

ĶEGUMA HES ŪDENS PĀRGĀZNES AIZVARU MANEVĒŠANAS PROCESU ANALĪZE**ANALYSIS OF MANEUVERING PROCESSES OF KEGUMS HYDROELECTRIC PLANT WATER GATES****Gunars Upitis, Associate professor, Dr.sc.ing.**

Riga Technical University, Institute for Quality Engineering

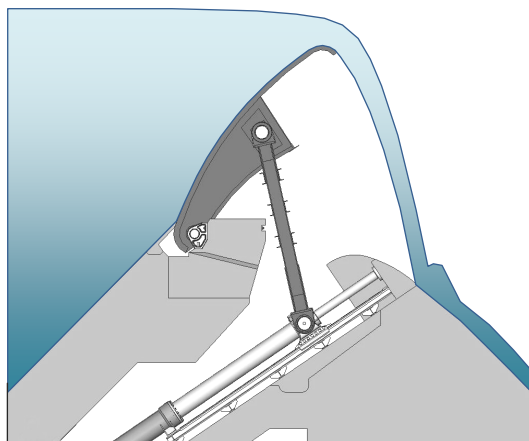
Address: Ezermalas iela 6k, Riga, Latvia, LV 1006

Phone: +371 67089706, Fax: +371 67089748

E – Mail: lsq@latnet.lv

*Atslēgas vārdi: mehānismu statika, kinemātika, datoranalīze.***Ievads**

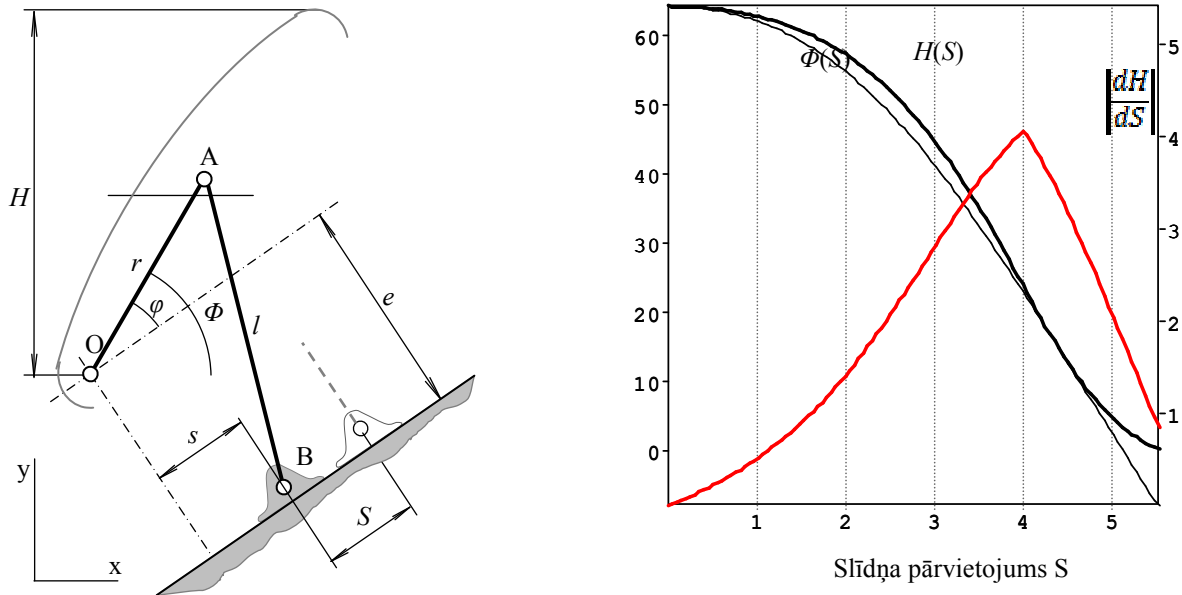
Ķeguma HES, kas projektēta un būvēta 20. gadsimta 30-to gadu beigās, ietver unikālu plūdu ūdens pārgāznes sistēmu, kas sastāv no 8 aizvaru sekcijām 160 m kopgarumā, kuras balsta, nolaiž un paceļ aizvaru manevrēšanas mehānismi (AMM) ar 16 abpusējas darbības hidrocilindru piedziņu (1. att.). Objekta augstā atbildīguma pakāpe un ilgstošā ekspluatācija nosaka nepieciešamību pēc rūpīga un adekvāta sistēmas tehniskā stāvokļa un darba drošuma novērtējuma, aptverot gan būv- un metālkonstrukcijas, gan mehānismus un hidrosistēmas elementus. Ja konstrukciju materiālu un elementu stāvokli var novērtēt apsekošanas datus (mehāniskie raksturlielumi, korozija, defekti u.t.t.) salīdzinot ar normatīvām vērtībām, tad mehānismu darbības un hidrosistēmas funkcionēšanas pareizības novērtējumam nepieciešami šo procesu etaloni, t.i. projekta dokumentācijai atbilstoši procesu teorētiskie modeļi. Sakarā ar saglabājušās tehniskās dokumentācijas fragmentāro raksturu, kā arī ar tās atšķirīgiem uzdevumiem, mehānismu un hidrosistēmas tehniskā stāvokļa novērtēšanai piemēroti etaloni gatavā veidā nav pieejami, tāpēc mērķtiecīga un laika prasībām atbilstoša sistēmas analīze ir aktuāls praktiskās pētniecības darba uzdevums.

