб 30 ... 35% ни, ташқи қобиққали эса 60 ... 70% ни эгаллайди. Ташқи қобиққали иситувчи агент (масалан, сув буғи) берилади. Ички қобиққали эса қуритувчи агент (ҳаво оқими) юборилади. Иситувчи агент ёрдамида



14.26- расм. Толали материалларни қуритадиган шнекли аппарат:

1— корпус; 2— перфорацияли тўр; 3— перфорацияли шнек; 4, 5— ички ва ташқи қобиқ; 6— материал бериладиган қурилма; 7— туширувчи тешик; 8— ишлатилган ҳаво чиқадиغان штуцер.

ички қобикқа берилаётган ҳаво оқими қиздирилади ҳамда қуритиш камерасида тегишли температура режими ушлаб турилади.

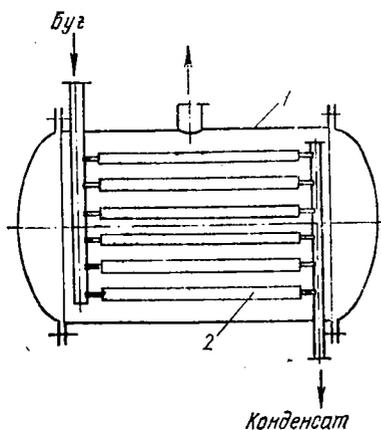
Нам материал таъминлагич орқали аппаратга берилади, сўнгра шнек ёрдамида бир текисда чапдан ўнгга қараб ҳаракат қилади. Камеранинг пастки қисмидаги тўр орқали исиган ҳаво оқими материал қатлаидан ўтади. Ҳаво оқими маълум тезлик билан берилади. Шнекнинг айланма ҳаракати ва ҳаво оқимининг тезлиги таъсирида материал қатлами бир оз кенгайтирилган ҳолатга келтирилади. Материал билан қуритувчи агент ўртасидаги контактни яхшилаш учун шнек ўрамларининг юзалари перфорация қилинган. Шнек ўрами қадамнинг бир оз камайиб бориши аппаратнинг материал билан тўлиш коэффициентини оширади.

Шнекли қуриткич бир қатор афзалликларга эга: 1) аппарат жуда оддий тузилишга эга; 2) процесс бир оз кенгайтирилган қатламда олиб борилганлиги сабабли қуритишнинг тезлиги анча катта; 3) шнекнинг айланишлар сонини ўзгартириш орқали аппаратнинг иш унумини бошқариш мумкин; 4) қуритиш процессини бир текисда олиб бориш имконияти бор.

### КОНТАКТЛИ ҚУРИТКИЧЛАР

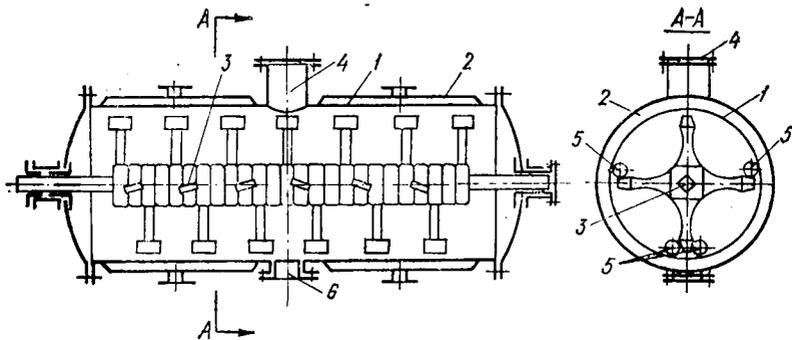
Бу турдаги қуритиш аппаратларига вакуум-қуритиш шкафлари, аралаштиргичли вакуум-қуриткичлар, вальцовкали ва барабанли қуриткичлар киради.

**Вакуум-қуритиш шкафлари.** Бундай контактли қуриткичларнинг тузилиши оддий бўлиб, улар даврий равишда ишлайди. Вакуум-қуритиш шкафлари ҳар хил ассортимент билан маҳсулот тайёрлайдиган кичик ҳажмли ишлаб чиқаришларда қўлланилади. 14.27-расмда кўрсатилган вакуум-қуритиш шкафи цилиндрсимон (айрим вақтда тўғри бурчакли) камерадан иборат бўлиб, унга ичи бўш плиталар жойлаштирилган. Плиталарнинг ички қисмига сув буғи ёки иссиқ сув юборилади. Қуритиладиган материал тарновсимон идишларга солиниб, плиталарнинг устига қўйилади. Камера иш пайтида жипс ёпилади ва вакуум ҳосил қиладиган қурилма (масалан, сиртий конденсатор ва вакуум-насосли қурилма) билан боғланган бўлади. Материалнинг аста-секин қизиши натижасида намлик ажралиб чиқади. Ҳосил бўлган сув буғлари ҳаво билан биргаликда вакуум-насос орқали сўрилади. Материални камерага жойлаштириш ва ундан олиш қўл кучи билан бажарилади.



14. 27- расм. Вакуум қуритиш шкафи:  
1— қуритиш камераси; 2— бўш плиталар.

Бу турдаги қуриткичлар осон оксидланувчи, портлаш хавфи бўл-



14. 28- расм. Тароқли вакуум қуриткич:

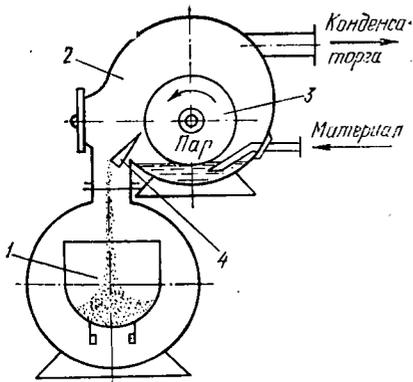
1— қуритиш камераси; 2— буғ бўшлиғи; 3— аралаштиргич; 4— юкловчи люк; 5— труба;  
6— тушириладиган люк.

гаң ва зарарли маҳсулотларни қуритишда ишлатилади. Агар саноат учун муҳим бўлган эритувчиларни (масалан, спиртни) материалдан ажратиш лозим бўлса, бунда уларнинг буғлари конденсацияланиш қурилмалари ёрдамида ушлаб қолинади. Вакуум-қуритиш шкафларининг иш унуми жуда кичик, уларни ишлатиш учун қўл меҳнати талаб қилинади.

**Тароқли вакуум-қуриткич.** Бу турдаги контактли қуриткичларда материал секин айланувчи, горизонтал ҳолда жойлашган тароқли аралаштиргич ёрдамида аралаштирилади, натижада аппарат даврий ишласа ҳам қуритиш тезлиги анча юқори бўлади. Тароқли вакуум-қуриткичлар қўл меҳнاتини талаб қилмайди.

Қуриткич горизонтал буғ қобиқли цилиндрсимон корпусдан ташкил топган (14.28- расм). Аппарат тепасида нам материални юклайдиган люк, пастки қисмида эса қурилган материални туширадиган люк бор. Корпуснинг ичида тароқлари бўлган аралаштиргич жойлаштирилган. Аралаштиргичнинг тароқлари ўқда ўзаро перпендикуляр қилиб ўрнатилган; барабан узунлигининг биринчи ярмида аралаштиргичнинг тароқлари бир томонга эгилган бўлса, ярмида эса қарама-қарши томонга эгилган бўлади. Бундан ташқари, аралаштиргич ҳар 5... 8 минутда реверсив қурилма ёрдамида айланиш йўналишини ўзгартиради. Шу сабабли аппаратга тушган материал даврий равишда барабаннинг ички девори яқинидан унинг марказига қараб ва тескари йўналишда ҳаракат қилади. Аралаштиргич ўқининг ичида бўшлиқ бўлиши ҳам мумкин, бундай ҳолда бу бўшлиқ орқали иситувчи агент юборилиб, материал қўшимча равишда қиздирилади. Тароқлар ўртасида эркин ҳаракат қилувчи трубалар материални интенсивроқ айлантириш учун хизмат қилади. Қуриткичнинг корпуси конденсатор ва вакуум-насос билан туташган.

Аралаштиргичи бўлган вакуум-қуриткичлар асосан анилин бўёқ олишда ва химия саноатининг бошқа тармоқларида ишлатилади. Асосий афзаллиги — бошқа аппаратларга нисбатан қуритиш процесси паст температураларда олиб борилади. Унга хизмат кўрсатиш учун



14. 29- расм. Вальцовка қуриткич:

1— қуриған материал тушадиган бункер; 2— сич ёпилған корпус; 3— вал; 4— маҳсулотни ажратиб турадиган пичоқ.

ишчи кучи кам талаб қилинади, бундай қуриткичларда портлаш хавфи бўлган ва зарарли материалларни қуритиш мақсадга мувофиқдир. Бу аппаратлардан материал таркибидан сувсиз эритувчиларни ажратиб олиш учун фойдаланиш мумкин. Қуритилган материалларнинг сифати анча юқори бўлади.

