

Б24.3(075)  
① - 75



**T. ORTIQOV**

# **SANOAT QURILMALARINING ELEKTROMEXANIK TIZIMLARI**



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

T. J. ORTIQOV

# SANOAT QURILMALARINING ELEKTROMEXANIK TIZIMLARI

*Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi  
tomonidan B-5211500 — elektrotexnika  
va elektrotexnologiyalar fanidan bakalavrlar  
uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

«TURON-IQBOL»  
TOSHKENT  
2005

Taqrizchilar:

**A.A. Azizov** — texnika fanlari nomzodi, dotsent,  
**A.T.Imomnazarov** — texnika fanlari nomzodi, dotsent.

Mas'ul muharrir:

**O. O. Xoshimov** — texnika fanlari doktori, professor.

**T. J. Ortiqov**

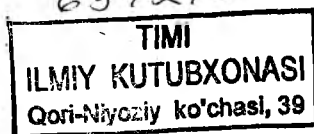
**Sanoat qurilmalarining elektromexanik tizimlari.**

O'quv qo'llanma. T.: «Turon-Iqbol», 2005.— 64 bet.

Ushbu o'quv qo'llanmada yuk ko'tarish kranlari, passajir tashuvchi ko'targich mexanizmlarning asosiy sharoitda ishlayotgan ikki, uch erkin darajali elektromexanik tizimlarining o'tkinchi rejimlari bayon etilgan. Elastiklik bog'lanishi bo'lgan va elastik bog'lanishi bo'lmagan ko'chma mexanizmlarni ishga tushirish va to'xtatishda yukning tebranishini kamaytirish yo'llari ko'rsatilgan, elastik tizimlarning hisoblash sxemasini soddalashtirish usullari keltirilgan. Ekskavatorning bo'ysunuvchi rostlanuvchan tizimlarini sozlashni tanlash bayon etilgan.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiya» yo'nalishi uchun o'quv rejasiga kiruvchi «Elektr yuritma asoslari», «Andozaviy sanoat mexanizmlarining elektr yuritmasi kurslarining asosiy bo'limiga kiruvchi dolzarb va murakkab mexanizmlarning dinamik holatlarini analitik ifodasini berishda va ularning ish rejimini tahlil qilishda shu yo'nalish talabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida foydalanish mumkin.

634210



2402010000  
O — 2005  
M361(04) - 2005

© «Turon-Iqbol»  
nashriyoti, 2005-y.

## KIRISH

Ushbu «Sanoat qurilmalarining elektromexanik tizimlari» kitobi muallifi To'lg'in Jo'rayevich Ortiqov, Abu Rayhon Beruniy nomli Toshkent Davlat texnika universitetining Energetika fakulteti qoshidagi «Elektr yuritma va sanoat qurilmalarini avtomatlashtirish» kafedrasida qariyb 30 yil talabalarga — mazkur kursga oid maxsus fanlardan ma'ruza, tajriba va amaliyot ishlarini olib borib, katta tajriba to'plagan. Mazkur «Umumsanoat qurilmalarining elektromexanikaviy tizimlari» kitobi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiya» yo'nalishi uchun o'quv rejasiga kiruvchi «Elektr yuritma asoslari», «Andozaviy sanoat mexanizmlarini elektr yuritmasi» kurslarining asosiy bo'limiga kiruvchi dolzarb va murakkab mexanizmlar (yuk ko'tarish kranlari, passajir tashuvchi ko'targichlar va ekskavatorlar) dinamik holatlarini analitik ifodasini berishda va ularning ish rejimini tahlil qilishda shu yo'nalish talabalari uchun o'quv qo'llanmasi sifatida foydalanishga imkon beradi.

Muallif elektromexanik tizimda mavjud bo'lgan murakkab jarayonlarni o'zbek tilida aniq bayon etib, tahlil qila bilish imkoniyatiga ega bo'lgan, o'quv qo'llanma talabalar uchun ravon til, uslubiy tomonidan qulay bayon etilgan.

Bu kitob mustaqil Vatanimiz sharofati bilan yozilgan mazkur sohada o'zbek tilidagi birinchi kitob bo'lganligi uchun, uni o'zbek tilida o'quvchi talabaga maxsus fanlarni o'rganishda dasturi amal bo'lishiga imonim komildir.

# I BO'LIM

## UMUM QO'LLANILADIGAN YUK KO'TARUVCHI MEXANIZMLARNING ELEKTROMEXANIKAVIY TIZIMLARI

### 1. Umumiy holat

Hozirgi zamonda elektromexanikaviy tizimlar tahlili yo'nalishida olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar sanoat korxonalarida qo'llaniladigan umum mexanizmlarning elektr yuritmalarini chuqur o'rganishga va sintez qilishga imkon beradi. Bu esa tizimning elastik qismlarida eng katta yuklanishni, hamda qismlar harakatining berilgan trayektoriyalaridan og'ishini aniqlashga, tizimning dinamik holatida yuritmaning parametrlari ta'sirini tahlil qilishga va tizimlar tebranishini kamaytirish yo'llarini ko'rsatishga imkon beradi. Kranlar va liftlar elektr yuritmalarining o'tkinchi jarayonlariga yuklash qurilmasi va muvozanat hosil qiladigan yukning po'lat arqonlarining qattiqligi; ekskavator mexanizmlarida vallarning qattiqligi, qanotining elastikligi, cho'mich va ilgaklarning tebranishiga katta ta'sir qiladi. Uzlüksiz ishlaydigan transport mashinalarining ishlash tartibiga harakatlanayotgan yuklar, lentalar va temir arqon qurilmalarining tebranishi ancha ta'sir qiladi.

Ma'lumki, erkinlik darajasiga ega bo'lgan elastik elektromexanikaviy tizimni ifodalaydigan tenglamani keltirib chiqarish uchun Dalamber prinsipidan foydalaniladi. Bu dinamika masalasini statik masala sifatida ko'rishga imkon beradi. Bunda tenglamalar soni erkinlik darajasi soniga teng bo'ladi.

Odatda elektromexanikaviy tizimlarni sintez qilishda o'tkinchi jarayon rejimida tizimning holatiga kattaroq ta'sir etuvchi, aylanadigan va ilgariylanma harakatlanuvchi elementlarning og'irliklari e'tiborga olinadi.

Kran mexanizmlarining elektr dvigatelning valiga keltirilgan inersiya momentlari elektromexanikaviy tizimning konstruksiyasiga hamda uning og'irlik nisbatlariga bog'liq bo'ladi.

Ko'pchilik kranlarda harakatlanuvchi va buruvchi mexanizmlarning keltirilgan inersiya momentlari elektr dvigatelning inersiya momentidan bir necha marta katta bo'ladi; yuk ko'taruvchi mexanizmlarda esa yukning keltirilgan inersiya momenti elektr dvigatelning rotor inersiya momentidan ancha kichik bo'ladi.

Elektromexanikaviy tizimning dinamikasi shu mexanizmlarda mavjud bo'lgan elastik mexanik aloqalarga ko'proq bog'liqdir. Mexanizmlarning o'zgarishiga yaxshi moyilligi ishchi organni yuritma bilan bog'lovchi arqonlarning konstruktiv maqsadlarda vallar uzunligining oshirilishiga bog'liqdir.

Amaliy hisoblashlarda quyidagilar e'tiborga olinadi: yukni yuqoriga ko'taruvchi mexanizmlarda muftali dvigatellarning inersiya momenti va yukning inersiya momenti; harakatlanuvchi mexanizmlarda — muftali elektr dvigatelning inersiya momenti va kran yoki yukning aylanuvchi qismlarining inersiya momentlari. Mexanizmlarning qattiqligini e'tiborga olishda elastikligi kattaroq bo'lgan bo'g'inlarning: yukning yuqoriga ko'taruvchi mexanizmlarda — arqonlarning qattiqligi; harakatlanuvchi mexanizmlar uchun kranlarning transemissiya vallariga e'tibor beriladi.

Umum qo'llaniladigan qurilmalarda mexanizmlar tizimlari shartli ravishda past chastotali va yuqori chastotali mexanizmlarga bo'linadi. Yuqori chastotali mexanizmlarda xususiy tebranishi yuritmaning ishga tushirish yoki tormozlanish vaqtidan bir necha marta kichik yarim davrga ega bo'lgan tizimlar kiradi. Tizimning bu guruhi uchun xususiy tebranishlari chastotasi quyidagiga teng deb olinadi:

$$\nu = \sqrt{\frac{C(J_1+J_2)}{J_1 \cdot J_2}} > 10^{-1} s$$

Past chastotali tizimlarga tebranishining yarim davri yuritmaning to'la aylanib ketishi yoki tormozlanishi vaqtiga yaqinlashadigan tizimlar kiradi.

Agar yuritma mexanizm anchagina qattqlikka ega bo'lsa, uning asosiy massasi tebranishining chastotasi katta qiymatga ega bo'ladi, demak, birinchi tebranishning birinchi to'liq amplitudasi vaqtning juda kichik ulushida o'zining eng katta qiymatiga erishadiki, bunda elektrodvigatel momenti ishga tushirish vaqtiga, nisbatan sekin o'zgaradi va o'z qiymatini deyarli saqlab qoladi. Bu holda yuqori chastotali tizimlarda taxminan  $M_d = \text{const}$  deb olish mumkin. Tormozlashda tormoz hosil qiladigan moment ham nisbatan sekin o'zgaradi.

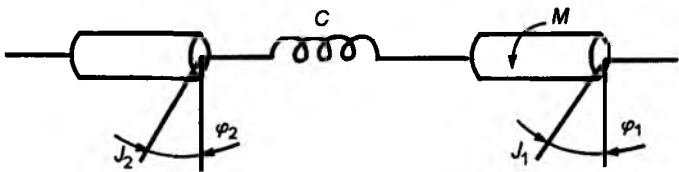
Elastik bo'g'in tomonidan qabul qilinadigan maksimal elastik moment ( $M_{e.\text{maks}}$ )ning hisoblash momenti ( $M_x$ )ga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka tizimning dinamiklik koeffitsiyenti deyiladi:

$$K_{\text{din}} = \frac{M_{e.\text{maks}}}{M_x}.$$

Yuritma parametrlarining mexanizmlarning dinamikasiga ta'sirini aniqlash uchun, mexanizmlar turli darajada yuklangan sharoitda o'tkinchi rejimlarini va boshqarish sxemasining ishlash xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Quyida keltirilgan xulosalar tizimda so'nuvchi tebranishning, tebranish chastotasi va amplitudasini kamaytiruvchi faktorlarni e'tiborga olmagan holda chiqariladi. So'nuvchi tebranishga ta'sir etuvchi faktorlarga: havo qarshiligi, yuritmaning so'ndiruvchi (dempfer) ta'siri va boshqalar kiradi.

## **2. $M_c = 0$ bo'lganda kraning yuqori chastotali elektromexanikaviy o'tkinchi rejimlari**

Kran ilgagida yuk bo'lmagan holda ko'tarish mexanizmi yuritmasining o'tkinchi jarayonlarini ko'rib chiqishda yukni ushlab turuvchi moslama (ilgak)ning og'irligini



1-rasm.

e'tiborga olmay,  $M_c = 0$  deb hisoblash mumkin. Bu holda tizim harakatining differensial tenglamasini quyidagicha yozamiz (1-rasm):

$$J_1 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 + \varphi_2) C = M_d, \quad (1)$$

$$J_2 P^2 \varphi_2 + (\varphi_1 + \varphi_2) C = 0, \quad (2)$$

bu yerda  $J_1$  va  $J_2$  — tizimning harakatga keladigan va harakatga keltiriladigan massasining inersiya momenti;  $C$  elastik bo'g'inning keltirilgan qattiqligi;  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  — masalarning burchak koordinatalari;  $M_d$  — elektr dvigatelni ishga tushirish va tormozlash davrida hosil bo'ladigan keltirilgan moment.

(1) tenglamani  $J_2$  ga (2) tenglamani  $J_1$  ga ko'paytiramiz:

$$J_1 J_2 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 + \varphi_2) J_2 C = M_d J_2,$$

$$J_1 J_2 P^2 \varphi_2 + (\varphi_1 + \varphi_2) J_2 C = 0.$$

(2) tenglamani (1) tenglamadan ayiramiz:

$$J_1 J_2 (P^2 \varphi_1 - P^2 \varphi_2 + (J_1 + J_2) C (\varphi_1 - \varphi_2)) = M_d J_2.$$

Bu tenglamani hosilasi yuqori bo'lgan koeffitsiyentga bo'lib va  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  almashtirish bajarib, quyidagi tenglamani olamiz:

$$P^2 \varphi + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} \varphi = \frac{M_d}{J_1}.$$

Tenglamaning umumiy yechimini quyidagicha yozamiz:



$$\varphi = A \sin \sqrt{\frac{C(J_1+J_2)}{J_1J_2}}t + B \cos \sqrt{\frac{C(J_1+J_2)}{J_1J_2}}t + \varphi(t),$$

bu yerda:  $\varphi(t)$  — tenglamaning xususiy yechimi.

Agar  $M_d = \text{const}$ ,  $t = 0$  va  $d\varphi/dt = 0$  bo'lsa, yuqoridagi tenglamadan quyidagini olamiz:

$$\frac{(J_1+J_2)C}{J_1J_2} \varphi = \frac{M_d}{J_1},$$

bundan xususiy yechim

$$\varphi(t) = \frac{M_d J_2}{C(J_1+J_2)},$$

tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\varphi = A \sin \nu t + B \cos \nu t + \frac{M_d J_2}{C(J_1+J_2)},$$

bu yerda

$$\nu = \frac{CJ_1+J_2}{J_1J_2} \text{ — elektromexanikaviy tizimning xususiy}$$

tebranishlar chastotasi.

Yuqorida keltirilgan boshlang'ich shartlardan foydalanib va  $\varphi = 0$  deb, quyidagini yozamiz:

$$0 = 0 + B + \frac{M_d J_2}{C(J_1+J_2)}$$

yoki

$$A = 0, \quad B = -\frac{M_d J_2}{C(J_1+J_2)},$$

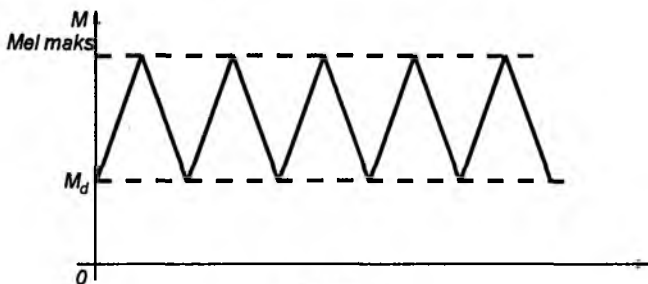
u holda

$$\varphi = \frac{M_d J_2}{C(J_1+J_2)} (1 - \cos \nu t).$$

Agar  $\nu = \frac{CJ_1+J_2}{J_1J_2}$

$\frac{J_2}{(J_1+J_2)} = q$  deb belgilab, elastik zveno deformatsiyasining ifodasini olamiz:

$$\varphi = \frac{M_d q}{C} (1 - \cos \nu t).$$



2-rasm.

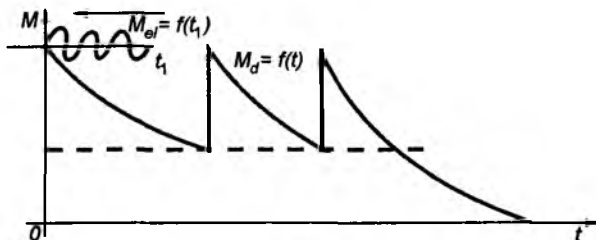
Elastik zvenoning maksimal deformatsiyasi:

$$\varphi_{\text{maks}} = \frac{2M_d J_2}{C(J_1 + J_2)} = \frac{2M_d q}{C}$$

va elastik zveno qabul qiladigan maksimal moment:

$$M_{\text{el.maks}} = \varphi_{\text{maks}} C = M_d q. \quad (3)$$

Tizimning qattiqligi natijasida yuzaga kelgan moment o'zgarishining egri chiziqlari 2 va 3-rasmlarda keltirilgan. Unda  $M_{\text{el}} = f(t_1)$  bog'lanishi uchun  $t_1$  vaqt mashtabi  $t$  vaqtga nisbatan bir necha marta kattalashtirilgan.



3-rasm.