**1.att.** Aizvara sekcijas un manevrēšanas mehānisma kopskats

AMM kinemātiskā analīze

Teorētiski AMM ir ekscentrisks kloķa-klanā mehānisms (2. att.), kam slīdņa pārvietojumu s un kloķa pagriezienu leņķi φ saista funkcionāla sakarība

$$s(\varphi) = r \cos \varphi - \sqrt{l^2 - (e + r \sin \varphi)^2} \quad (1)$$



2. att. Mehānisma kinemātiskā shēma un ieejas-izejas pārvietojumu sakarības

Praksē mehānisma dzenošais loceklis ir hidrocilindra pārvietotais slīdnis, bet aizvars – kloķis ir dzītais loceklis, tāpēc mehānisma analīzei, piemēram, lai kontrolētu aizvara ūdens pārgāznes līmeni H , nepieciešama apgriezta sakarība $\Phi(S)$. Funkcija (1) ir periodiska un tās apgrieztā analītiskas izteiksmes formā nav atrodamā; nav izmantojama arī funkciju apgriešanas grafiskā metode, jo analīzes datorizācijai nepieciešamas matemātiskas sakarības. Risinājums iespējams pie uzdotajām šarnīru O un B koordinātēm (x_O, y_O) un (x_B, y_B) pielīdzinot kloķim un klanim kopējā šarnīra A iespējamās riņķveida trajektorijas

$$\begin{cases} (x_A - x_O)^2 + (y_A - y_O)^2 = r^2 \\ (x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 = l^2 \end{cases} \quad (2)$$

Koordinātu sākumpunktu izvēloties šarnīrā O , t.i. pie $x_A = 0, y_A = 0$, punkta A ordinātu y_A atbilstoši sistēmai (2) apraksta vienādojums