**Вальцовка қуриткичлар.** Бу аппаратлар турли суюқликлар ва оқувчан пастасимон материалларни атмосфера босимида ёки вакуум остида қуритиш учун ишлатилади. Қуритиш процесси узлуксиз равишда олиб борилади ва қўл меҳнати талаб қилинмайди. Бу турдаги қуриткич битта ёки иккита барабандан иборат. 14.29- расмда битта

барабанли қуриткичнинг схемаси келтирилган. Бундай қуриткичда тоғоранинг ичида битта барабан айланиб туради. Тоғорага материал узлуксиз равишда бериб турилади. Барабanning ичи бўш бўлиб, у сув буғи ёки бошқа иситувчи агент ёрдамида иситилади. Барабан айланаётганда унинг ташқи юзаси материалнинг юпқа қатлами билан қопланади. Барабан иситиб турганлиги сабабли материал қатлами қурийд, сўнгра пичоқ билан қирқилади ва бункерга тушади. Қуриткичнинг ҳамма иш қисмлари умумий корпуснинг ичига жойлаштирилган ва вакуум ҳосил қилувчи қурилма билан боғланган.

Вальцовка аппаратлар ёрдамида юқори температураларга чидамсиз бўлган материалларни (масалан, бўёвчи моддалар) юпқа қатлам билан қуритиш мумкин. Қуритиш вақти барабanning айланишлари сони орқали бошқарилади. Қуриткичнинг иш унуми барабanning диаметри, узунлиги ва айланишлар тезлигига пропорционал. Аппаратнинг иш унуми одатда материал юпқа қатлами (ёки плёнкаси) қалинлигининг камайиши ва барабан айланишлар сонининг ортиши билан кўпаяди. Тажрибалар шуни кўрсатадики, аппаратдаги плёнканинг қалинлиги 0,1 ... 1 мм, барабanning айланишлар тезлиги эса 1 ... 10 мин<sup>-1</sup> бўлганда 1 кг намликни буғлатиш учун 1,2 ... 1,6 кг сув буғи сарф бўлади.

#### 14.10- §. Қуриткичларнинг махсус турлари

Юқориде айтиб ўтилганидек, қуритишнинг махсус усулларига радиацияли, диэлектрик ва сублимацияли қуритиш процесслари кирди. Қуритишнинг бу усулларига кўра аппаратлар ҳам уч турга (терморрадиацияли, диэлектрик ёки юқори частотали ва сублимацияли) бўлинади.

**Терморрадиацияли қуриткичлар.** Бундай қуриткичларда материал қуритиш учун зарур бўлган иссиқлик инфрақизил нурлар орқа-

ли берилади. Иссиқлик маҳсус инфрақизил нурланишга мосланган лампалар, қиздирилган керамик ёки металл юзалар ёрдамида тарқатилади.

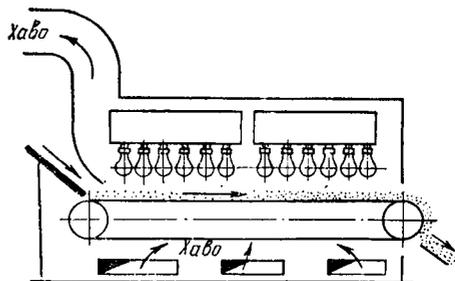
Инфрақизил нурланишга мосланган лампалар оддий ёритиш лампаларидан қиздириш температураси билан фарқ қилади. Агар оддий ёритиш лампаларининг қиздириш температураси 2950 К бўлса, инфрақизил нурланишли лампаларнинг кўрсаткичи 2500 К га тенг. Сарф қилинган электр энергиясининг тахминан 80 проценти иссиқлик энергиясига айланади. Нурланиш оқимини материалга йўналтириш учун парабола шаклидаги рефлекторлар ишлатилади.

Иссиқликнинг нурланган оқими материалнинг юзаси орқали унинг капиллярларига ҳам ўтади, бунда нурларнинг капилляр деворларидан бир неча бор қайтарилиши оқибатида нурларнинг ютилиши юз беради. Натижада материал юзаси бирлигига, конвектив ва контактли қуриштишларга нисбатан анча кўп иссиқлик берилади. Масалан, юпқа қатламли материаллар инфрақизил нурлар ёрдамида қуритилганда процесснинг давомлилиги 30—100 марта камаяди.

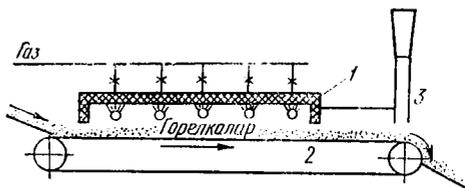
14.30-расмда нурланиш лампасига эга бўлган радиацияли қуриткич схемаси кўрсатилган. Лампали тарқатувчилар кўп энергия талаб қилади ва бу уларнинг асосий камчилиги ҳисобланади. Бироқ айрим ҳолларда инфрақизил нурлар билан қуриштишнинг таънарихи конвектив қуриштишга нисбатан арзон тушади, чунки радиацияли қуриштиш процесси тез боради ва қуриткични тайёрлаш учун кам маблағ сарф қилинади.

Газ билан ишлайдиган радиацияли қуриткичнинг тузилиши жуда оддий бўлиб (14.31-расм), лампали қуриткичга нисбатан арзондир. Нур тарқатувчи қурилманинг пастки қисмида газ ёндирилади. Газнинг ёниши таъсирида нур тарқатувчи қурилма қизийди, сўнгра инфрақизил нурларни тарқатади. Айрим пайтларда нур тарқатувчи қурилма тутунли газлар ёрдамида қиздирилади, бунда қурилманинг ичи говак қилиб ишланади ва бу бўшлиқ орқали юқори температурали тутунли газлар ўтказилади.

Саноатнинг айрим тармоқларида юқори сифатли маҳсулот олиш учун мураккаб процесслардан (масалан, радиацияли ва конвектив

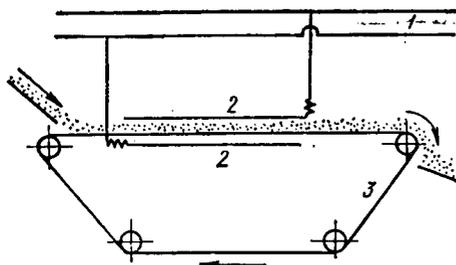


14.30-расм. Нурланиш лампаси бўлган радиацияли қуриткич.



14.31-расм. Газ билан ишлайдиган радиацияли қуриткич:

1— нур тарқаткич; 2— ҳаракатланувчи лента; 3— тортиш қурилмаси.



14.32-расм. Юқори частотали токлар билан ишлайдиган қуриткич:

1 — электр манбаи; 2 — электродлар; 3 — ҳаракатланувчи лента.

усулларни бирга ишлатишдан) фойдаланилади. Бундай шароитда нам материалга инфрақизил нурлар таъсир эттирилишидан ташқари бир вақтнинг ўзида унинг пастидан ҳаво оқими ўтказилади.

Терморрадиацияли қуриткичлар ихчам ишланган бўлиб, юпқа қатламли материалларни қуритишда бу аппаратлардан фойдаланиш юқори самара беради. Бироқ қуриткичларда энергия нисбатан кўп сарфланади: 1 кг

намликни материалдан ажратиш учун 1,5 ... 2,5 кВт · соат энергия керак.

**Диэлектрик қуриткичлар.** Қалин қатламли материалнинг юзаси ва унинг ички қисмларида температура ва намликни бошқариш зарур бўлган пайтларда юқори частотали токлар майдонидан фойдаланиш мумкин. Бу усул билан пластик массалар ва бошқа диэлектрик хоссаларга эга бўлган материалларни қуритиш мумкин. Юқори частотали қуриткичдан фойдаланилганда материал бутун қатлам бўйича бир текис қизийди. Асосий камчилиги 1 кг намликнинг буғланиши учун 5 кВт · соат гача энергия сарф бўлади.

14.32-расмда юқори частотали токлар билан ишлайдиган қуриткич схемаси кўрсатилган. Материал юқори частотали токка уланган пластиналар ўртасига жойлаштирилади. Ўзгарувчан электр токи таъсирида қуритилаётган материалнинг молекулалари тебранма ҳаракатга келади, бунда материал бутун қалинлиги бўйича қизийди. Материалнинг юзасидан иссиқлик ташқи муҳитга тарқалади, шу сабабли температура материал марказидан унинг сиртига томон камайиб боради. Намлик ҳам марказдан материал сиртига томон камаяди. Шундай қилиб, юқори частотали қуритишда температура ва намлик градиентларининг йўналишлари бир хил бўлади, натижада намликнинг материал марказидан унинг сирти томон ҳаракати тезлашади. Шу сабабли юқори частотали қуритишнинг тезлиги конвектив қуритиш тезлигига нисбатан анча катта.

Диэлектрик қуриткичларда қалин қатламли материалларни бир текисда қуритиш мақсадга мувофиқдир, бироқ бунда кўп энергия сарф бўлади. Бундан ташқари, диэлектрик қуриткичларнинг тузилиши мураккаб, уларни ишлатиш эса анча қиммат. Шу сабабли юқори частотали қуриткичлардан фақат қимматбаҳо диэлектрик материалларни сувсизлантиришда фойдаланиш иқтисодий самара беради.