### 3. $M_c \neq 0$ bo'lganda va elektrodvigatelni dastlabki pog'onada ishga tushirishda kranning yuqori chastotali elektromexanikaviy tizimida o'tkinchi rejimlar

Elektr dvigatelning valida nolga teng bo'lmagan statik moment  $M_c \neq 0$  mavjud bo'lganda, tizim harakatining differensial tenglamasi (4-rasm) quyidagicha yoziladi:

$$J_1 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 - \varphi_2) C = M_d, \quad (4)$$

$$J_2 P^2 \varphi_2 + (\varphi_1 - \varphi_2) C = -M_c, \quad (5)$$

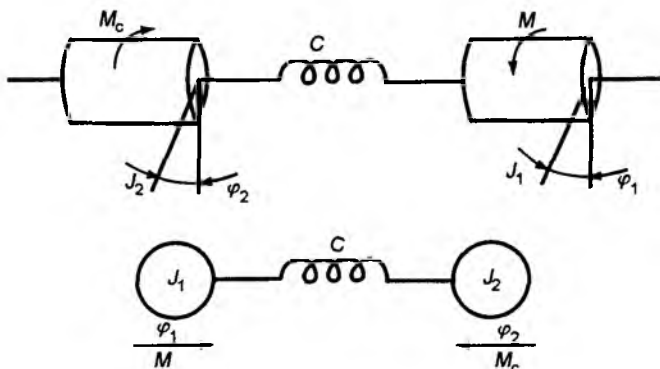
bu yerda  $M_c$  — yukning statik momenti.

(4) tenglamani  $J_2$  ga, (5) tenglamani  $J_1$  ga ko'paytirib (4) tenglamadan (5) tenglamani ayirib quyidagi tenglamani olamiz:

$$J_1 J_2 (P^2 \varphi_1 - P^2 \varphi_2) + (J_1 + J_2) C (\varphi_1 - \varphi_2) = M_d J_2 + M_c J_1$$

Elastik zvenoning deformatsiyasini  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  bilan belgilab va hosilasi yuqori bo'lgan koeffitsiyentga bo'lib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P^2 \varphi + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} \varphi = \frac{M_d J_2}{J_1 J_2} + \frac{M_c J_1}{J_1 J_2}. \quad (6)$$



4-rasm.

(6) ifodadagi  $M_d$  o'rniga  $M_d = M_c + M_{\text{din}}$  ni qo'yib va tenglamaning o'ng tomonini o'zgartirib qayta yozamiz:

$$P^2\varphi + \frac{(J_1+J_2)C}{J_1J_2}\varphi = \frac{(M_c+M_{\text{din}})J_2}{J_1J_2} + \frac{M_cJ_1}{J_1J_2}$$

yoki

$$P^2\varphi + \frac{(J_1+J_2)C}{J_1J_2}\varphi = \frac{(J_1+J_2)M_c}{J_1J_2} + \frac{M_{\text{din}}J_2}{J_1J_2}.$$

Bu tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha yoziladi:

$$\varphi = A \sin \sqrt{\frac{C(J_1+J_2)}{J_1J_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{C(J_1+J_2)}{J_1J_2}} t + \varphi(t).$$

$M_d = \text{const}$ ,  $t = 0$  va  $d\varphi/dt = 0$  bo'lganda yuqoridagi tenglamaning xususiy yechimi quyidagidan iboratdir:

$$J_1 + J_2 \frac{C(J_1+J_2)}{J_1J_2} \varphi = \frac{(J_1+J_2)M_c}{J_1J_2} + \frac{M_{\text{din}}}{J_1}$$

yoki

$$\varphi = \frac{M_c}{C} + \frac{M_{\text{din}}}{J_1} \frac{J_1J_2}{C(J_1+J_2)} = \frac{M_c}{C} + \frac{M_{\text{din}}J_2}{C(J_1+J_2)}$$

va bu holda ham

$$\varphi = A \sin vt + B \cos vt + \frac{M_{\text{din}}J_2}{C(J_1+J_2)} + \frac{M_c}{C}.$$

Integrallash doimiylari  $A$  va  $B$  ning qiymatlari boshlang'ich shartlarga mos holda aniqlanadi.

Hozirgi zamon kuchli va magnitli kontrollerlarning sxemalarida taxminan hisoblangan statik momentga (5-rasmga qarang) mos keladigan qarshilikni ishga tushirish, ya'ni dastlabki pog'onasi ko'zda tutiladi. Bu pog'ona ulananda elektr dvigatelning vali (harakatlantiruvchi massa  $J_1$ ) deformatsiya va kinematik zanjir elementlari oraliq bo'shliqlari mavjud bo'lganligi sababli, ma'lum burchakka buriladi. Qarshilikning keyingi pog'onasiga o'tish ma'lum vaqtdan so'ng bajariladi. Bu dastlabki pog'onaning

ulanishida yuzaga kelgan tizimning tebranishlarini soʻnishiga olib keladi va bunda qarshilikning ikkinchi pogʻonasiga oʻtishida, tizimning elastik zvenosining deformatsiyasi taxminan  $\varphi = M_d/C$ , deformatsiyaning tezligi  $d\varphi/dt = 0$  deb hisoblash mumkin.

Elektr dvigatelning toʻla aylanib ketishi ikkinchi pogʻona qarshiligini chiqarib tashlanganda boshlanadi, bunda ikkala tizimda harakat boshlanadi.

Bu shartlar uchun  $t = 0$  boʻlganda  $\varphi = M_d/C$ ,  $d\varphi/dt = 0$  boʻladi va quyidagini olamiz:

$$A = 0, \quad M_c / C = 0 + B + \frac{M_{\text{din}} J_2}{C(J_1 + J_2)} + \frac{M_c}{C}.$$

$$B = \frac{(M_d - M_c) J_2}{C(J_1 + J_2)}.$$

Elastik zveno  $\frac{J_2}{J_1 + J_2} = q$  boʻlganda deformatsiyasining tenglamasi:

$$\varphi = \frac{(M_d - M_c) q}{C} (1 - \cos t) + \frac{M_c}{C}.$$

Elastik zvenoga taʼsir etuvchi moment:

$$M_{\text{el}} = \varphi C = (M_d - M_c) q (1 - \cos vt) + M_c.$$

Momentning maksimal qiymati:

$$M_{\text{el.maks}} = 2(M_d - M_c) q + M_c. \quad (7)$$

(7) tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$M_{\text{el.maks}} = \frac{2(M_d - M_c) J_2}{(J_1 + J_2)} + M_c = 2\varepsilon_{o'rt} J_2 + M_c, \quad (8)$$

bu yerda  $\varepsilon_{o'rt} = (M_d - M_c)/(J_1 + J_2)$  — tezlanishning oʻrtacha qiymati.

(3) va (8) ifodalarning taqqoslanishi, tezlanish  $\varepsilon$  ning kamayishini koʻrsatadi va buning natijasida  $M_{\text{el.maks}}$  qiymati ham kamayadi, bir vaqtda statik moment  $M_c$  ning boʻlishi elastik zvenoda hosil boʻladigan moment qiymati

ma'lum miqdorga oshishiga olib keladi. Bunda  $M_{el.maks}$  ning o'zgarishiga harakatga keltiriladigan massa  $J_2$  ning inersiya momenti eng katta ta'sir ko'rsatadi. Bu inersiya momentini oshishi o'rtacha tezlanishning kamayishidan kattaroq bo'ladi.

#### 4. $M_c \neq 0$ va yuritmani dastlabki pog'onasiz ishga tushirishda kranning yuqori chastotali elektromexanikaviy tizimidagi o'tkinchi rejimlar

Elektr dvigatelini pog'ona qarshilgisiz ishga tushirilganda, u manbaga ulanganda yetaklovchi massa  $J_1$ , harakatga keladi. Kinematik zanjir elementlarining deformatsiyasi yuklamaning statik  $M_c$  ga mos bo'lgan qiymatga erishganda, yetaklanuvchi massa harakatga keladi. Massa harakatining boshlanishi paytida keltirilgan tizimning elastik zvenosining deformatsiyasi  $M_c/C$  ga teng, deformatsiyaning tezligi musbatdir.

Yetaklanuvchi massaning harakati boshlanmasdan oldin tizim holatini ifodalovchi differensial tenglama ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$J_1 P^2 \varphi_1 + C \varphi_1 = M_d,$$

$t = 0$  bo'lganda,  $M_d = \text{const}$  bo'lgan hol uchun  $P\varphi_1 = 0$  va tenglamaning umumiy yechimi:

$$\varphi_1 = A_1 \sin \sqrt{\frac{C}{J_1}} t + B_1 \cos \sqrt{\frac{C}{J_1}} t + \frac{M_d}{V}.$$

$t = 0$  bo'lganda boshlang'ich shartlar:  $\varphi_1 = 0$ ,  $P\varphi = 0$ .  
Unda:

$$A_1 = 0, \quad B_1 = -\frac{M_d}{C}$$

va

$$\varphi_1 = \frac{M_d}{C} \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C}{J_1}} t \right).$$

Yetaklovchi massaning tezligi:

$$P_{\varphi_1} = \frac{M_d}{C} \sqrt{\frac{C}{J_1}} t \sin \sqrt{\frac{C}{J_1}} t.$$

Birinchi bosqich oxirida tizimning elastik kuchlari momenti tashqi qarshiliklar momentiga teng bo'ladi:  $\varphi_1 C = M_c$  yoki

$$M_c = M_d \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C}{J_1}} t_1 \right), \quad (10)$$

bu yerda  $t_1$  — tizimi harakati birinchi bosqichining vaqti, (10) dan:

$$t_1 = \sqrt{\frac{J_1}{C}} \arccos \frac{M_d - M_c}{M_d}.$$

$t_1$  vaqtning hosila tenglamasini (9) ga qo'yib, topamiz:

$$(P_{\varphi_1})_1 = \frac{M_d}{C} \sqrt{\frac{C}{J_1}} \sin \left( \arccos \frac{M_d - M_c}{M_d} \right). \quad (11)$$

(11) ifodani o'zgartirib quyidagini olamiz:

$$(P_{\varphi_1})_1 = \frac{M_d}{C} \sqrt{\frac{C}{J_1}} \sqrt{1 - \cos^2 \arccos \frac{M_d - M_c}{M_d}}$$

yoki

$$(P_{\varphi_1})_1 = \sqrt{\frac{M_c(2M_d - M_c)}{J_1 C}}.$$

Yetaklovchi massa  $J_2$  harakati boshlanishi bilan harakatning ikkinchi bosqichi boshlanadi. Harakat tenglamasi va ularning umumiy yechimlari ishga tushurishning oldingi bosqichiga o'xshashdir. Bosqichning boshida  $t = 0$  deb olib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{M_c}{C},$$

$$P\varphi = (P_{\varphi_1})_1 = \sqrt{\frac{M_c(2M_d - M_c)}{J_1 C}}.$$

Tenglama uchun integrallash doimiylarining yangi qiymatlari:

$$\varphi = A \sin vt + B \cos vt + \frac{(M_d + M_c)J_2}{C(J_1 + J_2)} + \frac{M_c}{C}, \quad (12)$$

$$A = \frac{1}{C} = \sqrt{\frac{M_c(2M_d - M_c)J_2}{(J_1 + J_2)}},$$

$$B = \frac{(2M_d - M_c)J_2}{C + (J_1 + J_2)}.$$

Integrallash doimiylarini (10) ifodaga qo'yib, ushbuni olamiz:

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{1}{C} \sqrt{M_c(2M_d - M_c)}q \sin vt - \frac{(M_d - M_c)q}{C} \cos vt + \\ + \frac{(M_d - M_c)q}{C} + \frac{M_c}{C}. \end{aligned}$$

Elastik zvenoning qabul qilish momenti:

$$\begin{aligned} M_{el} = \sqrt{M_c(2M_d - M_c)}q \sin vt - \\ - (M_d - M_c)q \cos vt + (M_d - M_c)q + M_c. \end{aligned}$$

Momentning maksimal qiymati:

$$\begin{aligned} M_{el.maks} = (M_g - M_c)q \\ \sqrt{q[M_c(2M_d - M_c) + (M_d - M_c)^2] + M_c}. \quad (13) \end{aligned}$$

Tenglamaning tahlili shuni ko'rsatadiki, elektr yuritmaning tezlanishi va statik yuklanishning oshishidan hamda ildiz ostidagi ifodani hisobga olganda, maksimal elastik moment  $M_{el.maks}$  qiymati keskin o'zgarar ekan.



## 5. $M_c = 0$ bo'lganda kranning past chastotali elektromexanikaviy tizimining o'tkinchi jarayonlari

Past chastotali tizimlarga aravacha yoki kranni harakatga keltiruvchi mexanizmlarni hamda ko'pchilik kranlarning aylantiruvchi mexanizmlarini kiritish mumkin. Past chastotali tizimlarni ko'rib chiqishda tizimning tebranish davri yuritmaning ishga tushirish yoki tormozlash vaqti bilan o'lchamlidir.

Elektr dvigatelni ishga tushirish vaqtida uning momentini o'zgarimas deb bo'lmaydi, burchak tezligining o'zgarishi bilan elektr dvigatel momentining o'zgarishini ham hisobga olish kerak.

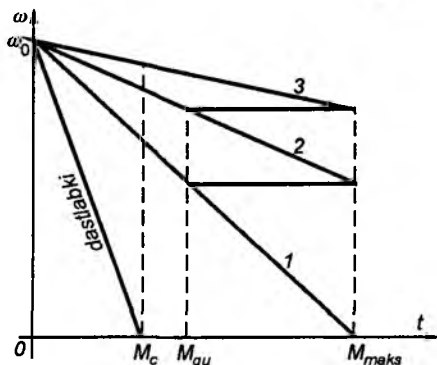
Elektrodvigatelni ishga tushirish vaqtida uning momenti maksimal qiymatdan ( $M_{maks}$ ), qayta ulash momenti  $M_u$  gacha o'zgaradi (5-rasm), tezlik esa uzluksiz oshib boradi.

Tezlik o'sib borishining dastlabki paytida harakatga keltiruvchi moment qarshilikning birinchi (I) pog'onasida:

$$M = M_{maks} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} \frac{d\varphi_1}{dt} \right).$$

Elastik aloqalarni hisobga olib, tizimning harakatlanish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$J_1 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} + (\varphi_1 - \varphi_2)C = M_{maks} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} \frac{d\varphi_1}{dt} \right), \quad (14)$$



5-rasm.

$$J_1 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} + (\varphi_1 - \varphi_2)C = 0.$$

Tenglamani operator ko‘rinishida yozamiz:

$$J_1 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 - \varphi_2)C = M_{\text{maks}} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} \frac{d\varphi_1}{dt} \right),$$

$$J_2 P^2 \varphi_2 - (\varphi_1 - \varphi_2)C = 0. \quad (15)$$

(14) tenglamadan  $\varphi_2$  ni, (15) tenglamadan esa  $\varphi_1$  ni yo‘qotamiz, buning uchun (15) dagi  $\varphi_1$  ni boshqalari orqali ifodalaymiz:

$$J_2 P^2 \varphi_2 - \varphi_1 C + \varphi_2 C = 0,$$

bundan  $\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^2 \varphi_2.$

Buning birinchi hosilasi:

$$P\varphi_1 = P\varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^3 \varphi_2,$$

ikkinchi hosilasi:

$$P^2 \varphi_1 = P^2 \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^4 \varphi_2.$$

$\varphi_1$  ning qiymatini va hosilalari qiymatini (14) tenglamaga qo‘yamiz, unda

$$\begin{aligned} J_1 \left( P^2 \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^4 \varphi_2 \right) + \varphi_2 C + J_2 P^2 \varphi_2 - \varphi_2 C = \\ = M_{\text{maks}} - \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0} P \varphi_2 - \frac{M_{\text{maks}} J_2}{C \omega_0} P^3 \varphi_2. \end{aligned}$$

Ifodani ochamiz:

$$\begin{aligned} J_1 P^2 \varphi_2 + \frac{J_1 J_2}{C} P^4 \varphi_2 + J_2 P^2 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0} P \varphi_2 + \\ + \frac{M_{\text{maks}} J_2}{C \omega_0} P^3 \varphi_2 = M_{\text{maks}}. \end{aligned}$$

Yuqori tartibli hosiladagi koeffitsiyentga bo‘lib, quyidagini olamiz:

$$P^4 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}} J_2}{\omega_0 C} \cdot \frac{C}{J_1 J_2} P^3 \varphi_2 + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi_2 = \frac{C}{J_1 J_2} M_{\text{maks}}. \quad (16)$$