$$y_A y_B + \sqrt{r^2 - y_A^2} x_B - k = 0$$

$$k = \frac{1}{2(r^2 - l^2 + x_B^2 + y_B^2)}$$

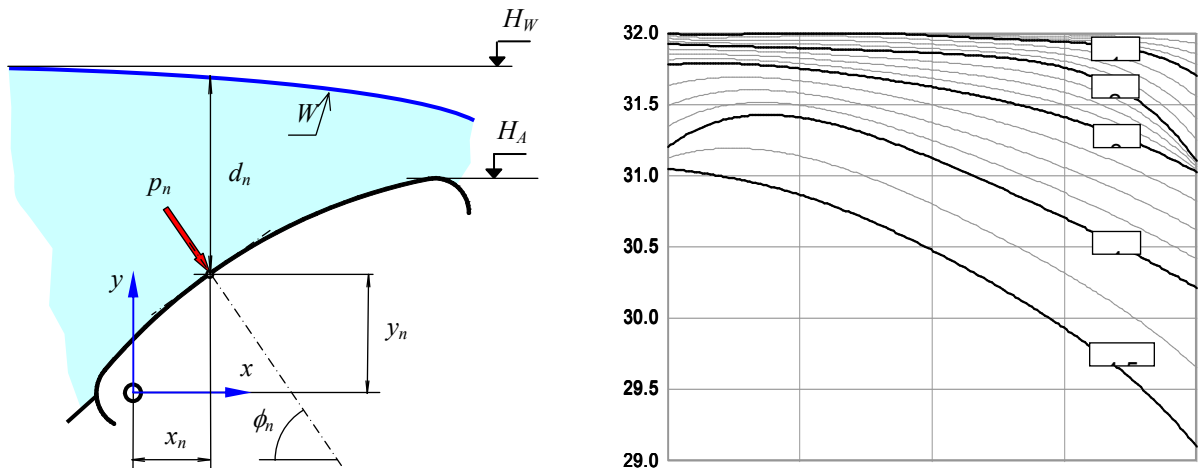
kur

Pie uzdotā slīdņa stāvokļa S , t.i. pie fiksētām koordinātēm (x_B, y_B) , ordināta $y_A(S)$ atrodama ar tradicionālām vienādojuma saknes meklēšanas skaitliskām metodēm [1], bet aizvara pagriezienu leņķis (2. att.) nosakāms kā

$$\Phi(S) = \tan^{-1} \left[\frac{y_A(S)}{\sqrt{r^2 - y_A^2(S)}} \right]$$

Aizvaru slodze

Aizvaru manevrējot nominālā ātrumā, ūdens plūsma pār aizvaru katram tā stāvoklim uzskatāma par stacionāru, t.i. ar nostabilizējušos ūdens virsmas līniju $W(x)$, kuras formu nosaka ūdens līmenis H_W un aizvara atvērums H_A . Ūdens plūsma analizējama ar hidrodinamikas metodēm, ko mūsdienās veic skaitliskā formā, bet projekta izstrādes laikā lietotas hidrostatiskā spiediena līknes pie $H_W = 32,0$ m un fiksētiem aizvara atvērumiem $A = H_W - H_A = 1, 2, 3, 4$ un $4,5$ m (3. att.).



3. att. Aizvara slodzes aprēķina shēma un ūdens hidrostatiskā spiediena līknes

Nepārtraukta aizvara manevrēšanas procesa datoranalīzei nepieciešamas ūdens spiediena vērtības jebkurā aizvara vietā un pie jebkura aizvara atvēruma. Šajā nolūkā:

- 1) no projekta līknēm noteikti punkti $P(H_{Ai}, x_j)$, $i = 1, 2, \dots, 5$ virknē vienmērīgi pa aizvara horizontālās projekcijas garumu L novietotos šķēļumos $x_j = jL/J$, $j = 0, 1, \dots, J$;
- 2) pie interesējošā aizvara augstuma $H_{Ai} < H < H_{A, i+1}$ spiediena vērtības fiksētajos šķēļumos x_j aproksimētas ar lineāru interpolāciju

$$P(H, x_j) = P(H_{Ai}, x_j) + \frac{H - H_{Ai}}{H_{A, i+1} - H_{Ai}} [P(H_{A, i+1}, x_j) - P(H_{Ai}, x_j)]$$