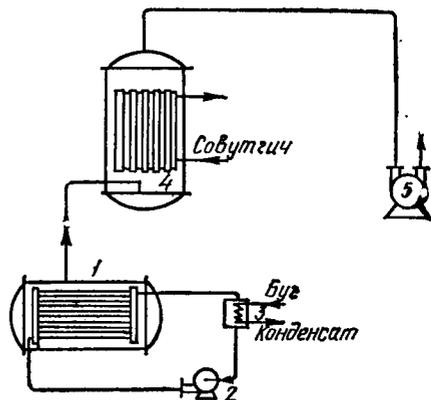
**Сублимацияли қуриткичлар.** Материалларни музлаган ҳолда юқори вакуум остида сувсизлантириш сублимацияли қуритиш деб аталади. Бундай шароитда материалдаги намлик муз ҳолида бўлиб, сўнгра бу муз суюқлик ҳолига ўтмасдан тўғридан-тўғри буғга айланади. Сублимацияли қуритишдаги қолдиқ босим 1,0 ... 0,1 мм симоб устунига (ёки 0,013 ... 0,133 кПа) тенг.

14.33- расмда сублимацияли қуриткичнинг схемаси кўрсатилган. Қуриткич учта элемент (қуритиш камераси, конденсатор — музлаткич, вакуум-насос)дан ташкил топган. Конденсатни совитишга мўлжалланган совитиш қурилмаси эса расмда кўрсатилмаган. Қуритиш камераси (ёки сублиматор) даврий равишда ишлайди. Сублиматорнинг ичидаги этажеркаларга ичи бўш токчалар ўрнатилган. Токчаларнинг ичидан иссиқ сув насос ёрдамида циркуляция қилинади.

Токчаларнинг устига қуритиладиган материал солинган махсус идишлар жойлаштирилади. Сублиматордан чиққан сув буғи ва ҳаво аралашмаси конденсаторга ўтади. Конденсатор иссиқлик алмашилиниш аппарати-дан иборат бўлиб, унинг трубалар жойлашган тўри маҳкамланмаган. Бу конденсатор трубаларининг ораллигидаги бўшлиққа совитувчи агент (масалан, аммиак) берилади. Конденсаторда сув буғлари конденсацияга учраб муз ҳосил қилади, ҳаво эса вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади. Ишлаш давомида конденсатор трубалари муз билан қопланиб қолади, бу музни эритиш учун совитувчи агент ўрнига иссиқ сув юборилади.

Материал таркибидан намликни чиқариб юбориш уч босқичдан иборат: 1) қуритиш камерасида босим камайиши билан намликнинг ўз-ўзидан музлаши содир бўлади ва материалнинг ўзидан чиққан иссиқлик ҳисобига музнинг буғга айланиши юз беради (бунда бор намликнинг 15 проценти ажралади); 2) намлик асосий қисмининг сублимация йўли билан ажралаши, бу қуритишнинг ўзгармас тезлик даврига тўғри келади; 3) қолган намликни материалдан иссиқлик таъсирида ажратиш. Сублимацияли қуритиш пайтида намликнинг материал юзасидан буғ ҳолида тарқалиши эффузия (яъни буғ молекулаларининг бир-бири билан ўзаро тўқнашмасдан эркин ҳаракати) йўли билан боради.

Сублимацияли қуритиш учун паст температурали (40 ... 50° С) ва кам миқдордаги иссиқлик талаб қилинади, бироқ энергиянинг умумий сарфи ва қурилмани ишлатишга кетадиган маблағлар сарфи бошқа қуритиш усулларига қараганда (диэлектрик қуритишдан ташқари) анча юқори. Шу сабабли сублимацияли қуритиш айрим пайтлардагина ишлатилади. Ҳозирги кунда сублимация усули билан асосан юқори температураларга чидамсиз ва биологик хоссалари узоқ вақт сақланиб қолиниши зарур бўлган қимматбаҳо моддалар (пеницилин ва бошқа медицина препаратлари, юқори сифатли озиқ-овқат маҳсулотлари) қуритилади.



14. 33- расм. Сублимацияли қуриткич:

1 — қуритиш камераси; 2 — насос; 3 — иситкич;  
4 — конденсатор музлаткич; 5 — вакуум-насос.

## 15-боб. КРИСТАЛЛАНИШ

### 15.1-§. Умумий тушунчалар

Эритмалардан эриган қаттиқ фазанинг кристалл ҳолида ажралиши *кристалланиш* дейилади. Кристаллар — қирралари ҳар хил геометрик шаклдаги бир жинсли қаттиқ моддалардир. Ҳар бир химиявий бирикмадаги кристалл шакллари бир-биридан симметрия ўқларининг сони ва жойлашиши билан фарқланади. Бу бирикмадаги бир неча кристалл шакллариининг ҳосил бўлиши полиморфизм дейилади.

Кристалланиш процессининг шаронитига қараб, бир модда таркибида ҳар хил миқдордаги сув молекулалари бўлган кристаллар ҳосил қилади. Бундай кристаллар кристаллогидратлар дейилади.

Химиявий технология саноатида кристалланиш процесси тоза моддалар олиш учун кенг қўлланилади. Озиқ-овқат саноатида кристалланиш процесси қанд-шакар ишлаб чиқаришда, глюкоза олишда, кондитер саноатида ва бошқа соҳаларда ишлатилади. Бир вақтнинг ўзида бир неча кристалларнинг ҳосил бўлиши умумий кристалланиш дейилади. Эритмаларда умумий кристалланиш процесси, эритмалар температурасини ўзгартириш ва эритмадаги эритувчининг бир қисмини буғлатиш билан кристалланаётган модданинг эрувчанлигини камайтириш натижасида амалга оширилади. Бундан ташқари, кристаллар ҳайдаш натижасида ҳосил бўлган буғларни совитиб ҳам олинади:

Саноатда кристалланиш процесси қуйидаги босқичларда боради; 1) кристалланиш; 2) ҳосил бўлган кристалларни эритмалардан ажратиб олиш; 3) кристалларни ювиш ва қуритиш.

### 15.2-§. Кристалланиш процессининг мувозанати ва тезлиги

Кристалланиш процесси эритмадаги қаттиқ фаза эрувчанлигининг ўзгаришига асосланган. Температура ортиши билан моддаларнинг эрувчанлиги кўпайиб, улар яхши эрувчанлик хусусиятига эга бўлади. Температура ортиши билан баъзи моддаларнинг эрувчанлиги камайиб кетади ва улар ёмон эрувчан моддалар ҳисобланади.

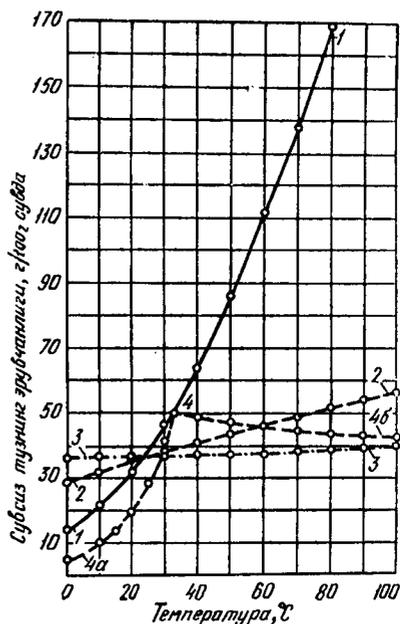
Берилган температурада эритманинг қаттиқ фаза билан мувозанат ҳолатида бўлиши тўйинган эритма дейилади. Тўйинган эритма таркибидаги эриган модданинг миқдори эрувчанлик даражасини белгилайди. Эрувчанлик эриган модданинг ва эритувчининг хоссаларига, температурага ҳамда қўшимча компонентларнинг борлигига боғлиқ. Тўйинган эритма ўз таркибида имкони борича кўп миқдорда эриган модда ушлайди. Бу ҳолатдаги эритма турғун бўлади.

Ўта тўйинган эритма эса ўз таркибида эрувчанлик хусусиятига нисбатан ортиқча миқдорда эриган модда ушлайди. Шу сабабли ўта тўйинган эритмалар турғун бўлмайди. Бундай эритмалардан ортиқча эриган моддалар кристалл ҳолида ажралади, сўнгра эса эритма яна тўйинган ҳолатга ўтади.

15.1-расмда ҳар хил туз эритмаларининг температура таъсирида эрувчанлиги кўрсатилган. Температура ортиши билан калий нитрат тузининг эрувчанлиги бирдан кўпаяди (*1—1-чизиқ*), калий

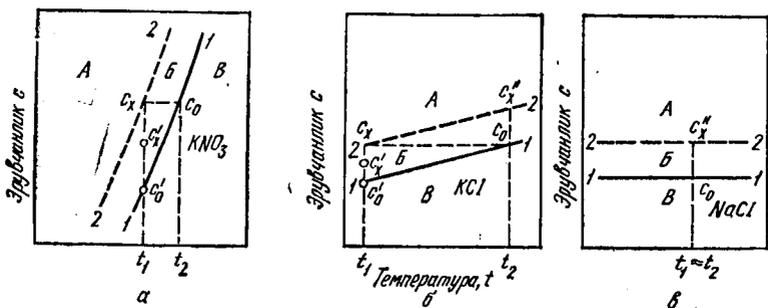
хлорид тузининг эрувчанлиги эса кам ўзгаради (2—2- чизиқ,) натрий хлорид тузининг эрувчанлиги ўзгармайди (3—3- чизиқ.) Натрий сульфат тузининг эрувчанлиги эса таркибидаги кристаллизацион сувга боғлиқ. Агар туз таркибида сув молекулалари бўлса ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), температура ортиши билан унинг эрувчанлиги ошади (4а—4- чизиқ), сувсиз натрий сульфат тузининг эрувчанлиги эса камаяди (4—4б чизиқ).