Xuddi shunday o'zgartirishlarni  $\varphi_1$  uchun ham bajarimiz, bunda:

$$P^4 \varphi_1 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} P^3 \varphi_1 + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi_1 + \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi_1 = \frac{C}{J_1 J_2} M_{\text{maks}}. \quad (17)$$

Elastik zveno deformatsiyasini o'zgarish xarakterini aniqlash uchun  $\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi$  bilan almashtiramiz, buning uchun (17) tenglamadan (16) tenglamani ayiramiz:

$$P^4 \varphi + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} P^3 \varphi + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi = 0.$$

Bu tenglamaning yechilishi xarakteristik tenglama il-dizini aniqlash bilan bog'liqdir:

$$x^4 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} x^3 + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} x^2 + \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} x = 0,$$

bulardan biri  $x_0 = 0$

Quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

$$\frac{(J_1 + J_2) C}{3 J_1 J_2} - \frac{M_{\text{maks}}^2}{9 \omega_0^2 J_1^2} = a,$$

$$\frac{M_{\text{maks}}}{3 \omega_0 J_1} \left[ \frac{M_{\text{maks}}^2}{9 \omega_0^2 J_1^2} + \frac{(2 J_1 - J_2) C}{2 J_1 J_2} \right] = b.$$

Haqiqiy tizimlar uchun  $b^2 + a^3 > 0$  ga egamiz, u holda

$$\left. \begin{aligned} x &= -2z - \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1}, \\ x_1 &= z + iV, \quad x_2 = z - iV \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

bu yerda:

$$z = -\frac{M_{\text{maks}}}{3\omega_0 J_1} - \frac{1}{2} \left[ \sqrt[3]{-b + \sqrt{b^2 + a^3}} - \sqrt[3]{-b + \sqrt{b^2 + a^3}} \right], \quad (19)$$

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[ \sqrt[3]{-b + \sqrt{b^2 + a^3}} + \sqrt[3]{b + \sqrt{b^2 + a^3}} \right]. \quad (20)$$

Bu holda tenglamaning yechimi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\varphi = A + Be^{xt} + Ce^{zt} \sin vt + De^{zt} \cos vt. \quad (21)$$

Ikkala massa harakatining boshlanishi paytida dastlabki shartlar quyidagicha bo‘ladi:  $t = 0$  da  $\varphi = 0$  va  $d\varphi/dt = 0$ . Bu shartlarni (14) va (15) tenglamalarga qo‘yib, quyidagini olamiz:

$$P^2 \varphi = \frac{M_{\text{maks}}}{J_0}.$$

$z$  va  $x$  formulalariga kiradigan kattaliklarning haqiqiy qiymatlari manfiy ishoraga ega bo‘ladi.  $t$  vaqtning kattalashuvi bilan (21)da  $A$  dan tashqari hamma harflari nolga intiladi. Bundan kelib chiqadiki,  $t \rightarrow \infty$  bo‘lganda  $A = 0$  bo‘ladi.

Bu holda:

$$C = \frac{M_{\text{maks}}(z-x)}{J_1 V [(z-x)^2 + V^2]},$$

$$B = \frac{M_{\text{maks}}}{J_1 V [(z-x)^2 + V^2]}, \quad D = -\frac{M_{\text{maks}}}{J_1 V [(z-x)^2 + V^2]}$$

va elastik deformatsiyaning tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\varphi = \frac{M_{\text{maks}}}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt} + e^{zt} \left( \frac{z-x}{V} \sin vt - \cos vt \right) \right].$$

Elastik zveno qabul qiladigan moment:

$$M_{\text{el}} = \varphi C = \frac{M_{\text{maks}} C}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt} + e^{zt} \left( \frac{z-x}{V} \sin vt - \cos vt \right) \right].$$

$M_{el}$  elastik momentning maksimal qiymati tebranishning birinchi yarim davrida mavjud bo‘ladi.  $M_{el,max}$  ning mavjudlik sharti quyidagi hadning birinchi maksimal qiymati bilan aniqlanadi:

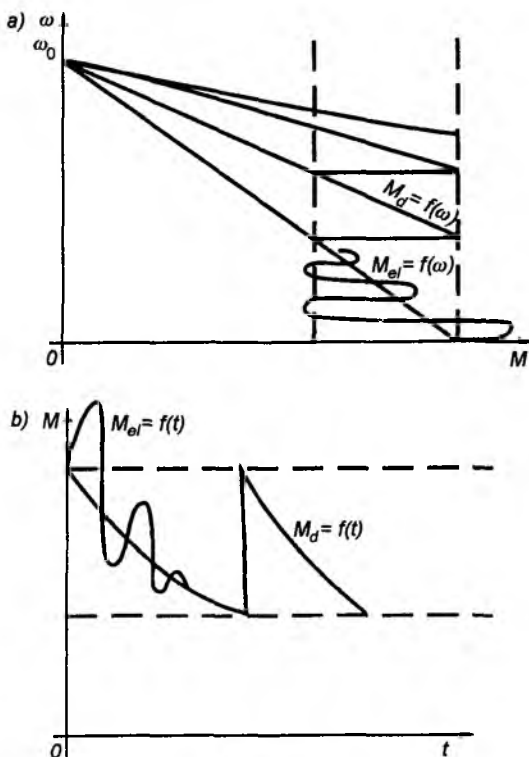
$$\frac{z-x}{v} \sin vt - \cos vt = 0$$

Hosilasini nolga tenglashtirib, quyidagini olamiz:

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{z-x}{v} \sin vt - \cos vt \right] = (z-x) \cos vt + \sin vt = 0$$

yoki

$$(z-x) + vtgvt = 0.$$



6-rasm.

$M_{el.maks}$  ning ekstremal qiymatiga mos keladigan vaqt:

$$t_{maks} = \frac{1}{V} \operatorname{arctg} \frac{x-z}{v}.$$

Funksiyaning maksimumi (plus ishorali) quyidagicha:

$$+ \frac{1}{V} \sqrt{(z-x)^2 + v^2}.$$

Momentning maksimal qiymati:

$$M_{el.maks} = \frac{M_{maks} C}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt_{maks}} + e^{zt_{maks}} - \sqrt{\frac{(z-x)^2 + v^2}{v}} \right].$$

Elektrodvigatelni ishga tushirishda elastik zvenoning qattiqligini va past chastotali tizimda tebranishning sustlanishini e'tiborga olgan holda  $M_c = 0$  uchun elektrodvigatel momenti va elastik zveno momentining tezlik va vaqtga bog'liq bo'lgan grafiklari 6-rasmda keltirilgan.

## 6. $M_c \neq 0$ kranning past chastotali elektromexanikaviy tizimining o'tkinchi rejimi

Elektrodvigatel momenti tezlik funksiyasi bo'yicha o'zgarganda

$$M_d = M_{maks} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} P \varphi_1 \right)$$

harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi (6-a rasmga qarang):

$$J_1 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 - \varphi_2) C = M_{maks} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} P \varphi_1 \right). \quad (22)$$

$$\text{Ushbu} \quad J_2 P^2 \varphi_2 + (\varphi_1 - \varphi_2) C = M_c \quad (23)$$

tenglamadan  $\varphi_1$  ni topamiz:

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^2 \varphi_2 + \frac{M_c}{C}$$

Uning hosilasini aniqlaymiz:

$$P\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^3 \varphi_2,$$

$$P^2 \varphi_1 = P^2 \varphi_2 + \frac{J_2}{C} P^4 \varphi_2.$$

Topilganlarni (22) tenglamaga qo'yamiz:

$$J_1(P^2 \varphi_1 + \frac{J_2}{C} P^4 \varphi_1) + \varphi_2 C + \frac{J_2}{C} C P^2 \varphi_2 + M_c - \varphi_2 C -$$

$$-M_{\text{maks}} + M_{\text{maks}} \frac{1}{\omega_0} P \varphi_2 + M_{\text{maks}} \frac{1}{\omega_0} \frac{J_2}{C} P^3 \varphi_2 = 0.$$

Olingan ifodani o'zgartirib, quyidagicha yozamiz:

$$\frac{J_1 J_2}{C} P^4 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0} \frac{J_2}{C} P^3 \varphi_2 + (J_1 + J_2) P^2 \varphi_2 +$$

$$+ \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0} P \varphi_2 + M_c - M_{\text{maks}} = 0.$$

Tenglamani yuqori hosilaning koeffitsiyentiga bo'lamiz:

$$P^4 \varphi_2 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} P^3 \varphi_2 + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi_2 +$$

$$+ \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi_2 = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c) C}{J_1 J_2}.$$

$\varphi_1$  uchun ham xuddi shunday o'zgartirishlar qilib quyidagini olamiz:

$$P^4 \varphi_1 + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} P^3 \varphi_1 + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi_1 +$$

$$+ \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi_1 = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c) C}{J_1 J_2}.$$

$\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi$  almashtirish bajarib, hadlarni ayirib, quyidagini olamiz:

$$P^4 \varphi + \frac{M_{\text{maks}}}{\omega_0 J_1} P^3 \varphi + \frac{(J_1 + J_2) C}{J_1 J_2} P^2 \varphi + \frac{M_{\text{maks}} C}{\omega_0 J_1 J_2} P \varphi = 0.$$

$M_c = 0$  bo'lgan holga mos kelgan tenglama olindi. Bu tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\varphi = A + Be^{xt} + Ce^{zt} \sin Vt + De^{zst} \cos Vt, \quad (24)$$

bu yerda  $x$ ,  $z$  va  $V$  lar bizga ma'lum bo'lgan (18), (19), (20) ifodalar orqali topiladi.

Dastlabki ishga tushirish pog'ona qarshiligi mavjud bo'lsa, boshlang'ich shartlar quyidagicha bo'ladi:  $t = 0$  bo'lganda  $\varphi = M_c/C$ ,  $P\varphi = 0$ . Bu shartni oldingi (22), (23) tenglamalarga qo'yib,  $t = 0$  bo'lganda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P^2\varphi_1 - P^2\varphi_2 = \frac{M_{\text{maks}} - M_c}{J_1},$$

bundan:

$$A = \frac{M_c}{C}; \quad B = \frac{M_{\text{maks}} - M_c}{J_1[(z-x)^2 + V^2]};$$

$$C = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c)(z-x)}{J_1 V [(z-x)^2 + V^2]}; \quad D = -\frac{(M_{\text{maks}} - M_c)}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]}.$$

Yuqorida olingan koeffitsiyentlarning qiymatlarini elastik deformatsiya (24) uchun olingan ifodaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\varphi = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c)}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt} + e^{zt} \left( \frac{z-x}{v} \right) \sin vt - \cos vt \right] + \frac{M_c}{C}.$$

Elastik zvenoning momenti:

$$M_{\text{el}} = \varphi C = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c)C}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt} + e^{zt} \left( \frac{z-x}{v} \sin vt - \cos vt \right) \right] + M_c.$$

Momentning maksimal qiymati:

$$M_{\text{el.maks}} = \frac{(M_{\text{maks}} - M_c)C}{J_1 [(z-x)^2 + V^2]} \left[ e^{xt} + e^{zt} \sqrt{\frac{(z-x)^2 + v^2}{v}} \right] + M_c,$$

bu yerda:  $t_M = \frac{1}{V} \arctg \frac{x-z}{v}$ .

Dastlabki ishga tushirish pog'ona qarshiligi mavjud bo'lmasa, tizim harakatining tezlanishi ikki bosqichga bo'linadi: yetaklovchi massa harakatining boshidan statik



momentga mos bo'lgan elastik zvenoning deformatsiya-sigacha hamda tizim harakatining boshlanishidan dinamik momentning ta'siri tamom bo'lguncha.

Birinchi bosqichda yetaklovchi massa harakatining tenglamasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$J_1 P^2 \varphi_1 + \varphi_1 C = M_{\text{maks}} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} P \varphi_1 \right). \quad (25)$$

(25) tenglamaning umumiy yechimi:

$$\varphi_1 = A e^{y t} \sin q t + B e^{y t} \cos q t + \frac{M_{\text{maks}}}{C}, \quad (26)$$

bu yerda:

$$y = \frac{M_{\text{maks}}}{2\omega_0 J_1}; \quad q = \sqrt{\frac{C}{J_1} - \frac{M_{\text{maks}}^2}{4\omega_0^2 J_1^2}}.$$

Bu hol uchun boshlang'ich shartlar quyidagicha bo'ladi:  $t = 0$  bo'lganda  $\varphi_1 = 0$ ,  $P\varphi_1 = 0$ . Shartlarni (26) tenglamaning umumiy yechimiga qo'yamiz, unda

$$\varphi_1 = \frac{M_{\text{maks}} Y}{C q} e^{y t} \sin q t + \frac{M_{\text{maks}}}{C} (1 - e^{y t} \cos q t). \quad (27)$$

$\varphi_1 = M_c / C$  tengligiga erishganda, ikkinchi bosqichning ta'siri boshlanadi.  $\varphi_1$  ning qiymatini qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\frac{M_{\text{maks}} - M_c}{M_{\text{maks}}} = e^{y t_0} \left( \cos q t_0 - \frac{Y}{q} \sin q t_0 \right),$$

bu yerda:  $t_0$  — grafik usulda yoki tanlash yo'li bilan aniqlanadigan ikkinchi bosqichning boshlanish vaqti.

Ikkinchi bosqich boshlanishida elastik zveno deformatsiyasining tezligini topamiz. Buning uchun (27) ifodaning hosilasini olib, yetaklanuvchi massa  $J_2$  harakatining boshlang'ich vaqtida yetaklovchi massa  $J_1$  harakati tezligini aniqlaymiz:

$$\omega = (P\varphi_1)_{t_0} = \frac{M_{\text{maks}}(Y^2 + q^2)}{C q} e^{y t} \sin q t_0.$$

Bosqichning boshlanishidagi ikkinchi hosilasi:

$$\varepsilon = (P^2 \varphi_1) t_0 = \frac{M_{\text{maks}}}{Cq} (Y^2 + q^2) e^{y t_0} \left( \cos q t_0 + \frac{y}{q} \sin q t_0 \right).$$

Tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha bo'ladi:

$$\varphi = A + B e^{xt} + C e^{zt} \sin vt + D e^{zt} \cos vt. \quad (28)$$

Vaqt hisobini ikkinchi bosqichning boshlanishidan olinganda boshlang'ich shartlar:  $t = 0$  bo'lganda  $\varphi = M_c/C$ ;  $P\varphi = \omega$ ;  $P^2\varphi = \varepsilon$ .

$t \rightarrow \infty$  da  $\varphi = M_c/C$  va  $A = M_c/C$ ,  $B = -\Phi$  ni e'tiborga olib, boshlang'ich shartlarni (28) tenglamaga qo'yib, elastik zveno deformatsiyasi uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{\varepsilon - 2\omega z}{(x-z)^2 + V} [e^{xt} - e^{zt} \cos vt] + \\ & + \frac{\omega(x^2 - z^2 + v^2) + \varepsilon(z-x)}{V[(x-z)^2 + V^2]} e^{zt} \sin vt + \frac{M_c}{C}. \end{aligned}$$

Elastik zvenoga ta'sir qiluvchi moment:

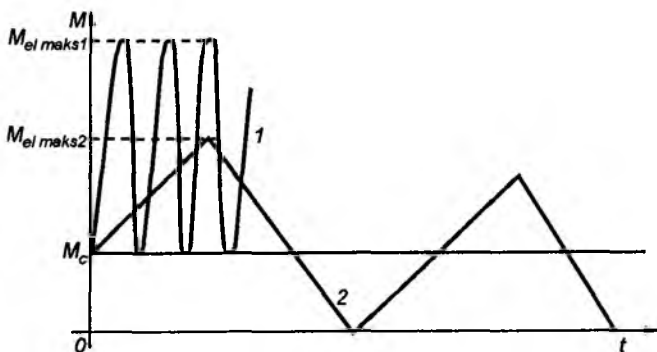
$$\begin{aligned} M_{\text{el}} = \varphi C = & \frac{(\varepsilon - 2\omega z)C}{(x-z)^2 + V} [e^{xt} - e^{zt} \cos vt] + \\ & + \frac{[\omega(x^2 - z^2 + v^2) + \varepsilon(z-x)]C}{V[(x-z)^2 + V^2]} e^{zt} \sin vt + M_c. \end{aligned}$$

Elastik momentning maksimal qiymati

$$\begin{aligned} M_{\text{el.maks}} = & \frac{C}{(x-z)^2 + V} \left[ (\varepsilon - 2\omega z) e^{xt \text{ maks}} + e^{zt \text{ maks}} \times \right. \\ & \left. \times \sqrt{\frac{v^2(\varepsilon - 2\omega z)^2 + [\omega(x^2 - z^2 + v^2) + \varepsilon(z-x)]^2}{z^2 + V^2}} \right] + M_c, \end{aligned}$$

bunda  $M_{\text{el.maks}}$  momentga mos keluvchi vaqt quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{\text{maks}} = \frac{1}{V} \arctg \frac{[(\varepsilon - 2\omega z)z - [\omega(x^2 - z^2 + v^2) + \varepsilon(z-x)]]V}{(\varepsilon - 2\omega z)V^2 + [\omega(x^2 - z^2 + v^2) + \varepsilon(z-x)]z}.$$



7-rasm.