- 3) spiediena vērtība pie tekošās aizvara koordinātes $x_j < x < x_{j+1}$ noteikta interpolējot ar Lagranža polinomu

$$P(H, x) = \sum_{j=0}^J P(H, x_j) \frac{(x - x_0) \dots (x - x_{j-1})(x - x_{j+1}) \dots (x - x_J)}{(x_j - x_0) \dots (x_j - x_{j-1})(x_j - x_{j+1}) \dots (x_j - x_J)}$$

Kopējā hidrauliskā slodze uz aizvaru – horizontālais un vertikālais kopspēks un to radītais griezes moments pret aizvara šarnīra asi nosakāmi summējot elementāro spēku iedarbības:

$$F_x = a \sum_{n=1}^N p(x_n, y_n) \cos(\varphi_n); \quad F_y = a \sum_{n=1}^N p(x_n, y_n) \sin(\varphi_n); \quad (3)$$

$$M_O = a \sum_{n=1}^N y_n p(x_n, y_n) \cos(\varphi_n) + a \sum_{n=1}^N x_n p(x_n, y_n) \sin(\varphi_n)$$

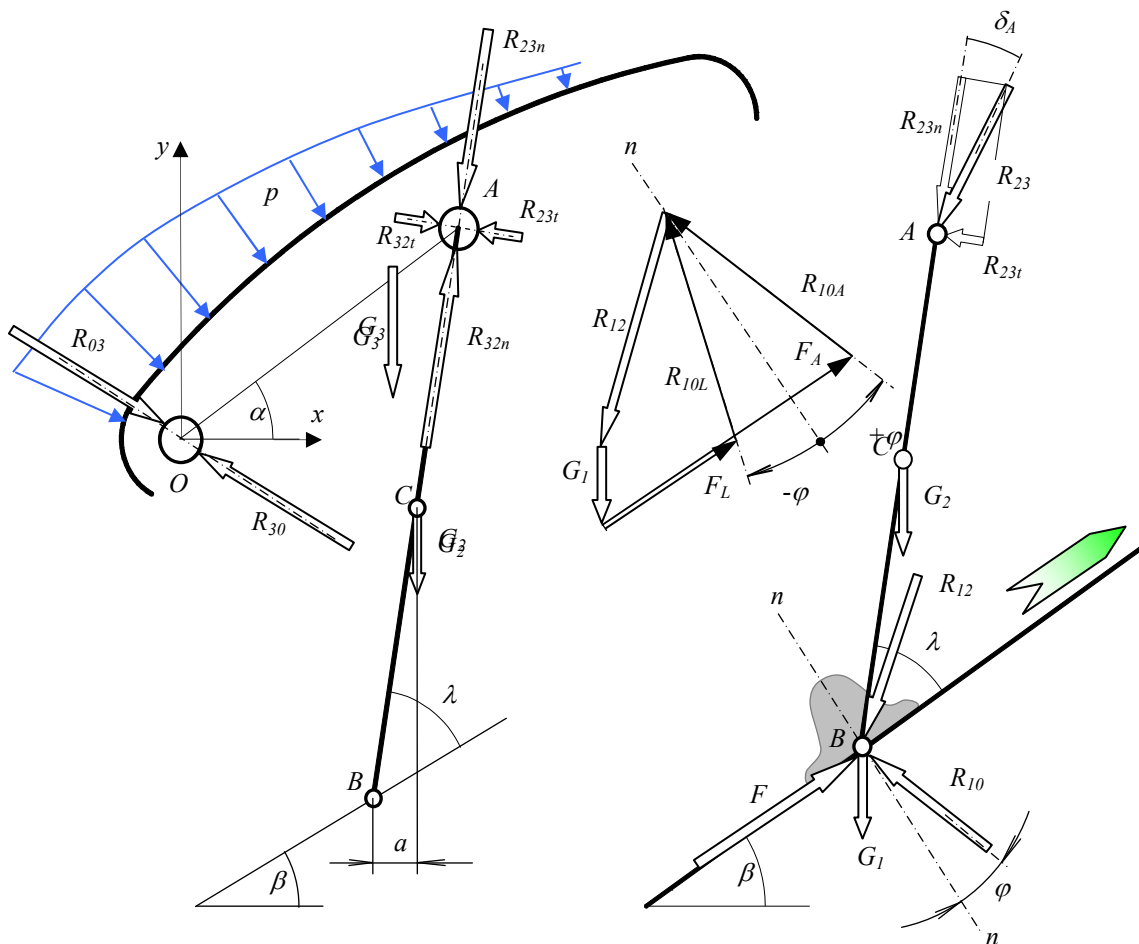
kur a – aizvara virsmas elementārlaukums, x_n, y_n, φ_n – šī elementārlaukuma centra koordināte un virsmas normāles leņķis, $p(x_n, y_n) = P(H, x_n) - y_n$. Piemēram, pie aizvērtā aizvara $F_x = 261$ T, $F_y = 106$ T, $M_O = 475$ Tm.