Эритмаларнинг ҳолат диаграммасидан (15.2- расм) фойдаланиб кристалланиш процессининг энг қулай ва эффектив усулини аниқлаш мумкин. 15.2- расмда уч бинар системадаги эритмаларнинг ҳолат-диаграммаси кўрсатилган. Ҳар бир системада эрувчанлик эгри чизигидан пастда (1—1-чизиқ) тўйинмаган эритмалар соҳаси (В соҳа) туради. Пунктир чизиқлар (2—2) тўйинган эритмалар соҳасини икки қисмга бўлади. Эрувчанлик чизиги билан ўта тўйинган эритмалар соҳасининг орасида эритмалар турғун бўлади (В соҳа). Ўта-тўйинган эритмалар чизигидан пастда эса эритма турғун бўлмайди. Нотурғун концентрацияли соҳага тўғри келган ўта тўйинган эритмалар бирдан кристалланади, турғун соҳада бу эритмаларнинг ҳолати ўзгармайди. Турғун соҳанинг чегаралари эритманинг температурасига, совитиш ва буғланиш тезлигига, аралаштириш интенсивлигига боғлиқ.



15. 1- расм. Турли туз эритмаларининг эрувчанлиги:

1 — 1  $\text{KNO}_3$ ; 2 — 2  $\text{KCl}$ ; 3 — 3  $\text{NaCl}$ ; 4а — 4  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 4 — 4б  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .



15. 2- расм. Эритмаларнинг ҳолат диаграммаси:

1 — 1 — эрувчанлик чизиги; 2 — 2 — мавҳум турғун эритма соҳаларининг чегараси (шартли); А — ўзгарувчан эритмалар соҳаси; В — мавҳум турғун эритмалар соҳаси; В — турғун эритма соҳаси.

Температура таъсирида эрувчанлиги бирдан ўзгарадиган бирик-маларда тўйинган эритманинг температураси кам ( $t_2$  дан  $t_1$  гача) ўзгарганда эритманинг ҳолати турғун соҳага тўғри келади. Концентрация ўзгаргандан ( $C_0$  дан  $C_1$  гача) сўнг ўша тўйинган эритмалар соҳасида эриган қаттиқ фаза ажралиб, кристаллар ҳосил бўлади. Бу вақтда эритма яна қайтадан тўйиниб, концентрацияси камаяди ( $C_0$  дан  $C_x$  гача). Демак, бундай тўйиниш даражасига яқин бўлган эритмалар тезлик билан турғун соҳага ўтказилади ва совитиш натижасида кристалланади.

Температура ортиши билан эрувчанлиги секин ошадиган бирик-малар температуранинг пасайиши натижасида ўта тўйиниш ҳолатига ўтади. Бунда эритмадан кам миқдорда қаттиқ фазалар ажралади, уларнинг миқдори эриган қаттиқ фазаларнинг миқдорига тўғри пропорционал бўлади.

15.2- расм, б дан кўриниб турибдики, ўзгармас температурада тезлик билан ўта тўйиниш соҳасига тўғри келадиган эритманинг ҳолатига эришиш мумкин ( $C_0$  нуқтадан  $C_x$  нуқтагача бўлган вертикал қисм). Демак, эритма кристалланиши учун эритувчининг бир қисмини буғлатиб йўқотиш лозим.

Температура катта интервалда ўзгарганда ҳам эрувчанлиги доимий бўлган эритмалар буғлатиб кристалланади.

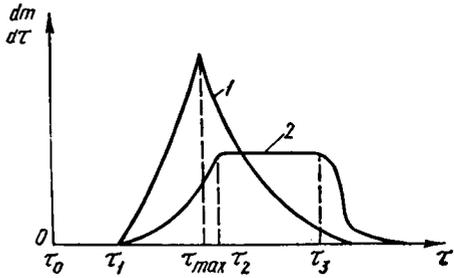
Кристалланиш тезлиги эритманинг тўйиниш даражасига, температура-сига, кристалларнинг ҳосил бўлишига, аралаштириш интенсив-лигига ҳамда эритмадаги қўшимча аралашмаларнинг таркибига боғ-лиқ. Кристалларнинг ҳосил бўлиши ва унинг ўсишига таъсир қилувчи факторларни ўзгартириш билан керакли ўлчамдаги кристалл маҳ-сулотлар олиш мумкин. Ўта тўйинган ва ўта совитилган эритмаларда ўз-ўзидан кристалланиш маркази ҳосил бўлади. Эритмада эриган модда айрим ионларининг (молекулаларнинг) бир-бирига урилиб, заррачалар уюшмаси ҳосил бўлиши натижасида дастлабки кристал-лар пайдо бўлади.

Кристалланиш марказлари ҳаракатчан бўлгани учун эриган мод-даларнинг кристалланиши кўринмайди. Бундай яширин кристалл ҳосил бўлишининг бошланғич даври *индукцияли кристалланиш* дейи-лади. Индукцияли кристалланишнинг даври эриган модда ва эритув-чининг табиатига, ўта тўйиниш даражасига ва эритманинг тозалигига нисбатан бир неча секунддан то ойларгача давом этиши мумкин. Бу процессни тезлатиш учун ўта тўйинган эритмаларга эриган модда-нинг кристаллари қўшилади.

Дастлабки кристалларнинг ҳосил бўлишини тезлатиш учун темпе-ратурани ошириш, эритмаларни аралаштириш ва ташқи механик куч-лар таъсир эттириш керак. Бундан ташқари, дастлабки кристаллар-нинг ҳосил бўлишига кристаллизатор деворларининг ғадир-будирлиги, аралаштиргич материали катта таъсир кўрсатади.

Кристалланиш шароитига қараб процесснинг тезлиги вақт бўйича кенг интервалда ўзгаради. Индукцияли кристалланиш даврида тез-лик нолга тенг бўлиб, сўнгра маълум вақт давомида максимум қий-матга, кейин эса яна қайтадан нолга тенг бўлади (15.3- расм). Ўта тўйиниш даражаси жуда юқори бўлган эритмаларда тезлик бирдан

максимал қийматга эга бўлади (1 эгри чизик). Ўта тўйиниш даражаси камроқ бўлган ёки кристалланиш процессига салбий таъсир қилувчи қўшимча аралашмали эритмаларда индукцияли кристалланиш процессида тезлик маълум вақтгача максимал қийматга эга бўлиб, шу соҳада у горизонтал чизик бўйича ўзгармас қийматга эга бўлади.



15.3-расм. Кристалланиш тезлигининг вақт бўйича ўзгариши:

1— ўта юқори даражада тўйинган эритмалар; 2— ўта тўйинган эритмалар.

Умуман олганда, температура кристалларнинг ўсиш тезлигига ижобий таъсир қилади, чунки

юқори температурада эритманинг қовушқоқлиги камайиб, диффузия процесси яхши кетади. Аммо температура таъсирида кўп миқдорда майда кристаллар ҳосил бўлади. Бундан ташқари, температура ортиши билан эрувчанлик кўпайиб, эритманинг тўйиниш даражаси камаяди, натижада процесснинг ҳаракатлантирувчи кучи камаяди.

### 15.3-§. Кристалларни ҳосил қилиш усуллари ва унинг хоссаларига кристалланиш шароитининг таъсири

Қаттиқ эриган моддаларни кристалл ҳолида ажратиб олиш учун эритмалар ўта тўйинган ҳолатга келтирилади. Ўта тўйинган эритмалар қуйидаги усуллар билан олинади: 1) эритмалардаги эритувчининг бир қисмини буғлатиш йўли билан уни қуйилтириш; 2) эритмаларни совитиш билан эрувчанликни камайитириш; 3) эритмаларга эритувчини ўзига бириктирувчи ёки эрувчанликни камайитирувчи моддаларни қўшиш; 4) умумлаштирилган усул.

Буғлатиш йўли билан кристалланиш процессида эритувчи буғлатиш аппаратларида иситувчи труба деворлари орқали иссиқлик воситасида буғлатилиб, шу аппаратнинг ўзида кристалланиш процесси содир бўлади. Бу усул *изотермик кристалланиш* дейилади. Бу усулнинг камчилиги шундаки, кристаллар иссиқлик ўтказиш юзасига чиқиб, ёпишиб қолади. Юзада қовушиб қолган кристалларнинг миқдорини камайитириш учун эритмаларнинг циркуляцияланиш тезлиги кўпайтирилади.

Кристаллар эритмадан филтлда ёки центрифугаларда ажратиб олиниб, кейин эса ювилади.

Яхши эрувчанлик хусусиятига эга бўлган тузли эритмаларни совитиш натижасида ўта тўйинган эритмалардан кристаллар ажралиб чиқади. Бу процесс бир ва кўп босқичли аппаратларда даврий ва узлуксиз равишда олиб борилади. Совитувчи агент сифатида сув ва ҳаво ишлатилади. Ҳаво билан совитиш процессининг тезлиги жуда секин бўлиб, узоқ давом этади, лекин бу ҳолда катта ўлчамли кристаллар олиш мумкин.