Momentning maksimal qiymatini aniqlash uchun trigonometrik funksiya arctg ning oldingi ikkita musbat qiymatining kattasidan foydalaniladi.

7-rasmda elektrodvigatel momenti o'zgarishining ikkita holati:

1.  $M = \text{const}$ ;

2.  $M = M_{\text{maks}}$  uchun  $M = M_{\text{maks}} \left( 1 - \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d\phi_1}{dt} \right)$  elastik zveno momenti o'zgarishi ko'rsatilgan.

## 7. Kran mexanizmlarining elektromexanikaviy tizimlarida o'tkinchi rejimlarni tahlil qilish

Kran mexanizmlarining elektromexanikaviy tizimlarining turli ish rejimlarida elastik zvenolari qabul qiladigan deformatsiya va momentlar uchun yuqorida olingan munosabatlar o'tkinchi rejimlarda tizim qay ahvolda bo'lishiga tizim parametrlari ta'sirini aniqlashga imkon beradi.

Elektromexanikaviy tizimning xususiy tebranish chastotasi elastik zvenoning qattiqligi  $C$  pasayishi va keltiruvchi  $J_2$  va keltiriluvchi massalari  $J_1$  ning inersiya momentlarining kattalashuvi bilan kamayadi.

Tizimning keltirilgan qattiqligi va elektrodvigatelning inersiya momentining kattalashuvi bilan elastik zveno deformatsiyasi kamayadi. Elektrodvigatelning dinamik mo-

mentini va kelishiluvchi massa  $J_2$  ning inersiya momenti ni ortishi bilan elastik zvenoning deformatsiyasi kattalashadi.

Elektrodvigatelning rotori zanjiriga qo‘shimcha qarshilikning kiritilishi tizim tebranishining chastotasini va elastik zveno deformatsiyasi qiymatini pasaytiradi.

Dastlabki ishga tushirish pog‘onasi mavjud bo‘lsa, kuchli uzatish elementlarining yuklanishi 40 % ga kamayadi.

Dinamikaviy yuklar yuklanish hosil qilgan statik momentni anchagina kamaytiradi. Tizimning yetaklanuvchi massasining inersiya momenti  $J_2$  ning kattalashuvi tizim tezlanishining kamayishiga olib keladi. Mexanizmning elektr yuritmasini ishga tushirish uchun hisoblangan dastlabki qarshilik pog‘onasi bo‘lgan va dastlabki qarshilik pog‘onasi bo‘lmagan hollarda, dinamik koeffitsiyentlarning chegaraviy o‘zgarish qiymatlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Kran mexanizmlari	Dinamik koeffitsiyentning o‘zgarish chegarasi	
	Ishga tushirishda dastlabki qarshilik pog‘onasi bor	Ishga tushirishda dastlabki qarshilik pog‘onasi yo‘q
Ko‘tarish (umum qo‘llaniladigan kranlar uchun)	1,05	1,25
Aravachani harakatlantirish	2,15	3,0
Kranni harakatlantirish	2,35	3,35
Kranni aylantirish	2,8	4,25
Kran o‘qi uzunligining o‘zgarishi	1,1	2,0

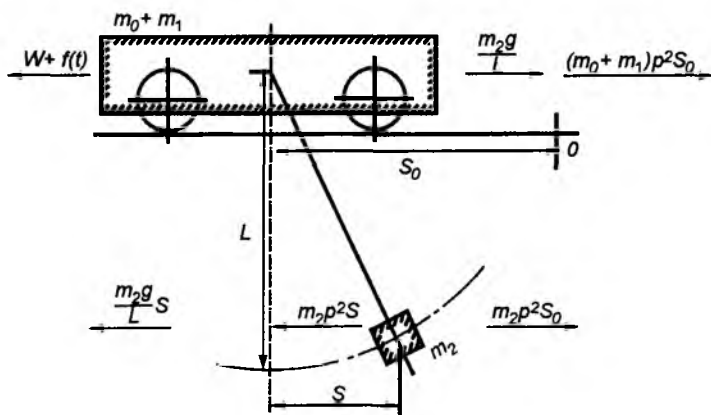
Yumshoq mexanikaviy xarakteristika (dastlabki ishga tushirish pog‘onasi) mavjud bo‘lgan elektr yuritmalarda foydalanuvchi dinamik koeffitsiyentlarning qiymati yetarli darajada kamayadi.

## 8. Kranlarni gorizontaal yoʻnalishda harakatlantiruvchi mexanizmlarni ishga tushirish va toʻxtatishda yuklarning tebranishi

Koʻpriksimon kran, echkisimon yoki portal yuklagichlarning aravachasi yoki kraning oʻzi harakatlanayotganda yukning gorizontaal harakatlanish holatini koʻrib chiqamiz. Qurilmaning umumlashgan sxemasini ikki massali deb qarash mumkin, birinchisini toʻgʻri chiziq boʻyicha harakatlanadigan, ikkinchisini esa birinchisi bilan choʻzilmaydigan ip orqali bogʻlangan va tebranma harakat qiladigan ikkita massa koʻrinishida tasvirlash mumkin (8-rasm).

$m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  lar bilan mos holda kraning siljish mexanizmining yuritmasi va yukning keltirilgan massalarini ifodalaymiz;  $L$  — yukning koʻtarilgan holatida tortuvchi arqonning uzunligi;  $S$  — yuk tebranishining amplitudasi;  $S_0$  — qoʻzgʻalmas koordinata boshidan  $t$  vaqtda aravacha yoki krangacha boʻlgan masofa;  $t$  — vaqt;  $g$  — ogʻirlik kuchlari tezlanishi.

Kran yoki aravachaning tezligi oshib borganida yuk harakatlanishining differensial tenglamasi quyidagi koʻrinishga egadir:



8-rasm.

$$m_2 P^2 S - m_2 P^2 S_0 + \frac{m_2 g}{L} S = 0$$

yoki

$$m_2 (P^2 S - P^2 S_0) + \frac{m_2 g}{L} S = 0. \quad (29)$$

Kran yoki aravachaning harakatlanish tenglamasi:

$$(m_0 + m_1) P^2 S_0 + \frac{m_2 g}{L} S = f(t). \quad (30)$$

(29) dan  $S_0$  bo'yicha ikkinchi tartibli hosila olamiz:

$$P^2 S = P^2 S_0 + \frac{gS}{L}.$$

Olingan ifodani (30) tenglamaga qo'yamiz:

$$(m_0 + m_1) P^2 S_0 + \frac{g}{L} (m_0 + m_1 + m_2) S = f(t). \quad (31)$$

Bu ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$P^2 S_0 + \frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right) S = \frac{f(t)}{m_0 + m_1}. \quad (32)$$

Tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha yoziladi:

$$S = A \sin \sqrt{\frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right)} t + B \cos \sqrt{\frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right)} t + f(t)$$

yoki

$$S = A \sin \nu_1 t + B \cos \nu_1 t + f(t),$$

bu yerda:  $\nu_1 = \sqrt{\frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right)}.$

Taqriban  $f(t) = F_{\text{din}}$  deb qabul qilib, (31) tenglamaning xususiy yechimini yozamiz:

$$f(t) = \frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2) g}.$$

Tenglamaning umumiy yechimi to'la shaklda quyidagicha bo'ladi:

$$S = A \sin \nu t_1 + B \cos \nu t_1 + \frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g}.$$

Boshlang'ich shartlar:  $t = 0$  bo'lganda  $S = 0$ ,  $PS = 0$ , u holda

$$A = 0; \quad B = -\frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g}.$$

Tenglama umumiy yechimining so'nggi ko'rinishi quyidagicha:

$$S = \frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g} \left[ 1 - \cos \sqrt{\frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right)} t \right]. \quad (33)$$

$S = f(t)$  bog'lanishni grafik ko'rinishda 9-rasmda chizilgandek ko'rsatish mumkin. Unga ko'ra kran yoki aravachaning tezligi o'sib borganda yoki ular tormozlanganda yuk tebranadi, uning o'rtacha amplitudasi:

$$S_{\text{o'r}} = -\frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g}$$

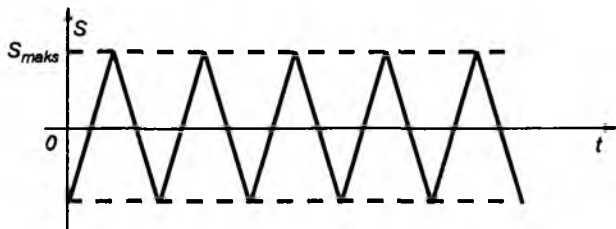
va tebranish chastotasi:

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 + m_1} \right)}. \quad (34)$$

Yukning maksimal tebranish amplitudasi:

$$S_{\text{maks}} = -\frac{2F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g}.$$

(34) dan ko'rinib turibdiki, yukning tebranish chastotasi yukning osilish uzunligi  $L$ , yukning aravacha va



9-rasm.

kraning keltirilgan massasi qiymatiga bog'liqdir. Yukning osilish uzunligi  $L$  kamaysa, tebranish chastotasi ortadi va amaliy hisoblashlarda eng og'ir mehnat sharoitiga mos keladigan eng kichik qiymati e'tiborga olinadi.

Maksimal amplituda  $S_{\text{maks}}$  ga mos keladigan vaqt:

$$t_{\text{maks}} = \pi \sqrt{\frac{g}{L} \cdot \frac{m_0 + m_1}{m_0 + m_1 + m_2}}.$$

Yukning tebranishini kamaytirish yo'llarini aniqlash uchun (33) tenglamadan hosila olamiz:

$$PS = \frac{F_{\text{din}} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g} v \sin v_1 t,$$

$v_1 t = 2\pi n$ , bu yerda  $n$  — har qanday butun son.

Agar  $S = 0$  va  $PS = 0$  bo'lgan paytda kuchning ta'siri to'xtasa, bu kran yoki aravachaning tezligini o'sishini yoki tormozlanishni tamom bo'lganiga mos keladi. Unda yukning tebranishi to'xtaydi. Bundan shu kelib chiqadiki, ishga tushirish va tormozlash vaqtini quyidagiga teng deb olish zarur:

$$t_1 = 2\pi n \sqrt{\frac{g}{L} \cdot \frac{m_0 + m_1}{m_0 + m_1 + m_2}}.$$

Ishga tushirish va tormozlash vaqtini elektrodvigatelning ishga tushirish va tormozlash momentlarining qiymatlarini o'zgartirib rostdash mumkin. Bunda bizga ma'lum bo'lgan

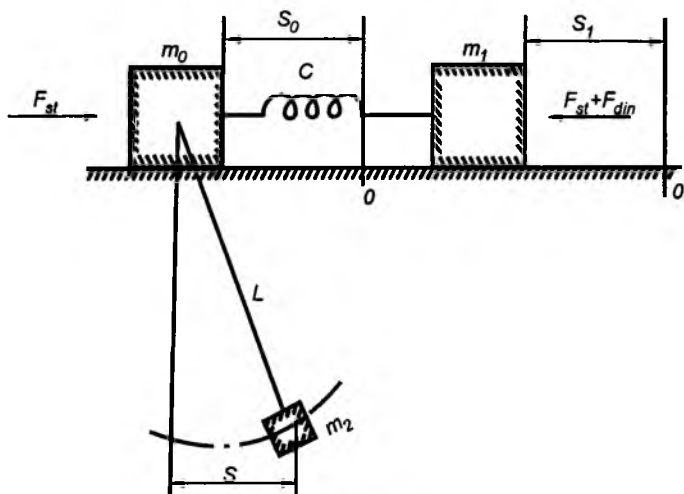
$$F_{\text{din}} = \frac{M_{\text{din}}^i}{R_k} \eta$$

tenglikdan foydalanamiz.

## 9. Yukning tebranish ta'siri va bo'g'inlarning elastiklik xususiyatini hisobga olgan holda ko'chma mexanizmlarni ishga tushirish va to'xtatish

Ko'chma mexanizmlarni ishga tushirilganda kran elementlarining va yukning harakatlanish sxemasi 10-rasm-da keltirilgan.





10-rasm.

10-rasmdagi elementlarni quyidagicha belgilaymiz.  $m_1$  — elektrodvigatel va muftaning aylanuvchi qismlarining keltirilgan massasi;  $m_0$  — kran va aravachaning keltirilgan massasi;  $m_2$  — ko‘chiriladigan yukning massasi;  $S_1$  —  $m_1$  massaning koordinati;  $S_0$  —  $m_0$  massaning koordinati;  $S$  — yukning vertikal holatidan og‘ish masofasi;  $C$  — ko‘chma mexanizm vallarining keltirilgan qattiqligi;  $t_1$  — ishga tushirish yoki to‘xtatish vaqti;  $F_{st}$  — kran yoki aravachaning harakatlanishiga qarshi qarshilik kuchi;  $F_{din}$  — keltirilgan tezlatuvchi kuch;  $L$  — yukning yuqorida turgan holatida tortuvchi trosning uzunligi;  $g$  — og‘irlik kuch tezlanishi.

$m_1$  massa harakatining differensial tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$m_1 P^2 S_1 + (S_1 - S_0) C = F_{st} + F_{din}. \quad (35)$$

$m_0$  massaga ta‘sir etuvchi  $F_0$  tashqi kuch  $S = f(t)$  vaqt birligi qonuniyati bo‘yicha o‘zgaruvchi, uning harakatlanishiga qarshilik ko‘rsatuvchi qarshilikdan va yuk og‘irligining gorizontaal tashkil etuvchisi  $F_G = Sm_2g/L$  ning yig‘indisidan iboratdir:

$$F_0 = -F_{st} - \frac{m_2 g}{L} \varphi(t).$$

$m_0$  massa harakatining differensial tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$m_0 P^2 S_0 + (S_1 - S_0)C = -F_{st} - \frac{m_2 g}{L} \varphi(t). \quad (36)$$

(35) ifodani  $m_0$  ga, (36) ifodani  $m_1$  ga ko‘paytirib va (33) ifodadan  $S = f(t)$  ni qiymatini qo‘yib quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned} m_0 m_1 P^2 S_1 + m_0 (S_1 - S_0)C &= F_{st} m_0 + F_{din} m_0, \\ m_0 m_1 P^2 S_1 + m_1 (S_1 - S_0)C &= -F_{st} m_1 - \frac{m_1 m_2 g}{L} \times \\ &\times \frac{F_{din} L}{(m_0 + m_1 + m_2)g} [1 - \cos v_1 t]. \end{aligned}$$

Birinchi tenglamani boshqa tenglama hadlaridan ayirib va yuqori hosilaning koeffitsiyentlaridan qutilib, quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned} (P^2 S_1 - P^2 S_0) + \frac{(m_0 + m_1)C}{m_0 m_1} \cdot (S_1 - S_0) &= \quad (37) \\ = \frac{F_{st} (m_0 + m_1)}{m_0 m_1} + \frac{F_{din} m_0}{m_0 m_1} + \frac{F_{din} m_2 m_1}{m_0 m_1 (m_0 + m_1 + m_2)} [1 - \cos v_1 t]. \end{aligned}$$

Tenglamaning o‘ng tomonisiz umumiy yechimi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$(S_1 - S_0) = A \sin v_2 t + B \cos v_2 t,$$

bu yerda:

$$v_2 = \sqrt{\frac{C(m_0 + m_1)}{m_0 m_1}}.$$

Tenglamaning xususiy yechimini quyidagi ko‘rinishda olamiz:

$$(S_1 - S_0) = C + D \cos v_1 t,$$

bu yerda:

$$v_1 = \frac{g}{L} \left( 1 + \frac{m_2}{m_0 m_1} \right).$$

$(S_1 - S_0)$  ni (37) ifodaga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$C = \frac{F_{\text{din}}}{v_2^2} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{m_2 g}{Lv_1^2 m_0 (m_0 + m_1)} \right) + \frac{F_{\text{st}}}{C},$$

$$D = - \frac{F_{\text{din}} m^2 g}{Lv_1^2 m_0 (m_0 + m_1) (v_2^2 - v_1^2)}.$$

(37) tenglamaning to'liq yechimini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$(S_1 - S_0) = A \sin v_2 t + B \cos v_2 t + \frac{F_{\text{din}} m_2 g}{Lv_1^2 m_0 (m_0 + m_1)} \times \\ \times \left( \frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_2^2 - v_1^2} \cos v_1 t \right) + \frac{F_{\text{din}}}{v_2^2 m_1} + \frac{F_{\text{st}}}{C}.$$