AMM statiskā spēku analīze

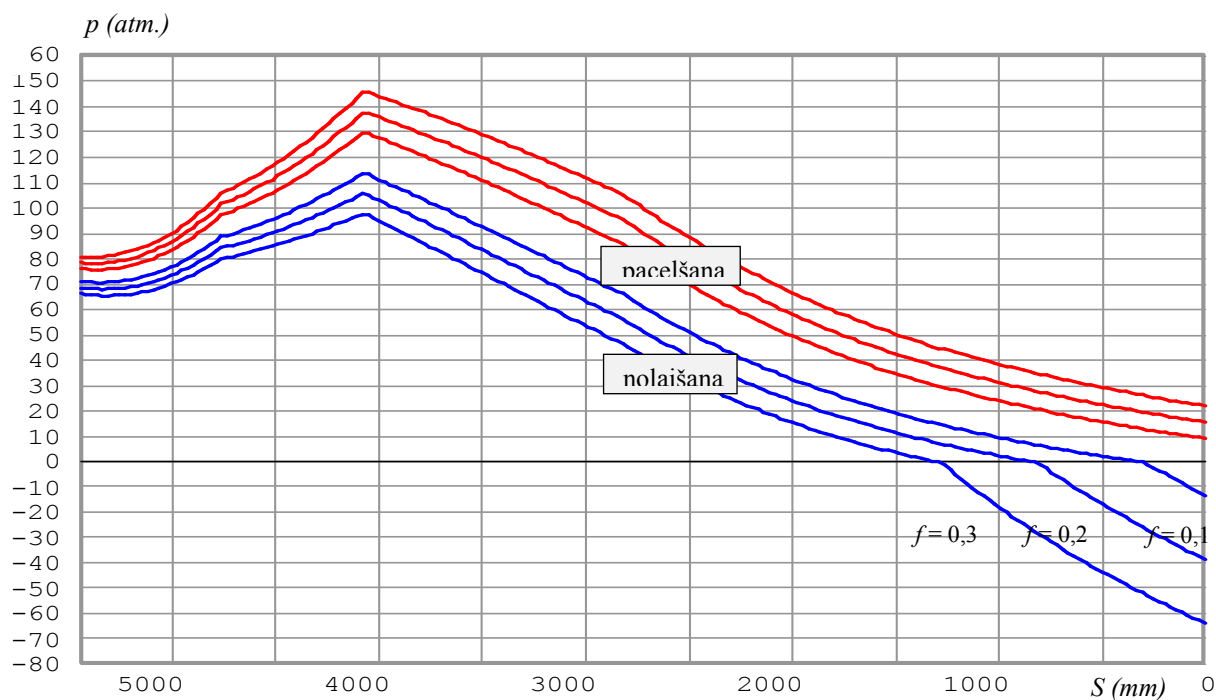
Mehānisma statiskās analīzes mērķis ir noteikt spēkus, kas aizvara manevrēšanas cikla laikā darbojas uz mehānisma locekļiem un to kinemātiskajos pāros, un kuru skaitliskās vērtības izmantojamas šo elementu darba spēju pārbaudei (stiprība, stabilitāte, dilšana u.t.t.). No praktiskā ekspluatācijas viedokļa galvenais analīzes uzdevums ir AMM piedziņas spēka un tam atbilstošā hidrosistēmas darba spiediena novērtēšana. Analīze veicama atbilstoši tradicionālajai mašīnu-mehānismu teorijas metodei sadalot mehānismu diādēs, t.i. divu locekļu grupās ar zināmu locekļu galapunktu iespējamo kustības veidu (4. att.), un spēku sakarības tajās izsakot no līdzsvara vienādojumiem. Piemēram, kļaņa darba slodze atrodama kā