Тузли эритмаларнинг эрувчанлиги ёмон бўлса, кристалланиш процесси эритмаларни иситиш йўли билан олиб борилади.

Умумлаштирилган усулда кристалланиш процесси вакуум остида, эритувчининг бир қисмини иситувчи агент воситасида буғлатиб йўқотиш ҳамда майдалаш (фракцияларга ажратиш) усули билан олиб борилади. Вакуум остида кристалланиш процессида иссиқлик аппарат деворлари орқали берилиб, эритманинг бир қисмини буғлатиш учун сарфланади. Ҳосил бўлган буғлар вакуум-насос орқали тортиб олинади. Берилаётган иссиқ тўйинган эритманинг температураси аппаратдаги босимга мос равишда, яъни қайнаш температурасигача камаёди. Бу процесс адиабатик процесс режимида боради. Ўта тўйинган эритмалар бутунлай совитилганда унда эриган модданинг концентрацияси кам миқдорда ўзгаради. Эритувчи эритманинг иссиқлик, физик хусусияти ҳисобига ҳамда кристалланиш процессида ажралиб чиққан иссиқлик таъсирида буғланади. Бунда кристалланиш процесси бутун аппаратнинг ҳажми бўйича боради. Натижада аппаратнинг девор юзасида кам миқдорда кристаллар ажралиб чиқади.

Эритманинг устки юзасидаги эритувчининг бир қисми ҳаво ҳаракати воситасида йўқотилади. Бир вақтнинг ўзида эритма совитилиб, ўта тўйинган эритма ҳосил қилинади ва бунда кристаллар ажралиб чиқади.

Эритмадан бир неча моддаларни бир вақтнинг ўзида ажратиб олиш учун майдалаш ёки фракциялаш усули қўлланилади. Бу процессда шароитга қараб, эритманинг концентрацияси ва температурасини ўзгартириб, моддаларни кетма-кет чўкмага тушириб ажратиб олинади.

Кристалланиш процессига қараб кристалларнинг шакли, катталиги, гранулометриқ таркиби, тозаллиги ҳар хил бўлиши мумкин. Кристалларнинг шакли кристалланаётган модданинг табиатига, эритма таркибидаги қўшимча аралашмалар миқдорига боғлиқ. Тоза ҳолдаги калий хлорид эритмасидан (кристалланиш процессида куб эритмага мочевина аралашган бўлса) октаэдрсимон куб шаклидаги кристаллар олинади. Мавҳум қайнаш қатламида тўғри шаклли ва тўғри қиррали кристаллар олиш мумкин.

Ўта тўйиниш даражаси кам бўлган эритмалардан кристалларни секин ўстириб, катта ўлчамли кристаллар олинади. Кристалларнинг катталиги эритмаларни аралаштириш усули ва интенсивлигига боғлиқ. Аралаштириш кристалларнинг ҳосил бўлишига икки хил таъсир қилади, яъни биринчидан, эритмани интенсив аралаштириш натижасида диффузия орқали кристалл қирраларига кўпроқ модда ўтиб у катталашади, иккинчидан кўп майда кристаллар ҳосил бўлади. Шу сабабли олинаётган кристаллнинг катталиги билан аппарат унумдорлигининг ўзаро боғлиқлигига қараб суюқликнинг ҳаракат тезлиги ҳар хил кристаллар учун тажриба орқали аниқланади.

Умуман, кристалларнинг гранулометриқ таркибидаги майда зарраларнинг миқдорини эритма температураси ва концентрациясининг ўзгариш чегараларини қисқартириб камайитириш мумкин.

Тоза ҳолдаги моддалар энг эффектив ва кенг тарқалган ягона усул—кристалланиш орқали олинади. Моддаларнинг тозаллик даражаси кристалланиш процессининг шароитига ҳамда ювиш ва филтрлаш процессларига боғлиқ. Кристаллдаги қўшимча аралашмалар дастлаб-

ки эритма таркибидаги моддаларнинг кристалл қирраларидаги тешикларига кириб қолиши ва эритма юзасига ютилишидан ҳосил бўлади. Кристаллдаги бу қўшимча аралашмалар дастлабки эритмани филтрлаш ва химиявий қайта тозалаш орқали йўқотилади. Кристаллар қанча кичик бўлса, унинг юзасида шунча кўп эритма қолади. Кристалларни ювиш орқали унинг тозалик даражаси оширилади. Кристаллда ювишдан қолган намлик қуришиб йўқотилади. Соф ҳолдаги кристалл олиш учун олинган кристалл яна қайтадан кристалланади.

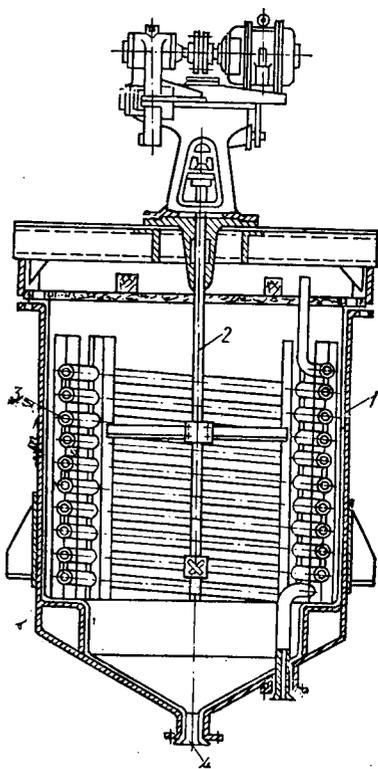
#### 15.4-§. Кристаллизаторлар

Кристалланиш процессини амалга ошириш учун турли кристаллизаторлар ишлатилади.

**Аралаштиргичли кристаллизатор.** Бундай аппаратлар — ичида аралаштиргичи бўлган идишдан иборат. Совитувчи агент (сув ёки ҳаво) змеевик бўйича ҳаракат қилади (15.4-расм). Аралаштиргич айланиши натижасида эритмадан ажаралаётган кристаллар аппарат тагига тушмасдан, балки эритмада муаллақ ҳолда (мавҳум қайнаш ҳолатида) бўлади. Бундай аппаратлар даврий ёки узлуксиз ишлаши мумкин. Агар аппарат даврий ишласа, у эритма билан тўлдирилади, кристалланиш процесси тугагач, пастки штуцер орқали маҳсулот туширилади. Узлуксиз ишлаш режимида эса бир неча аппаратлар кетма-кет уланган бўлиб, эритма биринчисидан иккинчи аппаратга ўтказилади. Аралаштиргичли кристаллизаторларнинг тузилиши оддий бўлгани учун саноятда кенг ишлатилади.

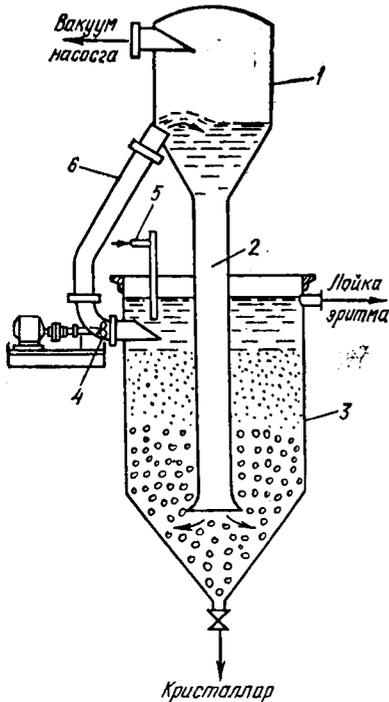
**Узлуксиз ишлайдиган вакуум-кристаллизатор.** Эритмани қисман буғлатиш учун у буғлатиш камерасига юборилади. Буғлаткичда вакуум-насос ва конденсатор ёрдамида вакуум (бўшлиқ) ҳосил қилинади (15.5-расм). Буғлаткичдан эритма барометрик труба орқали йиғгичга ўтади. Ҳосил бўлган сув буғлари вакуум-насос орқали тортиб олинади. Чўкмага тушган кристаллар йиғгичнинг пастки қисмидан туширилади. Кристаллардан ажралган эритма йиғгичнинг юқориги қисмидан узатилади. Бундай кристаллизаторлар химия санюатида энг кўп тарқалган. Вакуум-кристаллизаторларда майда ўлчамли кристаллар олинади.

**Мавҳум қайнаш қатламида ишлайдиган кристаллизаторлар.** Бун-



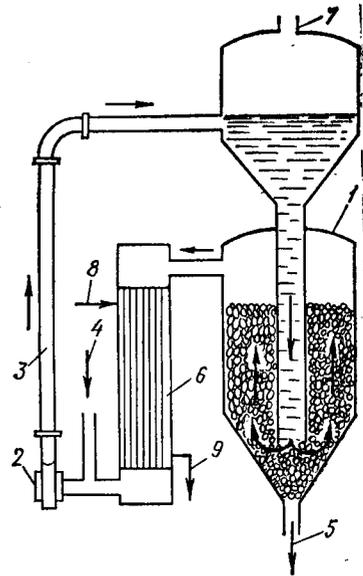
15. 4- расм. Аралаштиргичли кристаллизатор:

1— идиш; 2— аралаштиргич; 3— змеевик; 4— туширувчи патрубкка.