Agar elektrodvigatelni ishga tushirguncha dastlabki qarshilik pog'onasi mavjud bo'lsa, uning valiga qiymati statik momentga deyarli yaqin bo'lgan qandaydir moment hosil bo'ladi. Bu holda mexanizm elementlari zo'riqqan holatda bo'ladi va elementlarning deformatsiyalanish tezligi nolga teng, deb hisoblash mumkin. Unda  $t = 0$  bo'lganda

$$S_1 - S_0 = F_{\text{st}}/C; \quad PS_1 - PS_0 = 0.$$

(37) tenglamaga boshlang'ich shartlarni qo'yib, quyidagini olamiz:

$$A = 0, \quad B = - \frac{F_{\text{din}}}{v_2^2} \left( \frac{1}{m_1} - \frac{m_2 g}{Lm_0 (m_0 + m_1) (v_2^2 - v_1^2)} \right).$$

Elastik zvenoning deformatsiyasi uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$(S_1 - S_0) = \frac{F_{\text{din}}}{v_2^2 m_1} (1 - \cos v_2 t) + \frac{F_{\text{din}} m_2 g}{Lm_0 (m_0 + m_1) (v_2^2 - v_1^2)} \times$$

$$\times \left( \frac{1}{\nu_2^2} \cos \nu_2 t - \frac{1}{\nu_1^2} \cos \nu_1 t \right) + \frac{F_{\text{din}} m_2 g}{L m_0 (m_0 + m_1) (\nu_2^2 - \nu_1^2)} + \frac{F_{\text{st}}}{C}.$$

Mexanizmning elastik zvenosi qabul qiluvchi kuch:

$$F_{\text{elas}} = (S_1 - S_0) C.$$

Unda tenglamaning so'nggi ko'rinishini quyidagicha yozamiz

$$F_{\text{elas}} = \frac{F_{\text{din}} C}{\nu_2^2 m_1} (1 - \cos \nu_2 t) + \frac{F_{\text{din}} m_2 g C}{L m_0 (m_0 + m_1) (\nu_2^2 - \nu_1^2)} \times$$

$$\times \left( \frac{1}{\nu_2^2} \cos \nu_2 t - \frac{1}{\nu_1^2} \cos \nu_1 t \right) + \frac{F_{\text{din}} m_2 g C}{L m_0 (m_0 + m_1) (\nu_2^2 - \nu_1^2)} + F_{\text{st}}.$$

Ko'chma mexanizmni ishga tushirganda  $F = f(t)$  ning o'zgarish egri chiziqlari 11-rasmda keltirilgan.

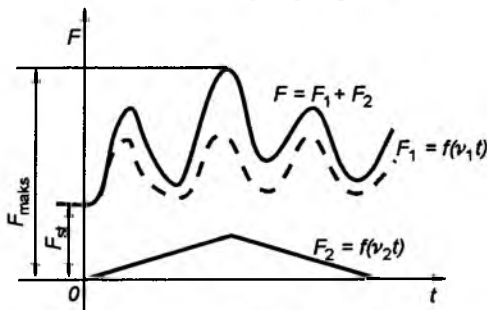
Yig'indi kuch  $F$ ,  $\nu_1$  va  $\nu_2$  chastotali tebranuvchi tizimning bir-birining ustiga tushishining natijasi bo'lib, ular bir-biriga nisbatan mustaqildir va kuchlarning maksimum qiymatlari istagan qiymatlarda to'g'ri kelishi mumkin.

U holda

$$F_{\text{maks}} = \frac{F_{\text{din}} C}{\nu_2^2 m_1} + \frac{2 F_{\text{din}} m_2 g C}{L m_0 (m_0 + m_1) (\nu_2^2 - \nu_1^2)} + F_{\text{st}}$$

yoki  $\nu_1$  va  $\nu_2$  larning o'rniga ularning qiymatlarini qo'yib va berilgan ifodani o'zgartirib quyidagini olamiz:

$$F_{\text{maks}} = \frac{2 F_{\text{din}} (m_0 + m_1)}{m_0 + m_1 + m_2} + F_{\text{st}}.$$



11-rasm.

Olingan ifodani tahlil qilib chiqamiz.

Ko'pchilik ma'lum bo'lgan konstruksiyalarda  $m_0 + m_2/m_0 + m_1 + m_2$  kattalikning nisbati 0,8...0,9 chegarasidir. Kran elektrodvigatellarining dinamik momentlari  $M_{nom}$  dan to  $2M_{nom}$  gacha o'zgaradi, shuning uchun  $F_{din} \approx F_{st} \dots 2F_{st}$  deb qabul qilish mumkin. Unda

$$F_{maks} \approx 4F_{st} + F_{st} \approx 5F_{st}.$$

Yukning eng yuqori ko'tarilgan holatidagi tebranish chastotasi 0,2...0,3 Gs chegarasiga to'g'ri keladikim, uning tebranish davri  $T = 3..5$  s ga tengdir. Yukning tebranish amplitudasini kamaytirishning eng ko'p tarqalgan usullari yuritmaning o'rtacha tezlanishini, ya'ni dinamik moment  $M_{din}$  ni chegaralashdir:

$$A_{o'rt} = \frac{F_{din}}{m_0 + m_1}.$$

Bunda yuritmaning o'tkinchi jarayonining o'tish vaqti cho'ziladi, ya'ni 2,0—5,0 s gacha kattalashadi. Bu esa ko'p hollarda mexanizmning ish unumdorligini kamaytiradi.  $F_{din}$  ( $M_{din}$ ) dinamik kuch (dinamik moment)ni vaqt bo'yicha ma'lum bir qonun asosida o'zgartirib shakllantirish yo'li bilan, tebranish amplitudasini yanada kamaytirish mumkin.

## II BO‘LIM

### LIFTLARNING ELEKTROMEXANIKAVIY TIZIMLARI

Liflarni harakatga keltiruvchi elektr yuritmani ishga tushirish jarayonini tadqiq qilishda quyidagilar o‘rinli deb faraz qilamiz:

1. Lift o‘rnatilgan asosni mutlaqo qattiq deb olamiz, chunki mexanizmlar temir beton to‘sinlarda montaj qilinadi. Ularning qattiqligi po‘lat arqon qattiqligidan bir necha marta kattadir.

2. Elektr yuritma tezlanishining oshib borishi bir necha sekundda bo‘lganligi sababli, po‘lat arqonning uzunligi shu vaqt davomida o‘zgarmas bo‘lib qolganligi uchun, po‘lat arqonning qattiqligini o‘zgarmas deb olamiz.

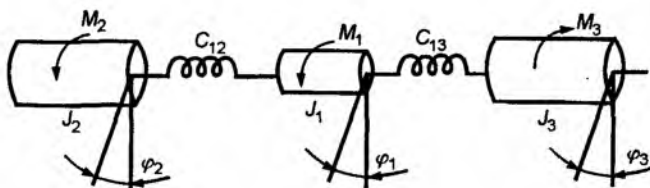
3. Elektr yuritma, kabina va yukka qarama-qarshi (posangi) yuk massalariga nisbatan po‘lat arqonning massasi kichik bo‘lganligi uchun uni hisobga olmaymiz, pas-sajir va yuk tashuvchi liftlarda arqon massasini hisobga olinmaydi.

4. Po‘lat arqon o‘tuvchi bosh bloklarda arqon sirpanmaydi deb hisoblaymiz.

5. Yuklarning massasini mutlaq qattiq deb olamiz. Bu esa yuk tashuvchi liftlarda qattiq yuklar tashilishiga to‘g‘ri keladi. Odamlarni yuqoriga ko‘tarishda yukning tebrani-shi sodir bo‘ladikim, bu mexanizmning dinamik yuklanishini yumshatadi.

Liftni uchta erkin darajali tizim sifatida qarash mumkin (12-rasm).

Rasmda elementlar quyidagicha belgilangan:



12-rasm.

$J_1$  — rotorning inersiya momenti;  $M$  — elektrodvigatelni ishga tushuruvchi moment;  $J_2$  — kabina va yukning inersiya momenti;  $M_2$  — kabina va yukning hosil qiladigan momenti;  $J_3$  — qarama-qarshi (posangi) yuk hosil qiladigan moment;  $C_{12}$  va  $C_{13}$  kabina, po‘lat arqonning va qarama-qarshi (posangi) yukning qattiqligi;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  — mas-salarning burchak koordinatalari.

Yuklangan holatda bo‘lgan tizimning tezligi oshib bori-shi uchun harakat tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\left. \begin{aligned} J_1 P^2 \varphi_1 + (\varphi_1 - \varphi_2) C_{12} - (\varphi_3 - \varphi_1) C_{13} &= M, \\ J_2 P^2 \varphi_2 - (\varphi_1 - \varphi_2) C_{12} &= M_2, \\ J_3 P^2 \varphi_3 - (\varphi_3 - \varphi_1) C_{13} &= M_3. \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Noma'lumlarni qayta qo'yish yo'li bilan chiqarib tash-lab, differensial tenglamalarning bitta o'zgaruvchili va uning hosilari tizimiga keltirish mumkin:

$$\begin{aligned} P^6 \varphi_i + \left[ \frac{(J_1 + J_3) C_{13}}{J_1 J_3} \right] P^4 \varphi_i + \frac{(J_1 + J_2 + J_3) C_{12} C_{13}}{J_1 J_2 J_3} P^2 \varphi_i &= \\ &= \frac{(M + M_2 - M_3) C_{12} C_{13}}{J_1 J_2 J_3}, \end{aligned}$$

bu yerda:  $i = 1, 2, 3$ .

(39) tenglamani ikki marta integrallab, quyidagini olamiz:

$$P^4 \varphi_i + \left[ \frac{(J_1 + J_2) C_{12}}{J_1 J_2} + \frac{(J_1 + J_3) C_{13}}{J_1 J_3} \right] P^2 \varphi_i + \frac{(J_1 + J_2 + J_3) C_{12} C_{13}}{J_1 J_2 J_3} \varphi_i =$$

$$= \frac{(M+M_2-M_3)C_{12}C_{13}}{2J_1J_2J_3} t^2 + Ht + E. \quad (40)$$

(40) tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\varphi_1 = Ai \sin \nu_1 t + Bi \cos \nu_1 t + Ci \sin \nu_2 t + Di \cos \nu_2 t + Nit^2 + Kit + Li,$$

bu yerda:

$$\nu_{1,2} = \sqrt{\frac{(J_1+J_2)C_{12}}{2J_1J_2} + \frac{(J_1+J_3)C_{13}}{2J_1J_3} \pm \sqrt{\left[\frac{(J_1+J_2)C_{12}}{2J_1J_2} + \frac{(J_1+J_3)C_{13}}{2J_1J_3}\right]^2 - \frac{(J_1+J_2+J_3)C_{12}C_{13}}{J_1J_2J_3}}},$$

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  lar uchun mos holda (40) tenglamaning xususiy yechimini va integrallash doimiylari  $A, B, C, D$  larni olish mumkin. Liftning elektr yuritmasi uchun  $t = 0$  bo‘lganda, boshlang‘ich shartlar:  $\varphi_1 = 0, p\varphi_1 = 0, \varphi_2 = M_2/C_{12}, p\varphi_2 = 0, \varphi_3 = M_3/C_{13}, p\varphi_3 = 0$ .

(38) tenglama tizimidan  $t = 0$  bo‘lganda quyidagilarni olamiz:

$$P^2\varphi_1 = \frac{M+M_2-M_3}{J_1}, \quad P^3\varphi_1 = 0, \quad P^4\varphi_1 = \frac{(M+M_2-M_3)(C_{12}-C_{13})}{J_1^2},$$

$$P^6\varphi_1 = 0, \quad P^2\varphi_2 = 0, \quad P^3\varphi_2 = 0, \quad P^4\varphi_2 = \frac{(M+M_2-M_3)C_{12}}{J_1J_2},$$

$$P^5\varphi_2 = 0, \quad P^2\varphi_3 = 0, \quad P^3\varphi_3 = 0,$$

$$P^4\varphi_3 = \frac{(M+M_2-M_3)C_{13}}{J_1J_3}, \quad P^5\varphi_3 = 0.$$

Boshlang‘ich va olingan shartlarni qo‘yib, xususiy yechimini topamiz:

$$\varphi_1 = B_1 \cos \nu_1 t + D_1 \cos \nu_2 t + \frac{(M+M_2-M_3)t^2}{2(J_1+J_2+J_3)} + L_1,$$



$$\varphi_2 = B_2 \cos \nu_1 t + D_2 \cos \nu_2 t + \frac{(M+M_2-M_3)t^2}{2(J_1+J_2+J_3)} + L_2,$$

$$\varphi_3 = B_3 \cos \nu_1 t + D_3 \cos \nu_2 t + \frac{(M+M_2-M_3)t^2}{2(J_1+J_2+J_3)} + L_3.$$

Elastik zveno qabul qiladigan momentlar:

$$M_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) C_{12}, \quad M_{13} = (\varphi_1 - \varphi_3) C_{13}.$$

Elastik zvenolardagi momentlar:

$$M_{12} = \frac{(M+M_2-M_3)C_{12}}{J_1(\nu_1^2-\nu_2^2)} \left[ \left( \frac{C_{12}}{J_1} + \frac{C_{12}+C_{13}}{J_1} - \nu_1^2 \right) \frac{1}{\nu_2^2} \cos \nu_2 t - \right. \\ \left. - \frac{1}{\nu_1^2} \left( \frac{C_{12}}{J_2} + \frac{C_{12}+C_{13}}{J_1} - \nu_2^2 \right) \cos \nu_1 t \right] + \frac{(M+M_2+M_3)J_2}{J_1+J_2+J_3} + M_2, \quad (41)$$

$$M_{13} = \frac{(M+M_2-M_3)C_{13}}{J_1(\nu_1^2-\nu_2^2)} \left[ \left( \frac{C_{13}}{J_3} + \frac{C_{12}+C_{13}}{J_1} - \nu_1^2 \right) \frac{1}{\nu_1^2} \cos \nu_1 t - \right. \\ \left. - \frac{1}{\nu_2^2} \left( \frac{C_{13}}{J_3} + \frac{C_{12}+C_{13}}{J_1} - \nu_2^2 \right) \cos \nu_2 t \right] + \frac{(M+M_2-M_3)J_2}{J_1+J_2+J_3} + M_3. \quad (42)$$

Olingan (41) va (42) ifodalarni umumlashtirilgan holda quyidagicha yozish mumkin:

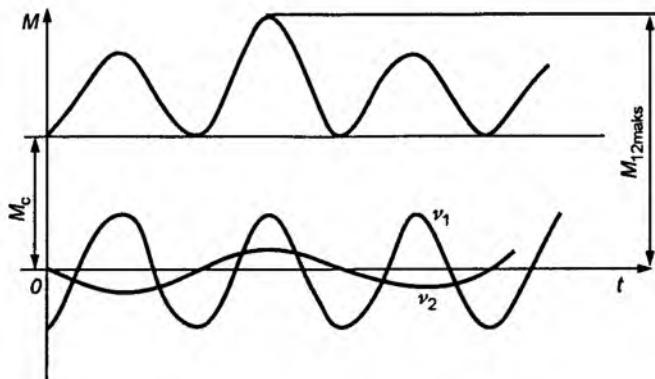
$$M_{12} = a_1(b_1 \cos \nu_2 t - c_1 \cos \nu_1 t) + d_1 + l_2;$$

$$M_{13} = a_2(b_2 \cos \nu_2 t - c_2 \cos \nu_1 t) + d_2 + l_2.$$

Erkinlik darajasi uchta bo'lgan tizim uchun elastik zvenoning bittasining yuk o'zgarishining egri chiziqlari 13-rasmda keltirilgan.

Egri chiziqlardan eng katta yuk ketma-ket kelayotgan tebranish to'liqining birida vujudga keladi. Chunki kosinus  $-1$  dan  $+1$  gacha o'zgaradi, unda yukning eng katta qiymatlarida ularning ayirmasini aniqlash mumkin.