15. 5- расм. Узлуксиз ишлайдиган вакуум- кристаллизатор;

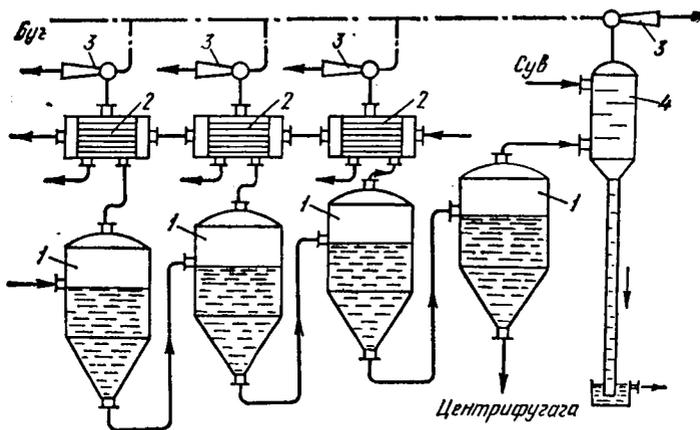
1— буғлаткич; 2— барометрик труба; 3— йиргич; 4— насос; 5— эритма берувчи труба; 6— циркуляция трубаси.



15, 6- расм. Мавҳум қайнаш қатлам-ли кристаллизатор:

1— корпус; 2— циркуляцион насос; 3— узатувчи труба; 4— эритма бериладиган патрубкка; 5— кристалл маҳсулоғи чиқадиган патрубкка; 6— буғлаткич; 7— иккинчи буғ чиқадиган патрубкка; 8, 9— буғ ва конденсат патрубккалари.

дай кристаллизаторлар катта ўлчамли бир хил шаклдаги кристаллар олиш учун ишлатилади. Мавҳум қайнаш қатламли кристаллизаторларда кристалланиш процесси эритма бир қисмининг буғлатилиши ёки эритманинг совитилиши билан олиб борилади. Мавҳум қайнаш қатламли буғлатувчи кристаллизаторнинг тузилиши 15.6- расмда кўрсатилган. Бу аппарат кожух трубади совиткич ва циркуляция қилувчи насосдан иборат. Узлуксиз сўрилувчи труба орқали берилётган, иссиқлик оқими концентрланган (қуюлтирилган) эритма ва айланма оқим билан оқётган қисман кристаллардан ажралган суюқлик қолдиғи билан аралашади. Бу оқимнинг миқдори дастлабки берилётган эритманинг миқдорига нисбатан бир неча марта кўп бўлгани учун аралашган эритманинг концентрацияси ва температураси кам ўзгаради. Шу сабабли циркуляцияли насос орқали аралашган эритмани кожухли совиткичга узатиб совитилганда, эритма камроқ тўйинади. Сўнгра эритма аппаратнинг пастки қисмига берилиб, келаётган иссиқлик оқими билан аппаратдаги кристаллар қайнаб, тўйинган эритма ҳисобига кристаллар катталашади. Ўз таркибиде жуда майда кристалларни ушлаган, қисман кристаллардан ажралган суюқлик қолдиғи узлуксиз сўрувчи трубага тушиб, берилётган эритма билан



15. 7- расм. Кўп поғонали вакуум- кристаллизатор:

1— буғлатиш камераси; 2— сиртий конденсатор; 3—буғ оқимли насос; 4— барометрик конденсатор. аралашиб яна насос орқали узатилади ва цикл қайтадан такрорланади. Ҳосил бўлган кристалл маҳсулотлари аппаратнинг пастки қисмидан ажратиб олинади.

Совитувчи суюқликнинг сарфи ва температураси совиткич юзасида ҳар хил кристалларнинг ёпишиб қолмаслиги учун, иссиқлик агентлари орасидаги температуралар юқори ва бир хил бўлишлиги учун ҳисоблаб танлаб олинади. Шунинг учун совиткичга кираётган ва чиқаётган суюқликнинг керакли температурасини ҳосил қилиш мақсадида қўшимча циркуляция контуридан фойдаланилади.

Саноатда кўп миқдордаги кристаллар олиш учун кўп поғонали кристаллизаторлар ишлатилади. Бунда бир неча аппарат кетма-кет уланиб, вакуумнинг миқдори аппаратлар сонига қараб аста-секин ошиб боради (15.7- расм). Ҳар қайси аппарат учун буғларни конденсациялашга алоҳида сиртий конденсаторлар ўрнатилади. Конденсаторлар совитувчи сувнинг оқим йўналишига қараб кетма-кет уланади. Иссиқ концентранган эритма узлуксиз равишда биринчи аппаратга берилиб, қисман буғлатилади ва вакуум ҳисобига совитилади. Иккиламчи буғ конденсаторга узатилади, у бирмунча совитиш натижасида кристаллар ҳосил бўлган тўйинган эритма, кейинги аппаратларда кўпроқ вакуум бўлгани учун, уларга ўз-ўзидан оқиб тушади. Кристалл маҳсулотлари ва эриган моддаларни ўзида ушлаган кристаллардан ажралган суюқлик барометрик труба орқали тортиб олинади. Ҳосил бўлган кристалларнинг катталиги 0,2 ... 0,25 мм бўлади.

Бундан ташқари, саноатда ўта тўйинган эритмалардан кристаллар олиш учун тебранма, барабанли, шнекли ва вальцовкали кристаллизаторлар ҳам ишлатилади.

### 15.5- §. Кристаллизаторларни ҳисоблаш

Кристалланиш процессининг моддий баланс. Эритувчининг бир қисмини йўқотиш билан борадиган кристалланиш процессида моддалар миқдорларини аниқлаш учун уларнинг катталикларини қуйидагича белгилаймиз:

$G_s, G_{кр}, G_k$  — дастлабки эритманинг, ажралган кристалларнинг ҳамда кристаллардан ажралган, ўз таркибида эриган моддалар ушлаган суюқлик қолдиғининг миқдорлари;

$e_s, e_k$  — дастлабки эритма ва кристаллардан ажралган суюқлик қолдиғи таркибидаги эриган модда концентрацияларининг улушлари;

$a = M/M_{кр}$  — эриган абсолют қуруқ модда молекуляр массасининг кристаллгидратнинг молекуляр массасига нисбати;

$W$  — йўқотилган эритувчининг миқдори.

Бунда умумий баланс қуйидагича бўлади:

$$G_s = G_{кр} + G_k + W. \quad (15.1)$$

Эриган абсолют қуруқ моддага нисбатан баланс қуйидагича ёзилади:

$$G_s e_s = G_{кр} \cdot a + G_k e_k. \quad (15.2)$$

(15.1) ва (15.2) тенгламаларни биргаликда ечиб, олинган кристалларнинг массаси аниқланади. Бу вақтда эритманинг миқдори ҳамда унда эриган модданинг концентрацияси ва суюқлик қолдиғидаги эриган модданинг концентрациялари берилган бўлади. Ҳосил бўлган кристалларнинг массаси эса;

$$G_{кр} = \frac{G_s (e_k - e_s) - W e_k}{e_k - a}. \quad (15.3)$$

Агар  $a = 1$  бўлса,  $G_{кр} = G_s \left(1 - \frac{e_s}{e_k}\right) W$  (15.4)

Совитиш усули билан ишлайдиган кристаллизаторларни ҳисоблаш. Бу кристаллизаторларда эритма буғлатилмагани учун  $W = 0$  бўлади. Ҳосил бўлган кристалларнинг миқдори:

$$G_{рк} = \frac{G_s (e_s - e_k)}{a - e_k}. \quad (15.5)$$

$a = 1$  бўлганда  $G_{кр} = \frac{G_s e_s - e_k}{1 - e_k}$ . (15.6)

Эритувчининг буғ ҳолида буғлатиш учун сарфланган газ миқдори қуйидагича аниқланади:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}; \quad (15.7)$$

бу ерда  $L$  — қуруқ газнинг сарфи, кг;  $x_1, x_2$  — газнинг бошланғич ва процесс охиридаги намлик ушлаш қобилияти;

Қаттиқ кристалл ҳолидаги модданинг эриши натижасида кристалл тўсиқларини ажратиш учун иссиқлик ютилади. Қаттиқ модданинг эритувчи билан ўзаро химиявий таъсирида иссиқлик ажралади. Ютилган ва ажралиб чиққан иссиқликларнинг миқдорларига нисбатан кристаллашнининг иссиқлик эффекти ижобий ёки салбий бўлиши мумкин.

Кристаллизаторларнинг умумий совитиш ва иситиш юзалари умумий иссиқлик баланси тенгласидан топилади, сўнгра бу қиймат асосида кристаллизаторнинг асосий ўлчамлари аниқланади.