$M_{12}$  momentning eng yomon sharoiti:  $\cos \nu_1 t = \cos \nu_2 t = -1$  bo'lgandadir, bunda maksimal yuk:



13-rasm.

$$M_{12\text{maks}} = \frac{2(M+M_2-M_3)J_2}{J_1+J_2+J_3} + M_2; \quad (43)$$

$\cos \nu_1 t = \cos \nu_2 t = 1$  bo'lganda,  $M_{13}$  moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_{13\text{maks}} = \frac{2(M+M_2-M_3)J_2}{J_1+J_2+J_3} + M_3. \quad (44)$$

Bu moment qiymatlaridan biri maksimaldir.

Ma'lumki, qarama-qarshi yuk (posangi) va kabinaning bir-biriga nisbatan og'irligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$G_{\text{pos}} = G_k + 0,5 G_{\text{yuk}} \quad (45)$$

bu yerda:

$G_{\text{pos}}$  — qarama-qarshi (posangi) yukning massasi;  
 $G_k$  — kabinaning massasi;  $G_{\text{yuk}}$  — yukning massasi.

(45) tenglamadan lift uchun elektrodvigatelning optimal quvvati aniqlanadi va shu sababli (43) va (44) tenglamalardagi elektrodvigatel va yukning hosil qilgan momenti hamda elektrodvigatelning inersiya momenti kabina va qarama-qarshi (posangi) yuklarning momentlari keng chegarada o'zgaradi.

Elektrodvigatelni ishga tushirish momenti  $M_{dv}$  tezlanishning ruxsat etilgan qiymati bilan ( $\alpha \leq 2m/c^2$ ) cheklanadi, agar bu qiymatdan kamaytirilsa, liftning ish unumdorligi kamayadi. Shuning uchun amaliyotda tizimning elastik moment qiymatini kamaytirib bo'lmaydi.

Yuk ko'tarish qobiliyati 5000 N bo'lgan liftlarda dinamik koeffitsiyent  $K_{din}$  kabina nominal yuk bilan yuklanganda  $K_{din} = 1,4$  ga, qarama-qarshi (posangi) yukning po'lat arqonlarining dinamik koeffitsiyent  $K_{din} = 16$  ga teng bo'ladi.

### III BO'LIM

## EKSKAVATORLARNING ELEKTROMEXANIKAVIY TIZIMLARI

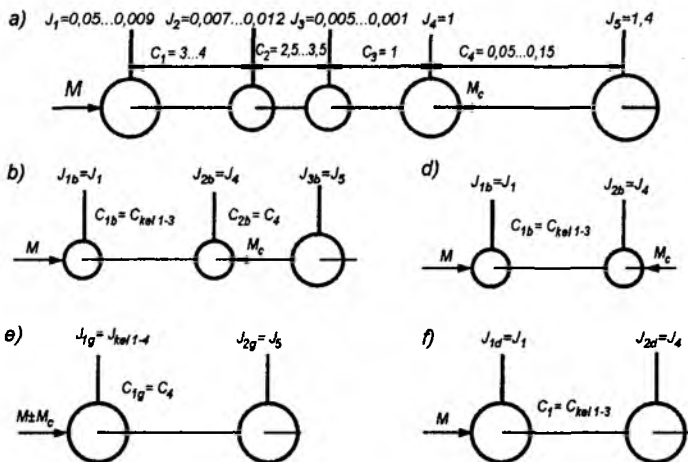
### 10. Mexanizmlarning elastik tizimlarini hisoblash sxemalarini soddalashtirish

Ko'pchilik umumsanoat mexanizmlari anchagina murakkab kinematik sxemaga ega, zvenolarning elastikligi e'tiborga olinganda, bu sxemalar yuqori darajali matematik tenglamalar bilan ifodalanadi. Erkinlik darajasi uchta va undan ortiq bo'lgan tizimlarni tahlil qilishda, ketma-ket yaqinlashish usulini qo'llab, juda katta hisoblash ishlarini bajarish orqali ularning asosiy parametrlari aniqlanadi. Inersiya momentlari va mexanizmning qattiqqligi munosabatlarini e'tiborga olib, odatda ko'p zvenoli, tizimni bitta yoki ikkita erkinlik darajasiga ega bo'lgan elastik tizim bilan almashtirishga harakat qiladilar. Ekskavatorning aylantiruvchi mexanizmi misolida elastik tizimni hisoblash sxemasini soddalashtirish yo'llarini ko'rib chiqamiz.

Ekskavatorning buruvchi mexanizmi va ishchi uskunalarning elastik tizimlarini hisoblash sxemasini erkinlik darajasi beshta bo'lgan hisoblash sxemasi ko'rinishida tasvirlash mumkin (14-a rasm).

Rasmda asosiy (bazaviy) kattaliklar sifatida eng keyingi valning qattiqqligi  $C_3 = 1$  va buradigan platformaning inersiya momenti  $J_4 = 1$  ga teng deb olingan. Bu kattaliklar nisbiy birlikda ifodalangan.

Cho'mich va uning ichidagi tuproqning inersiya momenti  $J_5$  ning o'zgarish chegarasi va sxemada ko'rsatilgan ishchi uskunalarning qattiqqligi  $C_4$  cho'mich va uning ichidagi tuproqni qanchalik uzoqqa uzatish mumkinligi chegarasini ko'rsatadi.



14-rasm.

Uskunalarning elementlari alohida qattqlik darajasini va inersiya momentlarini taqqoslab ko'rish, hisoblash sxemasini soddalashtirish mumkin ekanligini ko'rsatadi.

Agarda buruvchi mexanizmda tebranishning yuqori chastotasini e'tiborga olinmasa ( $\nu_2 = II$ ,  $\nu_1 = 2,8$ ), erkinlik darajasi beshta bo'lgan hisoblash tizimini erkinlik darajasi uchta bo'lgan tizimga keltirish mumkin (14-b rasm).

Hisoblash sxemasini yanada soddalashtirish uchun platformani burish mexanizmi vallarining qattqligi va inersiya momentlarini solishtirib olib borish mumkin.

Buruvchi mexanizm vallarining yig'indi qattqligi eng keyingi valning qattqligining 10 % dan oshmaydi, buruvchi platformaning inersiya momenti esa, mexanizmning hamma aylanuvchi massalarining inersiya momentlaridan o'rtaicha 10 marta kattadir. Bu holda erkinlik darajasi ikkiga teng bo'lgan alohida sxemalardan (14-d, e rasm) dinamik yuklarni hisoblash mumkin.

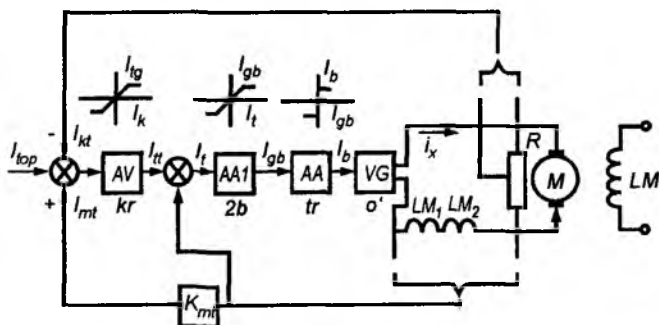
10...20 % elektrodvigatel momentini tashkil etuvchi  $M_c$  statik momentni hisobga olmasdan buruvchi mexanizm elastik tizimini hisoblash uslubiyatini yanada soddalashtirish mumkin (14-f rasm).

Yuqorida keltirilgan ekskavatorning buruvchi mexanizmining soddalashtirilgan hisoblash sxemasidan foydalanib, ma'lum cheklovlarni hisobga olgan holda I va II bo'limlarda ko'rsatilgan formulalardan foydalanib, ekskavatorning elektromexanikaviy tizimini tahlil qilish mumkin.

Umum ishlatiladigan kranlarning elektromexanikaviy tizimlarini tahlil qilishda olingan xulosalardan bu yerda ham foydalanish mumkin.

### 11. Ekskavatorlarning bo'ysunuvchi rostlanuvchan tizimlarda sozlashning turlarini tanlash

*Ekskavatorlar elektr yuritmalarining umumlashgan tuzilmasi*



15-rasm.

Hozirgi zamon ekskavatorlarining asosiy mexanizmlarining elektr yuritmalarini boshqarish uchun uning elektrodvigatelini tiristorli o'zgartkich orqali ta'minlashda 15-rasmda ko'rsatilgan tuzilmadan foydalaniladi.

Tuzilma ikki konturli, dvigatelning yakor toki va o'zgartkichning kuchlanishi bo'yicha bo'ysunuvchi rostlanuvchan tizimdan iboratdir. Tuzilma quyidagi elementlardan tashkil topgan: elektrodvigatel  $M$ , o'zgartkich  $VG$ , tok rostlagichi  $AA$ , cheklash zvenosi  $AA1$ , kuchlanish rostlagichi  $AV$ .

Tok rostlagichi sifatida  $I$  tipidagi integrallash rostlagichdan foydalaniladi, uning integrallash doimiysi  $T_i$  ga tengdir. U holda elektrodvigatelning yakor zanjirining vaqt doimiysi  $T_{ya}$  kompensatsiyalanmaydi. Yakor zanjiridagi tokni cheklash zvenosining  $AA1$  kirish qismiga (uning xarakteristikasi shundayki, chiqish qiymati cheklangan, o'tkinchi jarayonda maksimal tezlanishni cheklashni ta'minlaydi) kuchlanish rostlagichining chiqishidagi signal  $I_{\prime\prime}$  va elektrodvigatelning qo'shimcha qutbi  $LV1$  va kompensatsiya chulg'ami  $LM2$  dan olinayotgan yakor toki bo'yicha manfiy teskari aloqalar qo'shiladi.  $U_{TA} = K_{TA} * i_{ya}$ .

Elektr yuritmani ishga tushirish paytida tayanch tokidan kamroq qiymatgacha tok o'sib borganda, cheklash zvenosining kirish qismiga katta signal beriladi va natijada kuchaytirgich  $AA1$  to'yingan zonada ishlaydi, shu sababli o'zgartgichning elektr yurituvchi kuchi to'g'ri chiziq qonuni bo'yicha tezlanish ruxsat etilgan chegaragacha o'zgaradi, bu esa yuritmaning mexanik qismining siltanishini chegaralashga imkon beradi.

Yuritma tok cheklash zonasida ishlab turgan vaqtida kuchlanish rostlagichi  $AV$  to'yingan zonada ishlaydi va kuchlanish rostlagichining chiqishidan cheklash zvenosining kirishiga o'zgarmas signal  $U_{TT} = \text{const}$  beradi, buning natijasida elektrodvigatelning yakor zanjiridan o'tayotgan tokning qiymati ruxsat etilgan tok qiymatiga tengdir. U holda o'zgartgichning kirishidagi kuchlanish elektrodvigatelning ruxsat etilgan tezlanishiga nisbatan proporsional o'zgaradi:

$$U_{+ikTR} = T_i \frac{du}{dt} = CT_i \varepsilon_{rux.et.},$$

bu yerda  $\varepsilon_{rux.et.}$  — elektrodvigatelning ruxsat etilgan tezlanishi.

Agarda elektrodvigatelning yakor zanjiridan o'tayotgan tok kamaysa,  $U_{TT} - K_{TO} * i_{ya}$  ko'payadi va cheklash zvenosi xarakteristikaning to'yingan qismiga o'tadi.

Sxemada o'zgartkichning  $VG$  kuchlanish bo'yicha  $U_{ko}$  teskari aloqadan foydalaniladi. Proporsional kuchlanish rostlagichining kirish qismida topshiriq kuchlanish darajasi (elektrodivigatel tezligi)  $U_{iop}$  va kuchlanish bo'yicha teskari aloqa  $V_{it}$  algebraik bir-biriga qo'shiladi. Elektr yuritmaning mexanik xarakteristikasining ishchi uchastkasining qattiqligini ta'minlash uchun kuchlanishni rostlashda kuchlanish rostlagichining  $AV$  kirish qismida tok bo'yicha musbat teskari aloqa signali beriladi.  $I_{mt}$  tok bo'yicha musbat teskari aloqa kuchlanish rostlagichining  $AV$  kirish qismiga koeffitsiyenti  $K_{mt} = 1/K_{kr}$  bo'lgan qiymat beriladi.

Bu yerda  $K_{kr}$  — kuchlanish rostlagichining uzatma koeffitsiyenti. Bu chiqish kuchlanishi  $I_{ut}$  kuchlanish rostlagichi xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismida ishlashini ta'minlaydi, uning tashkil etuvchilari bo'lib, har bir daqiqada tok bo'yicha manfiy teskari aloqa  $I_{ta}$  ning son qiymatiga tengdir, bu signal tokni cheklash  $AA1$  zvenoning kirish qismiga ta'sir qiladi. Shunday qilib, bu yo'l bilan sozlashda tok bo'yicha musbat teskari aloqa ichki tok konturining ta'sirini kompensatsiya qiladi, natijada elektr yuritmaning mexanik xarakteristikasini yumshatadi va yakorni tok bo'yicha ochiq tizim deb qarash mumkin. Ekskavatorlarda qo'llaniladigan elektr yuritmaning mexanik xarakteristikasining ishchi zonasining qattiqligini yakor tokining musbat teskari aloqa koeffitsiyentini tanlash orqali amalga oshiriladi.

Tok bo'yicha manfiy teskari aloqa ta'sirini kompensatsiyalash elektrodivigatelning yakor zanjiriga berilayotgan kuchlanishni o'zgarmligini va elektr yuritma mexanik xarakteristikasining talabdagi qattiqligini ta'minlaydi. Ketma-ket korreksiyali tizimlarda mavjud bo'lgan elektr yuritmaning statik xarakteristikasining qattiqligi bilan o'tkinchi jarayonning sifati orasidagi aloqani tuzatadi.

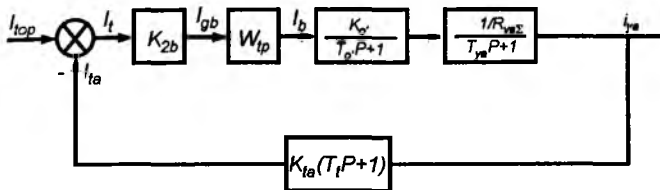
Kuchlanish rostlagichi  $AV$  tokni chegaralash zonasida ishlaganda to'yingan rejimda bo'ladi va uning chiqishida



$V_{iop} = V_{iop.maks} = \text{const}$  doimiy kuchlanish bo'лади. Natijada tok bo'yicha musbat aloqa o'z ta'sirini yo'qotadi va tizim bir konturli rostlanuvchan tizim sifatida ishlaydi.

Strukturaning asosiy kamchiligi integral rostlagichning yakor zanjirining elektromagnit vaqt doimiysi  $T_{ya}$  ni kompensatsiya qila olmasligi, bu kompensatsiya qilinmaydigan vaqt doimiysi  $T_{\mu} = T_i + T_{ya}$  ning oshib ketishiga olib keladi, natijada ketma-ket korreksiyaning bo'lishiga qaramasdan, elektr yuritmaning tezkorligi kamayadi. Bundan tashqari, elektrodvigatel tezligining o'zgarish tempi katta bo'lganda (bu esa ekskavator elektr yuritmasiga taalluqli) ichki elektr yurituvchi kuchning ta'siri bo'lishiga qaramasdan, yuritmaning statik xarakteristikasi bilan dinamik xarakteristikasining o'rtasida katta tafovut mavjuddir, bu hol ayniqsa o'ta yuklanishda, ishga tushirish va tormozlash rejimlarida o'z ta'sirini ko'rsatadi. Bu holda tokni rostlashning dinamik xatosi  $\Delta I$  30% va undan ortiqdir. Bu kamchilikni yo'qotish uchun tok bo'yicha manfiy aloqa signaliga rostlanayotgan qiymatning hosilasiga mutanosib bo'lgan tashkil etuvchi kiritiladi. Bu ketma-ket va parallel korreksiyaning qo'llashga ekvivalentdir. Lekin struktura parametrlarini tanlashga va ketma-ket korreksiyalash usuliga xos bo'lgan yo'lni qo'llashni qulaylashtirishga imkon beradi. Sxemada rostlagichlar sifatida yuqori chastotali shovqinlarga sezgir bo'lmagan magnitli kuchaytirgichlardan foydalaniladi.

Exkavator elektr yuritmasini sozlashda elektr yuritmaning berilgan dinamik ko'rsatkichlarini olish uchun qisqa tutashish rejimida (elektrodvigatelning qo'zg'atish zanjiri manbadan uzilgan holda) tok konturi va salt ishlash rejimida (yakor zanjiri uzuq bo'lganda) kuchlanish konturi sozlanadi. Bu rejimlarda yuritmalar eng qulay (optimal) sozlanganda mexanizm ishlaganda elektr yuritmaning dinamikasi qulay (optimal) bo'lishiga yaqinlashuvi ta'minlanadi. Ko'rilayotgan tizimning qisqa tutashish rejimi elektrodvigatelning elektr yurituvchi bo'yicha ichki



16-rasm.

aloqasi yo'q bo'lgan tizimning ishlash sharoitiga mos keladi. Salt ishlash rejimi bo'yicha kuchlanish konturini sozlash tezlik bo'yicha teskari aloqa o'rniga kuchlanish bo'yicha teskari aloqadan foydalanishga hamda dvigatelnining yakor toki bo'yicha musbat aloqani kompensatsiyalashni qo'llashga asoslangan. Shu sababli kuchlanish konturi ishlaganda tok bo'yicha teskari aloqa ochiq holda bo'ladi, deb hisoblash mumkin.

Qisqa tutashish rejimida qulaylashtirilgan tok konturining struktura sxemasi 16-rasmida keltirilgan. Tokni  $T_{ya} + T_{o'} = T_{\mu}$  bo'lgan sharoitda tokni roslash obyektini uzatish funksiyasini quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$W_T(P) = \frac{K_{2b}K_{o'}/R_{ya}\Sigma}{(T_{ya}P+1)(T_{o'}P+1)} \approx \frac{K_{2b}K_{o'}/R_{ya}\Sigma}{(T_{\mu}'P+1)}, \quad (46)$$

bu yerda:  $T_{\mu}'$  — kompensatsiya qilinmaydigan vaqt doimiysi;

$K_{2b}$  — chegaralash zvenosining uzatish koeffitsiyenti;

$K_{o'}$  — o'zgartgichning uzatish koeffitsiyenti;

$R_{ya\Sigma}$  — elektrodvigatelnining yakor zanjiridagi qarshiliklarning yig'indisi;

$T_{o'}$  — o'zgartgichning vaqt doimiysi.

Zanjiri ochiq bo'lgan tok konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'lishi lozim:

$$W_{\text{ochiq+ikT}}(P) = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}P(T_{\mu}'P+1)}, \quad (47)$$

bu yerda:  $T_{OT}$  — tok konturining integrallash doimiysi.

$T_{ok}$  rostlagichning uzatish funksiyasi (46), (47) ifodalarni birgalikda yechimi bilan aniqlanadi:

$$W_{TP}(P) = W_{o+ikT}(P) \cdot W_T(P) = \frac{R_{y\alpha\Sigma}}{K_{2b}K_o \cdot K_{OT}T_{OT}P} = \frac{1}{T_i P},$$

bu yerda:  $K_{OT}$  — tok bo'yicha teskari aloqaning uzatish koeffitsiyenti;

$$T_i = K_{2b}K_o \cdot K_{OT}/R_{y\alpha\Sigma}.$$

Bunday sharoitda berk tok konturining uzatish funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\Phi_T(P) = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}T'_\mu P^2 + (T_{OT} + T_T)P + 1}, \quad (48)$$

bu yerda:  $T_T$  — tok bo'yicha elastik aloqaning doimiysi.

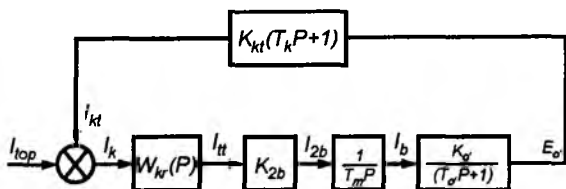
(48) ifodadan ma'lumki, tokni rostlash konturiga tokning hosilasiga mutanosib bo'lgan signalni kiritilishi vaqt doimiylari va jarayon xarakteri oralaridagi munosabatlarning qattiq bog'lanishlarini buzib, sozlash imkoniyatini kengaytiradi.

Ma'lumki, ketma-ket korreksiya elektr yuritmaning dinamik ko'rsatkichlarini olishni ta'minlaydi. Bu ko'rsatkichlar konturning  $\alpha_T = T_{OT}/T'_\mu$  munosabatlarini tanlash yo'li bilan aniqlanadi. Sozlash uchun texnik (modulli) optimal vaqt doimiylari  $\alpha = 1...4$  orasida bo'ladi. Tok konturining tezkorligi vaqt doimiysi  $\alpha$  bilan kompensatsiya qilinmaydigan vaqt doimiysi  $T'_\mu$  darajani munosabatlari bilan aniqlanadi.

(48) xarakteristik tenglamaning ildizlari quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{1,2} = \frac{1}{T_{OT}} \left( -\frac{(T_{OT} + T_T)/T'_\mu}{2} \pm \sqrt{\frac{[(T_{OT} + T_T)/T'_\mu]^2}{4} - \frac{T_{OT}}{T'_\mu}} \right).$$

Aperiodik jarayonning chegaraviy holatida (diskriminant nolga teng):



17-rasm.

$$T_T = T'_\mu (2\sqrt{\alpha_T} - \alpha_T). \quad (49)$$

(49) ifodada  $T_T$  va  $T'_\mu$  vaqt doimiylarining istalgan nisbatida xarakteristik tenglamaning mos diskriminantini ta'minlovchi elastik tashkil etuvchisini tanlab, chulg'amlar parametrini o'zgartirib, o'tkinchi jarayonning berilgan sifatini olish mumkinligini ko'rsatadi. Bu ishga tushirish va tormozlashdagi o'tkinchi jarayonlarda tok  $\Delta I$  ni rostlashda yo'l qo'yiladigan eng kichik xatoni olish uchun lozim bo'lgan  $\alpha_T$  ning optimal qiymatini tanlashga imkon beradi.

Olingan tok rostlagichining uzatish funksiyasi va kuchlanish rostlash konturini salt ishlash rejimidagi struktura sxemasi 17-rasmida keltirilgan:

Ochiq kuchlanish rostlagich konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$W_k(P) = \frac{1/K_{KT}}{T_{KT}P(T'_\mu P + 1)}, \quad (50)$$

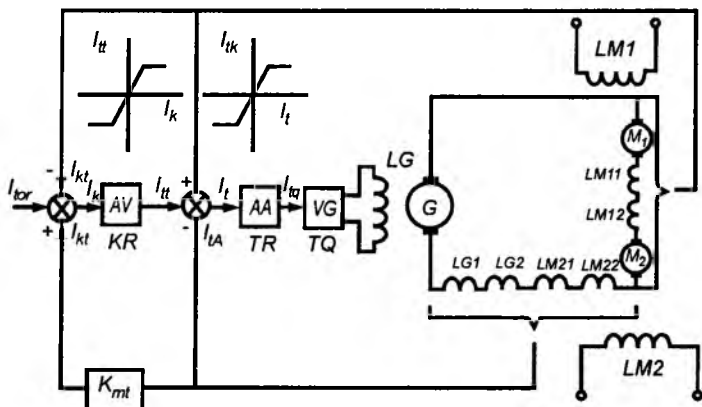
bu yerda:  $T'_\mu$  — kichik o'zgarmas vaqt doimiysi. Bu vaqt doimiysi o'zgartgichning vaqt doimiysiga teng  $T'_\mu = T_i$ .

Kuchlanishni rostlash obyekti konturi uchun uzatish funksiyasini quyidagicha yozish mumkin:

$$W_{OKR}(P) = K_{2b}K_o/PT_i(T'_\mu P + 1).$$

Kuchlanish rostlagichining uzatish funksiyasi:

$$W_{KR}(P) = \frac{T_i}{T_{2b}K_o \cdot K_{KT}T_{KT}} = K_{KR}. \quad (51)$$



18-rasm.

(50) va (51) formulalardan kuchlanish bo'yicha berk konturning uzatish funksiyasi

$$\Phi_H(P) = \frac{1/K_{KT}}{T_{KT}T'_\mu P^2 + (T_{KT} + T_K)P + 1}$$

ko'rinishda ekanligi kelib chikadi.

Kuchlanish konturini sozlash tok konturini sozlash kabi bo'lib, u  $T_{KT}$ ,  $T'_\mu$  va  $T_K$  vaqt doimiylarining nisbatlarini tanlash yo'li bilan olib boriladi.  $\alpha_K$  va  $T_K$  qiymatlari tok konturi uchun keltirib chiqarilgan formulalar bo'yicha aniqlanadi [2].

Generatorning qo'zg'atish chulg'am zanjiri, tiristorli o'zgartgich bilan ta'minlangan va oraliq kuchaytirgichli generator-dvigatel tizimining elektr yuritmasini boshqarishda ekskavator strukturasi optimal strukturasi 18-rasmda keltirilgan.

Struktura quyidagi elementlardan tashkil topgan: elektrodvigatel  $M_1$ ,  $M_2$  generator  $G$ , qo'zg'atgich  $VG$  tokni cheklash zvenosi (tok rostlagichi)  $AA$ , kuchlanish rostlagichi  $AV$  dan iboratdir. Tok rostlagichining kirish qismiga topshiriq signal  $U_{top}$  va yakor zanjiridan olingan tok bo'yicha teskari aloqa  $U_{TT}$  signallari yig'indisi beriladi. Tok rostlagichi yakor zanjiri tokini chegaralovchi zveno sifati-

da ishlaydi va o'tkinchi jarayonda maksimal tezlanishni chegaralaydi. Mexanik xarakteristikaning ishchi qismining qattiqligini oshirish uchun kuchlanish rostlagichining kirish qismiga tok bo'yicha musbat teskari aloqa  $U_{MT}$  beriladi. Sxemada generatorning kuchlanishi  $U_{KT}$  bo'yicha manfiy teskari aloqadan foydalaniladi. Bu signal kuchlanish rostlagichning kirish qismida va tiristor uyg'otgich  $VG$ , generator  $G$ , tok rostlagich  $AA$  ni qurshab olgan generator kuchlanishi bo'yicha musbat teskari aloqa bilan algebraik qo'shiladi.

Zanjirning kuchlanish bo'yicha musbat teskari aloqa bilan qurshalgan va tok rostlagichi  $AA$  tiristorli o'zgartgich  $VG$  va generator  $G$  dan iborat bo'lgan ichki qismining uzatish funksiyasi 19-rasmda keltirilgandek bo'ladi:

$$W_{TR, TQ, G}(P) = \frac{e_g(P)}{U_{TG}(P)} =$$

$$= \frac{K_{TR} K_{TQ} K_G}{(T_{TR} P + 1)(T_{TQ} P + 1)(T_K P + 1) - K_{TR} K_{TQ} K_G K},$$

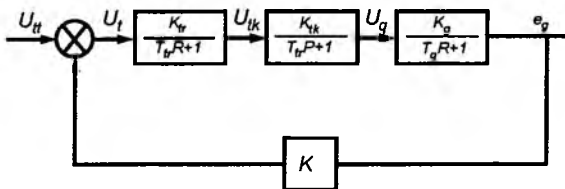
bu yerda:

$K_{TR}$ ,  $K_{TQ}$ ,  $K_T$  va  $K$  — tok rostlagichi, tiristorli qo'zg'atgich, generator va kuchlanish bo'yicha musbat teskari aloqaning uzatish koeffitsiyentlari;

$T_{TR}$ ,  $T_{TQ}$ ,  $T_K$  — tok rostlagichi, tiristorli qo'zg'atgich va generatorning uyg'otish zanjirining vaqt doimiylari.

Kuchlanish bo'yicha teskari aloqaning kritik koeffitsiyentini olish uchun quyidagi tenglikni saqlash lozim:

$$K = K_{KR} = \frac{1}{K_{TR} K_{TQ} K_G},$$



19-rasm.

$T_{TR}/T_K \approx 0$  va  $T_{TR}/T_K \approx 0$  deb, (52) dan quyidagini olamiz:

$$W_{TR,TQ,G}(P) = \frac{e_g(P)}{U_{TG}(P)} = \frac{K_{TR}K_{TQ}K_G}{T_K P(T_U P + 1)}$$

bu yerda:  $T_u = T_{TR} - T_K$  — tok rostlagichi va tiristorli qo'zg'atgichning yig'indi vaqt doimiysi.

$T_m > 2T_{ya}$  bo'lganda elektrodvigatelning elektr yurituvchi kuchi bo'yicha ichki teskari aloqaning dinamik jarayonlarga ta'siri rostlagichning berk tizimida uncha ahamiyatga ega emas, deyish mumkin, bu esa uni e'tiborga olmaslikka imkon beradi. Bu holda tokni rostlash konturining ochiq zanjirining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W_{KT}(P) = \frac{K_{TR}K_{TQ}K_G 1/R_{ya\Sigma}}{T_K(T_U P + 1)(T_{ya} P + 1)},$$

bu yerda:

$R_{ya\Sigma}$  — elektrodvigatel yakor zanjirining qarshiliklar yig'indisi.

$T_{ya}$  va  $T_{o'}$  — vaqt doimiylarini kichik kompensatsiya qilib bo'lmaydigan vaqt doimiylari deb qarash mumkin, ya'ni  $T'_\mu = T_{o'} + T_{ya}$ , u holda tok rostlash konturining bevosita zanjirining uzatish funksiyasi quyidagicha yoziladi:

$$W_{KT}(P) = \frac{K_{TR}K_{TQ}K_G 1/R_{ya\Sigma}}{T_K(T'_\mu P + 1)} = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT} P(T'_\mu P + 1)},$$

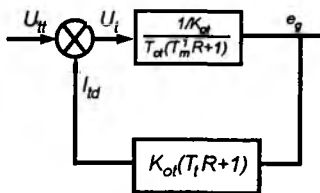
bu yerda:

$$T_{OT} = \frac{T_K R_{ya\Sigma}}{K_{TP} K_{TQ} K_G K_{OT}}$$

Bu sharoitda obyektning uzatish funksiyasi qulaylashgan shaklga ega bo'ladi va hisoblashdan asosiy maqsad tok bo'yicha teskari aloqaning qulay koeffitsiyentini aniqlashdir.

$$T_{OT} = \frac{T_K R_{ya\Sigma}}{K_{TP} K_{TQ} K_G K_{OT}}$$

Tok bo'yicha teskari aloqa signali generator va elektrodvigatelning qo'shimcha qutblaridan olinadi — bu o'zida tashkil etuvchi tok bo'yicha yumshoq teskari aloqasiga ega:  $K_{OT}(T_{TR} + 1)$ , bu yerda  $T_T$  — teskari aloqa olinadigan bosh zanjir bo'lagining vaqt doimiysi.



20-rasm.

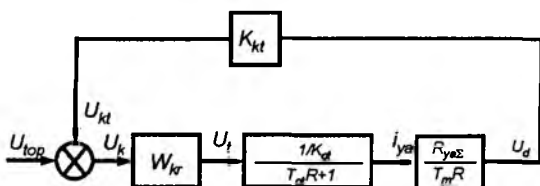
Bu hol uchun roslash konturining struktura sxemasi 20-rasmda keltirilgan.

Yopiq roslash konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} \Phi_T(P) &= \frac{\frac{1/K_{OT}}{T_{OT}P(T'_\mu P+1)}}{1 + \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}P(T'_\mu P+1)} K_{OT}(T_T P+1)} = \\ &= \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}T'_\mu P^2 + (T_{OT} + T_T)P + 1}. \end{aligned}$$

Xarakteristik polinom koeffitsiyentlarini tanlash natijasida tokni roslash konturining o'tkinchi jarayonda berilgan sifatini olish mumkin.

Kuchlanishni roslash konturi o'z tarkibida roslash zvenolaridan biri sifatida qulaylashtirilgan tok konturiga egadir. Kuchlanish bo'yicha teskari aloqasi  $U_{KA}$  mavjud bo'lgan elektr yuritmaning struktura sxemasi 21-rasmda keltirilgan.



21-rasm.