## А Д А Б И Е Т

1. А. Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия, 1973.
2. А. К. Плановский, П. И. Николаев. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М., Химия, 1972.
3. Н. И. Гельперин. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия, 1981.
4. В. Н. Стабников, В. Д. Попов, Ф. А. Редько, В. М. Лысянский. Процессы и аппараты пищевых производств. М., Пищевая промышленность, 1971.
5. Ю. К. Молоканов. Процессы и аппараты нефтегазопереработки. М., Химия, 1980.
6. В. Б. Коган. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л., Химия, 1977.
7. А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. Методы оптимизации в химической технологии. М., Химия, 1975.
8. Современные проблемы химической технологии. Сборник трудов П. Г. Романков таҳрири остида, Ленсовет номидаги ЛТИ нашриёти, Л., 1975.
9. П. Г. Романков, М. И. Курочкина. Гидромеханические процессы химической технологии. Л., Химия, 1974.
10. Н. И. Гельперин. Основы техники псевдооживления. М., Химия, 1967.
11. В. А. Жужиков. Фильтрование, М., Химия, 1980.
12. В. И. Соколов. Центрифугирование. М., Химия, 1976.
13. К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. Л., Химия, 1981.
14. М. А. Михеев, И. М. Михеева. Основы теплопередачи. М., Энергия, 1977.
15. П. Г. Романков, В. Ф. Фролов. Теплообменные процессы химической технологии. Л., Химия, 1982.
16. И. И. Чернобыльский. Выпарные установки. Киев. Киев университети нашриёти, 1960.
17. П. Г. Романков, Н. Б. Рашковская, В. Ф. Фролов. Массообменные процессы химической технологии. Л., Химия, 1975.
18. В. В. Кафаров. Основы массопередачи. М., Высшая школа, 1979.
19. Ю. И. Дытнерский. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М., Химия, 1975.
20. В. М. Рамм. Абсорбция газов. М., Химия, 1978.
21. И. П. Левш, А. К. Убайдуллаев. Тарелчатые абсорберы и скрубберы с псевдооживленным (подвижным) слоем орошаемой насадки. Т., «Ўзбекистон», 1981.
22. И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский, А. С. Решанов, В. Н. Соколов. Машины и аппараты химических производств. Л., Машиностроение, 1982.
23. Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. Растворение твердых веществ. М., Химия, 1978.
24. Р. Трайбал. Жидкостная экстракция. М., Химия, 1966.
25. Салимов З. Интенсификация технологических процессов производства растительных масел. Т., «Ўзбекистон», 1981.
26. П. Г. Романков, Н. Б. Рашковская. Сушка во взвешенном состоянии. Л., Химия, 1979.
27. Л. Н. Матусевич. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. М., Химия, 1968.

## М У Н Д А Р И Ж А

С ўз боши . . . . .	3
Қириш . . . . .	4
<b>1-боб. Умумий тушунчалар . . . . .</b>	<b>6</b>
1.1- §. Процесс ва аппаратлар фанининг мазмуни . . . . .	6
1.2- §. Процесс ва аппаратлар фанининг келиб чиқиши ва ривожланиши . . . . .	7
1.3- §. Асосий процессларнинг турлари . . . . .	8
1.4- §. Гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашинув процессларининг бирлиги . . . . .	9
1.5- §. Ўхшашлик назариясининг асослари . . . . .	10
1.6- §. Физик катталикларнинг ўлчов системалари . . . . .	16
<b>ГИДРОМЕХАНИК ПРОЦЕССЛАР . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>2-боб. Техникавий гидравлика асослари . . . . .</b>	<b>20</b>
2.1- §. Асосий таърифлар . . . . .	20
2.2- §. Сууюқликларнинг асосий физик хоссалари . . . . .	21
2.3- §. Мувозанат ҳолатининг дифференциал тенгламаси . . . . .	23
2.4- §. Гидростатиканинг асосий тенгламаси . . . . .	25
2.5- §. Босим ҳақида тушунча . . . . .	26
2.6- §. Сууюқлик ҳаракатини тафсилловчи асосий катталиклар . . . . .	26
2.7- §. Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси . . . . .	28
2.8- §. Сууюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси . . . . .	29
2.9- §. Ҳаракатнинг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси . . . . .	30
2.10- §. Бернулли тенгламаси . . . . .	32
2.11- §. Сууюқликларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш . . . . .	34
2.12- §. Сууюқликларнинг тешиклар оққали оқиб чиқиши . . . . .	37
2.13- §. Трубалардаги гидравлик қаршиликлар . . . . .	39
2.14- §. Сууюқликларнинг донасимон қатламдан ўтиши . . . . .	41
2.15- §. Мавҳум қайнаш қатламининг гидродинамикаси . . . . .	43
<b>СУЮҚЛИК МУҲИТЛАРИДА АРАЛАШТИРИШ . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>3-боб. Турли жинсли системаларни ажратиш . . . . .</b>	<b>51</b>
3.1- §. Турли жинсли системаларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг классификацияси . . . . .	51
3.2- §. Турли жинсли системаларни ажратиш усуллари . . . . .	53
<b>А. Сууюқлик системаларини ажратиш . . . . .</b>	<b>54</b>
3.3- §. Чўктириш . . . . .	54
3.4- §. Чўктирувчи аппаратлар . . . . .	56
3.5- §. Филтрлаш . . . . .	59
3.6- §. Филтрлаш аппаратлари . . . . .	63
3.7- §. Центрифугалаш . . . . .	67
3.8- §. Центрифугалаш аппаратлари . . . . .	68

<b>Б. Газларни тозалаш . . . . .</b>	<b>70</b>
3.9- §. Умумий тушунча . . . . .	70
3.10- §. Марказдан қочма куч таъсирида ажратиш . . . . .	71
3.11- §. Циклонларни ҳисоблаш . . . . .	74
3.12- §. Филтёрлар ёрдамида тозалаш . . . . .	75
3.13- §. Сууюқлик билан ювиб газларни тозалаш . . . . .	78
3.14- §. Электр майдон таъсирида чуқтириш . . . . .	81
<b>4-боб. Насосларнинг турлари ва асосий параметрлари . . . . .</b>	<b>83</b>
<b>А. Сууюқликларни узатиш . . . . .</b>	<b>83</b>
4.1- §. Умумий тушунча . . . . .	83
4.2- §. Насосларнинг турлари ва асосий параметрлари . . . . .	84
Насоснинг асосий параметрлари . . . . .	84
4.3- §. Насосларнинг умумий напори ва сўриш баландлиги . . . . .	86
4.4- §. Марказдан қочма типдаги насослар . . . . .	88
4.5- §. Парракли насосларнинг иш ва умумий характеристикалари. Про- порционаллик қонуни . . . . .	91
4.6- §. Насосларнинг иш нуқталарини аниқлаш. Кавитация ҳодисаси . . . . .	93
4.7- §. Поршенли насослар . . . . .	94
4.8- §. Махсус насослар . . . . .	96
<b>Б. Газларни сиқиш ва узатиш . . . . .</b>	<b>101</b>
4.9- §. Умумий тушунчалар . . . . .	101
4.10- §. Газ сиқишнинг термодинамик асослари . . . . .	102
4.11- §. Поршенли компрессорлар . . . . .	104
4.12- §. Роторли компрессорлар . . . . .	107
4.13- §. Марказдан қочма принципда ишловчи машиналар . . . . .	110
4.14- §. Вакуум насослар . . . . .	113
4.15- §. Насос ва компрессорларни танлаш . . . . .	115
<b>ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ПРОЦЕССИЛАРИ . . . . .</b>	<b>117</b>
<b>5-боб. Химиявий аппаратларда иссиқлик ўтказиш асослари . . . . .</b>	<b>117</b>
5.1- §. Умумий тушунчалар . . . . .	117
5.2- §. Иссиқлик ўтказувчанлик . . . . .	118
5.3- §. Иссиқликнинг нурланиши . . . . .	123
5.4- §. Конвектив иссиқлик алмашилиш . . . . .	127
5.5- §. Конвектив иссиқлик алмашилишнинг тажриба натижалари . . . . .	130
5.6- §. Агрегат ҳолатнинг ўзгаришида иссиқлик бериш . . . . .	135
5.7- §. Донатор материаллар қатламида иссиқликнинг тарқалиши . . . . .	138
5.8- §. Иссиқликнинг ўтиши . . . . .	140
5.9- §. Иссиқлик процессларининг ҳаракатлантирувчи кучи . . . . .	142
5.10- §. Иссиқлик ўтказиш процессларини интенсивлаш . . . . .	144
<b>6-боб. Иссиқлик процессларининг турлари . . . . .</b>	<b>145</b>
<b>А. Иситиш, совитиш ва конденсацияланиш . . . . .</b>	<b>145</b>
6.1- §. Умумий тушунчалар . . . . .	145
6.2- §. Сув буғи ва иссиқ сув билан иситиш . . . . .	146
6.3- §. Тутун газлари билан иситиш . . . . .	149
6.4- §. Юқори температурали моддалар билан иситиш . . . . .	150
6.5- §. Электр токи билан иситиш . . . . .	154
<b>Б. Совитиш ва конденсациялаш . . . . .</b>	<b>156</b>
6.6- §. Оддий температураларгача совитиш . . . . .	156
6.7- §. Буғларни конденсациялаш . . . . .	158
<b>В. Буғлатиш . . . . .</b>	<b>158</b>
6.8- §. Умумий тушунчалар . . . . .	158
6.9- §. Битта аппаратли буғлатиш қурилмаси . . . . .	160