Tok konturining uzatish funksiyasini ikkinchi tartibli tashkil etuvchisini hamda tok bo'yicha teskari aloqa zanjirining vaqt doimiysini e'tiborga olmay soddalashtiramiz. U holda tokni rostdlash berk konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

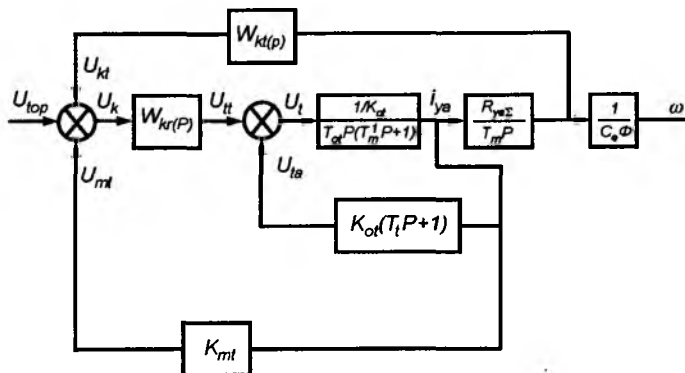
$$\Phi_T(P) = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}T_{\mu}^{\prime}P^2 + (T_{OT} + T_T)P + 1} = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}P + 1} = \frac{1/K_{OT}}{m_{OPT}T_{\mu}^{\prime}P + 1},$$

bu yerda:  $K_{OT}$  — tok bo'yicha teskari aloqaning uzatish koeffitsiyenti;  $T_{OT}$  — tok konturining vaqt doimiysi;  $m_{OPT} = T_{OT}/T_{\mu}^{\prime}$ ;  $T_{\mu}^{\prime}$  — tok konturining kompensatsiya qilinmaydigan kichik vaqt doimiysi.

Yuqorida qabul qilingan soddalashtirishlarni e'tiborga olingan holda elektr yuritmaning struktura sxemasi 22-rasmda keltirilgan. Kuchlanish rostdlagichi quyidagi uzatish funksiya bilan ta'riflanadi:

$$W_{KR}(P) = \frac{K_{KR}}{(T_{KR}P + 1)},$$

bu yerda:  $T_{KR}$  — kuchlanish rostdlagichining vaqt doimiysi. Bu vaqt doimiysini kompensatsiya qilinmaydigan kuchlanish konturiga kirgizamiz:  $T_{\mu}^{\prime} = T_{OT} + T_{KR}$ . Unda  $W_{KR}(P) = K_{KR}$  ga tengligini olamiz.



22-rasm.

Kuchlanishni roslash obyektining uzatish funksiyasi:

$$W_{OKR}(P) = \frac{1/K_{OT}}{T_{\mu}^*P+1} \cdot \frac{R_{ya\Sigma}}{T_M P},$$

bu yerda:

$T_{\mu}^*$  — kuchlanish konturining kichik kompensatsiya qilinmaydigan vaqt doimiysi;

$T_M$  — elektrodvigatelning elektromexanikaviy vaqt doimiysi.

Kuchlanish, tok roslagichi va elektrodvigatelni o'z ichiga oladigan kuchlanishni roslash konturi bevosita zanjirining uzatish funksiyasi quyidagicha yoziladi:

$$W_{KK}(P) = \frac{K_{KR} \cdot 1/K_{OT} \cdot R_{ya\Sigma}}{T_M P(T_{\mu}^*P+1)} = \frac{1/K_{KT}}{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)},$$

bu yerda kuchlanish konturining vaqt doimiysi:

$$T_{KT} = T_M K_{OT} / K_{KT} K_{KR} R_{ya\Sigma};$$

$K_{KT}$  — kuchlanish bo'yicha teskari aloqaning uzatish koeffitsiyenti.

Kuchlanishni roslash berk konturining uzatish funksiyasi:

$$\begin{aligned} \Phi_H(P) &= \frac{\frac{1/K_{KT}}{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)}}{1 + \frac{1/K_{KT}}{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)} K_{KT}} = \frac{1/K_{KT}}{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)} \times \\ &\times \frac{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)}{T_{KT} P(T_{\mu}^*P+1)+1} = \frac{1/K_{KT}}{m' T_{\mu}^* P(T_{\mu}^*P+1)+1}. \end{aligned}$$

bu yerda:

$$m' = \frac{T_{KT}}{T_{\mu}^*}.$$

Vaqt doimiylarining optimal nisbatlarini tanlab, roslash tizimining berilgan sifat ko'rsatkichlarini olish mumkin.

## 12. Katta quvvatli ekskavatorning boshqarish tizimida sozlashni tanlash

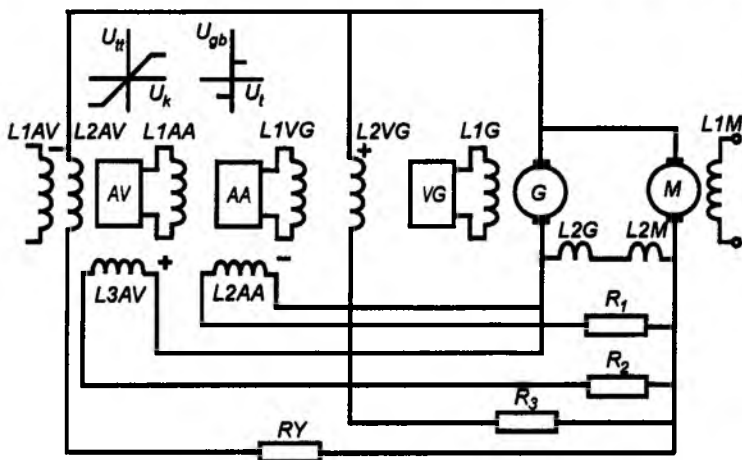
ЭКГ—12,5 (23-rasm) markali ekskavatorning buruvchi mexanizmi elektr yuritmasining generator-dvigatel (G-D) tizimida generatorning qo'zg'atish chulg'amini boshqarish tiristorli o'zgartgich VG orqali bajariladi.

Tok AA va kuchlanish AV rostlagichlari bo'ysunuvchi rostlanuvchan sxema asosida ulangan.

Generator G ning elektromexanik xususiyati 24-rasmda ko'rsatilgan, inersion zvenoning uzatish funksiyasi kabi bayon qilinadi.

Tok rostlash konturining ta'sirini ta'minlash uchun sxemada kritik parametri ( $L2VG$ ) chulg'am generator kuchlanishiga teskari bo'lgan musbat aloqadan foydalaniladi. Musbat teskari aloqa bilan qurshalgan zanjirning ichki qismining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_{TO',G}(P) = \frac{e_G(P)}{U_{TOP} \cdot T_{O'}(P)} = \frac{K_{TO'} \cdot K_G}{(T_{TO'} P + 1)(T_K P + 1) - K_{TO'} K_G K_{TO'} K_A}$$



23-rasm.

bu yerda:  $K_{TO}$ ,  $K_G$ ,  $K_{TO'KA}$  — tiristorli o'zgartgichning, generator va tiristorli o'zgartgichning kuchlanish bo'yicha teskari aloqa chulg'amining uzatish koeffitsiyentlari;  $T_{TO}$ ,  $T_K$  — tiristorli o'zgartgichning va generatorning qo'zg'atish chulg'amining vaqt doimiylari.

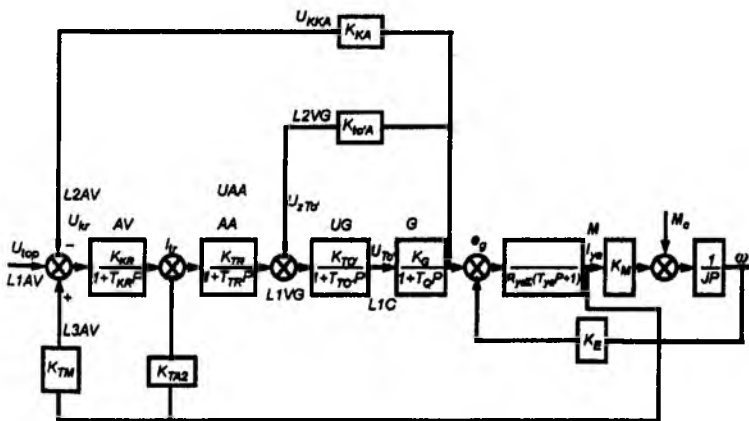
Kuchlanish bo'yicha teskari aloqaning kritik koeffitsiyenti  $K_{TO'KA} = 1/K_{TO} - K_G$  va  $T_{TO}/T_K \approx 0$  deb qarasaq, quyidagini olamiz:

$$W_{TO'G}(P) = \frac{e_G(P)}{U_{TOP} \cdot T_{TO}(P)} = \frac{K_{TO} \cdot K_G}{T_K P (T_{TO} P + 1)}. \quad (53)$$

(53) ifodadan kritik o'z-o'zidan qo'zg'atishli generatorning uzatish funksiyasi integral zvenoning uzatish funksiyasiga mos kelishi ko'rinadi:

$$W_G(P) = \frac{e_G(P)}{U_{TO}(P)} = \frac{K_G}{T_K P}.$$

Tormozlangan rejimda ( $\omega_g = 0$ ) elektrodvigatelning elektr yurituvchi kuchi bo'yicha teskari manfiy aloqa ishlaymaydi va kuchlanish rostlagichi AV to'yinish zonasida bo'ladi. Uning chiqishidagi signal doimiy bo'ladi. Bu rejim-



24-rasm.

da faqat tok bo'yicha manfiy teskari aloqa ishlaydi va o'tkinchi rejimda tokning egri chizig'ini aniqlaydi. Tokning rostlash konturiga AA tok rostlagichi, tiristorli o'zgartgich VG, generatorning yakor zanjiri va teskari aloqa kiradi.

Ochiq tok konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$W_T(P) = \frac{K_{TR}}{(T_{TR}P+1)} \cdot \frac{K_{TO'}}{(T_{TO'}P+1)} \cdot \frac{K_G}{T_G P} \cdot \frac{K_{TA2}}{R_{ya\Sigma}(T_{ya}P+1)}.$$

$T_{ya}$ ,  $T_{TO'}$ ,  $T_{TR}$  o'zgarmas vaqtlar kichik o'zgarmas vaqt doimiysiga kiradi, ya'ni

$$T'_\mu = T_{ya} + T_{TO'} + T_{TR} \ll T_R,$$

unda

$$W_T(P) = \frac{K_{TR}K_{TO'}K_GK_{TA2}}{R_{ya\Sigma}T_K P(T'_\mu P+1)}. \quad (54)$$

Texnik optimum, tok rostlagichi konturining sozlash kriteriysi bo'ladi. Bunda ochiq konturning uzatish funksiyasi quyidagi shartni qoniqtirishi lozim:

$$W(P) = \frac{1}{2T'_\mu P(T'_\mu P+1)}. \quad (55)$$

(54) va (55) ifodalardan ma'lumki, konturni texnik optimum bo'yicha sozlash uchun quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$K_{TA2} = \frac{R_{ya\Sigma}T_K}{K_{TR}K_{TO'}K_G 2T'_\mu},$$

bundan teskari aloqa zanjiri koeffitsiyenti  $K_{TA2}$  aniqlanadi.

Bunday sharoitda tok konturining tezkorligini va o'tkinchi jarayon xarakterini aniqlovchi, tokni rostlash berk konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\Phi_T(P) = \frac{1/K_{TA2}}{2T'^2_\mu P^2 + 2T'_\mu P + 1}.$$

$AV$  rostlagichi to'yinmagan rejimda ishlaganda musbat va manfiy teskari aloqalar ta'sirini kompensatsiyalash lozim, bu quyidagi shartda bajariladi:

$$K_{TA2} = K_{TA1} \cdot K_{KR},$$

$$K_{TA1} = K_{TA2} / K_{KR}.$$

Xarakteristikaning ishchi qismida, elektrodvigatelning yakor toki keskin uzilish tokidan kichik bo'lganda tok bo'yicha teskari aloqalarning ta'siri kompensatsiyalangan deb hisoblash mumkin va faqat kuchlanish bo'yicha teskari aloqa ta'sirini e'tiborga olish mumkin.

Kuchlanishning ochiq konturi uzatish funksiyasi

$$W_H(P) = \frac{V_{KKA}(P)}{U_{KR}(P)} = \frac{K_{KR} \cdot K_{TR} \cdot K_{TO} \cdot K_G \cdot K_{KK}}{(T_{KR}P+1)(T_{TR}P+1)(T_{TO}P+1)T_K P}, \quad (56)$$

quyidagi sharoitda:

$$T_{\mu}^* = T_{TR} + T_{TR} + T_{TO}.$$

U holda (56) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz;

$$W_H(P) = \frac{U_{KKA}(P)}{U_{KR}(P)} = \frac{K_{KR} \cdot K_{TR} \cdot K_{TO} \cdot K_G \cdot K_{KK}}{(T_{\mu}^*P+1)T_R P}. \quad (57)$$

Texnik optimum kriteriysiga ko'ra kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffitsiyentini quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{KA} = \frac{T_K}{2T_{\mu}^* K_{KR} \cdot K_{TR} \cdot K_{TO} \cdot K_G}.$$

Kuchlanishni rostlash berk konturining uzatish funksiyasi:

$$\Phi_H(P) = \frac{1/K_{KA}}{2T_{\mu}^2 P^2 + 2T_{\mu}^* P + 1}.$$

(58) formula konturni texnik optimumga sozlashga loyiqqligini ko'rsatadi.

## ADABIYOTLAR

1. *Дранников В. Г., Звягин И. Е.* Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин. М., «Высшая школа», 1973.
2. *Ключев В. И., Терехов В. М.* Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М., «Энергия», 1980.
3. *Ключев В. И.* Теория электропривода. М., «Энергоатомиздат», 1985.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу под ред. *В. А. Елисеева, А. В. Шиняского*. М., «Энергоатомиздат», 1983.
5. *В. А. Елисеев.* Непрерывное управление движением электроприводов. М., МЭИ, 1982.

## MUNDARIJA

Kirish .....		3
<i>I bo'lim.</i>	<b>Umum qo'llaniladigan yuk ko'taruvchi mexanizmlarning elektromexanikaviy tizimlari .....</b>	<b>4</b>
	1. Umumiy holat .....	4
	2. $M_c = 0$ bo'lganda kranning yuqori chastotali elektromexanikaviy o'tkinchi rejimlari .....	6
	3. $M_c \neq 0$ bo'lganda va elektrodvigatelni dastlabki pog'onada ishga tushirishda kranning yuqori chastotali elektromexanikaviy tizimida o'tkinchi rejimlar .....	10
	4. $M_c \neq 0$ va yuritmani dastlabki pog'onasiz ishga tushirishda kranning yuqori chastotali elektromexanikaviy tizimidagi o'tkinchi rejimlar .....	13
	5. $M_c = 0$ bo'lganda kranning past chastotali elektromexanikaviy tizimining o'tkinchi jarayonlari .....	16
	6. $M_c \neq 0$ kranning past chastotali elektromexanikaviy tizimining o'tkinchi rejimi .....	21
	7. Kran mexanizmlarining elektromexanikaviy tizimlarida o'tkinchi rejimlarni tahlil qilish .....	26
	8. Kranlarni gorizontal yo'nalishda harakatlantiruvchi mexanizmlarni ishga tushirish va to'xtatishda yuklarning tebranishi .....	28
	9. Yukning tebranish ta'siri va bo'g'inlarning elastiklik xususiyatini hisobga olgan holda ko'chma mexanizmlarni ishga tushirish va to'xtatish .....	31
<i>II bo'lim.</i>	<b>Liftlarning elektromexanikaviy tizimlari .....</b>	<b>37</b>
<i>III bo'lim.</i>	<b>Ekskavatorlarning elektromexanikaviy tizimlari .....</b>	<b>43</b>
	10. Mexanizmlarning elastik tizimlarini hisoblash sxemalarini soddalashtirish .....	43
	11. Ekskavatorlarning bo'ysunuvchi rostlanuvchan tizimlarda sozlashning turlarini tanlash .....	45
	12. Katta quvvatli ekskavatorning boshqarish tizimida sozlashni tanlash .....	58
Adabiyotlar .....		62



*To'liq Jo'rayevich Ortiqov*

**SANOAT QURILMALARINING  
ELEKTROMEXANIK TIZIMLARI**

«Turon-Iqbol» nashriyoti, 2005.

Muharrir	<i>H. Alimova</i>
Badiiy muharrir	<i>J. Gurova</i>
Texnik muharrir	<i>T. Smirnova</i>
Musahhih	<i>S. Abdunabiyeva</i>
Kompyuterda tayyorlovchi	<i>A. Yuldasheva</i>

Bosishga y. da ruxsat etildi. Bichimi 84×84<sup>1/32</sup>  
«Tayms» garniturada ofset bosma usulida bosildi. Shartli b. t. 3,36.  
Nashr. t. 3,2. Adadi 500. 184-raqamli buyurtma.

«ARNAPRINT» MCHJ da sahifalanib, chop etildi.  
Toshkent, H. Boyqaro ko'chasi, 41.