6.10-§. Кўп аппаратли буғлатиш қурилмалари . . . . .	164
Кўп аппаратли қурилмаларнинг схемалари . . . . .	165
<b>7-б о б. Иссиқлик алмашилиниш ва буғлатиш аппаратлари . . . . .</b>	<b>173</b>
7. 1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	173
7. 2-§. Трубади иссиқлик алмашилиниш аппаратлари . . . . .	174
7. 3-§. Змеевикли иссиқлик алмашилиниш аппаратлари . . . . .	180
7. 4-§. Пластинади ва спиралсимон иссиқлик алмашилиниш аппаратлари . . . . .	182
7. 5-§. Филофли ва қиррали иссиқлик алмашилиниш аппаратлари . . . . .	183
7. 6-§. Иссиқлик алмашилиниш аппаратларининг бошқа турлари . . . . .	185
7. 7-§. Сиртий иссиқлик алмашилиниш аппаратларининг ҳисоби . . . . .	187
7. 8-§. Иссиқлик алмашилиниш аппаратларини конструктив ҳисоблаш . . . . .	190
7. 9-§. Иссиқлик алмашилиниш аппаратларининг гидравлик ҳисоби . . . . .	193
7.10-§. Сиртий ва ағлаштирувчи конденсаторлар . . . . .	195
7.11-§. Сиртий конденсаторларни ҳисоблаш . . . . .	197
7.12-§. Барометрик конденсаторни ҳисоблаш . . . . .	198
7.13-§. Циркуляцион трубади буғлатиш аппаратлари . . . . .	199
7.14-§. Ажратилган иситкичи буғлатиш аппаратлари . . . . .	203
7.15-§. Мажбурий циркуляция билан ишлайдиган буғлатиш аппаратлари . . . . .	205
7.16-§. Плёнкали буғлатиш аппаратлари . . . . .	206
7.17-§. Буғлатиш аппаратларининг махсус турлари . . . . .	208
7.18-§. Буғлатиш аппаратларини ҳисоблаш . . . . .	210
7.19-§. Иссиқлик алмашилиниш, конденсатор ва буғлатиш аппаратларини танлаш . . . . .	214
<b>МОДДА АЛМАШИНИШ ПРОЦЕССЛАРИ . . . . .</b>	<b>217</b>
<b>8-б о б. Модда алмашилиниш асослари . . . . .</b>	<b>217</b>
8. 1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	217
8. 2-§. Мувозанат қоидалари . . . . .	219
8. 3-§. Молекуляр ва турбулент диффузиялар . . . . .	222
8. 4-§. Модда бериш процесси . . . . .	226
8. 5-§. Конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси . . . . .	227
8. 6-§. Модда ўтказиш процесси . . . . .	228
8. 7-§. Модда алмашилинишнинг назарий моделлари . . . . .	232
8. 8-§. Модда алмашилиниш процессларининг ўхшашлиги . . . . .	234
8. 9-§. Модда ўтказишнинг ҳаракатлантирувчи кучи . . . . .	237
8.10-§. Қаттиқ фазали системаларда модда ўтказиш процесси . . . . .	243
8.11-§. Модда ўтказиш процессларини интенсиивлаш . . . . .	246
8.12-§. Модда алмашилиниш аппаратларининг ўлчамларини аниқлаш . . . . .	247
<b>9-б о б. Абсорбция . . . . .</b>	<b>250</b>
9.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	250
9.2-§. Абсорбция процессининг мувозанати . . . . .	251
9.3-§. Процесснинг материал баланси . . . . .	254
9.4-§. Абсорбциянинг асосий тенгламаси . . . . .	256
9.5-§. Абсорберларнинг тузилиши . . . . .	257
9.6-§. Абсорберларни ҳисоблаш . . . . .	275
9.7-§. Десорбция . . . . .	284
<b>10-б о б. Сууюқликларни ҳайдаш . . . . .</b>	<b>285</b>
10.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	285
10.2-§. Сууюқлик — буғ системасининг хоссалари . . . . .	287
10.3-§. Оддий ҳайдаш процесси . . . . .	290
10.4-§. Бинар аралашмани ректификация қилиш . . . . .	293
10.5-§. Бинар аралашмаларни узлуксиз ректификация қилишнинг моддий ва иссиқлик баланслари . . . . .	296
10.6-§. Кўп компоненти аралашмаларни ректификациялаш . . . . .	304
10.7-§. Ректификациялаш аппаратларининг тузилиши . . . . .	305
10.8-§. Ректификацион колонналарни ҳисоблаш . . . . .	308

<b>11-боб. Сууюқликларни экстракциялаш . . . . .</b>	<b>311</b>
11.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	311
11.2-§. Сууюқлик—сууюқлик системаларининг мувозанати . . . . .	312
11.3-§. Экстракциялашнинг асосий усуллари . . . . .	314
11.3.-§. Экстракциялаш процессининг тезлиги . . . . .	315
11.5-§. Экстракторларнинг тузилиши . . . . .	317
11.6-§. Экстракциялаш аппаратларини ҳисоблаш . . . . .	323
<b>12-боб. Адсорбция . . . . .</b>	<b>326</b>
12.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	326
12.2-§. Адсорбентларнинг турлари ва уларнинг хусусиятлари . . . . .	326
12.3-§. Адсорбция процессининг мувозанати . . . . .	329
12.4-§. Адсорбция процессининг тезлиги . . . . .	331
12.5-§. Десорбция . . . . .	334
12.6-§. Адсорберларнинг турлари . . . . .	335
12.7-§. Адсорберларни ҳисоблаш . . . . .	339
12.8-§. Ион алмашнинг процесслари . . . . .	342
<b>13-боб. Қаттиқ материалларни экстракциялаш ва эритиш . . . . .</b>	<b>344</b>
13.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	344
13.2-§. Қаттиқ ва сууюқ фазаларнинг ўзаро таъсирланиш усуллари . . . . .	345
13.3-§. Экстракциялаш ва эритиш процессларининг тезлиги . . . . .	347
13.4-§. Экстракциялаш аппаратларининг тузилиши . . . . .	351
13.5-§. Экстракторларни ҳисоблаш . . . . .	354
13.6-§. Экстракциялаш процессларини тезлатиш . . . . .	356
<b>14-боб. Қуритиш . . . . .</b>	<b>359</b>
14.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	359
14.2-§. Нам ҳавонинг асосий параметрлари . . . . .	361
14.3-§. Нам ҳавонинг диаграммаси . . . . .	362
14.4-§. Нам ҳаво ҳолатини диаграммада тасвирлаш . . . . .	363
14.5-§. Қуритиш процессининг мувозанати . . . . .	365
14.6-§. Қуритиш процессининг кинетикаси . . . . .	367
14.7-§. Қуритиш аппаратларининг ҳисоби . . . . .	372
14.8-§. Қуритиш процессларининг вариантлари . . . . .	376
14.9-§. Қуритиш аппаратларининг тузилиши . . . . .	378
Қонвектив қуриткичлар . . . . .	379
Контактли қуриткичлар . . . . .	388
14.10-§. Қуриткичларнинг махсус турлари . . . . .	390
<b>15-боб. Кристалланиш . . . . .</b>	<b>394</b>
15.1-§. Умумий тушунчалар . . . . .	394
15.2-§. Кристалланиш процессининг мувозанати ва тезлиги . . . . .	394
15.3-§. Кристалларни ҳосил қилиш усуллари ва унинг хоссаларига кристалланиш шароитининг таъсири . . . . .	397
15.4-§. Кристаллизаторлар . . . . .	399
15.5-§. Кристаллизаторларни ҳисоблаш . . . . .	401
<b>Адабиёт . . . . .</b>	<b>403</b>

*На узбекском языке*

*САЛИМОВ ЗАКИРДЖАН,  
ТУЙЧИЕВ ИСРАИЛ САЛИХОВИЧ*

**«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**

Учебник для студентов химико-технологических  
факультетов высших технических учебных заведений

*Ташкент «Ўқитувчи» 1987*

Редакторлари *Р. А. Мирзаев, М. Одилова*  
Бадний редактор *Ф. Неккадамбоев*  
Техн. редактор *Т. Грешникова*  
Корректор *Д. Алимова*

ИБ №3668

Теринга берилди 5.11.84. Босишга рухсат этилди 10.02.87. P-00125.  
Формат 60x90/16. Тип. қоғози № 2. Литературная гарн. Кегли 10  
шпонсия. Юқори босма усулида босилди. Шартли б.л. 25,5. Шарт-  
ли кр.-отт. 25,5. Нашр. л 25,0. Тиражи 2000. Зак. 2820. Баҳоси  
1с. 20г.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 129. Навоий кўчаси, 30. Шарт-  
нома 12—205—84.

Ўзбекистон ССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари  
Давлат комитети Тошкент «Матбуот» полиграфия ишлаб чиқариш  
бирлашмасининг Бош корхонасида терилиб, 3-босмаҳонада босил-  
ди. Тошкент, Юнусобод массиви, Мурадов кўчаси, 1. 1987.

Набрано на Головном предприятии, отпечатано в типографии №3  
ТШПО «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам из-  
дательства, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, массив  
Юнусобад, ул. Мурадова, 1.