$$[R_{32n} = \frac{1}{L_{32n}(M)_O} + G_3 x_{G3} + G_2 \frac{a}{L_{AB}} L_{32t}],$$

kur G_3, G_2 – aizvara un kļaņa pašsvars, L_{32n}, L_{32t} – attiecīgo reakciju pleci pret šarnīru O , L_{AB} – kļaņa garums. Mehānisma locekļu pašsvara ievērošanas nepieciešamību nosaka konkrētā objekta specifika – aizvara svars ~50T, kļaņa ~5T, slīdņa kopā ar virzuli ~6T. Berzes pretestību šarnīros var neievērot, jo uz pārējo spēku fona tā ir niecīga, taču berzes spēki slīdņa – vadotnes kontakta virsmās ir būtiski precizētai AMM piedziņas spēka noteikšanai dažādiem aizvara stāvokļiem un kustības virzieniem. Berzes spēku analīze ļauj novērtēt arī aizvara nominālajam darba stāvoklim, t.i. pastāvošam pie izslēgtas hidropiedziņas, pieļaujamo kļaņa un slīdņa novietojuma diapazonu, kurā berzes dēļ ir izslēgta aizvara patvarīga nolaišanās ūdens spiediena spēka un mehānismu locekļu pašsvara darbības rezultātā.

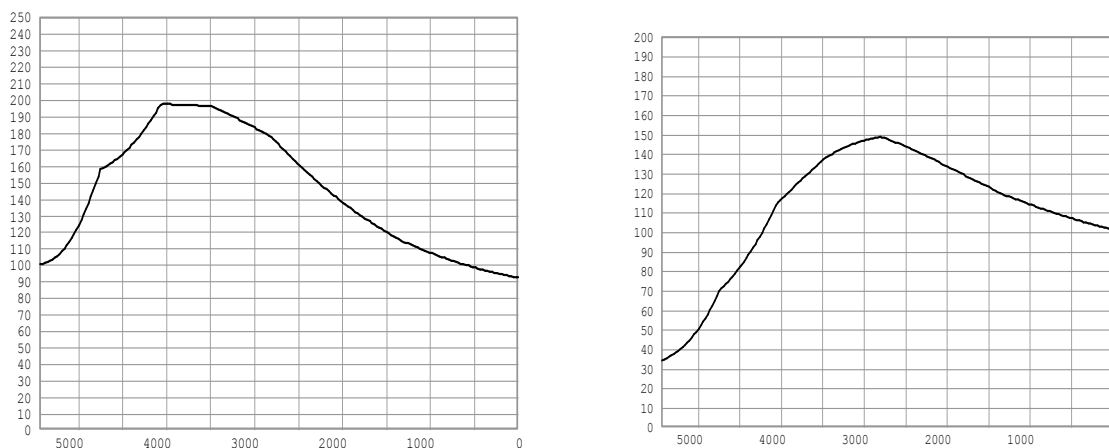


4. att. Spēki diādēs „aizvars – kļaņš” un „kļaņš – slīdnis”



5. att. Teorētiskās AMM hidropiedziņas spiediena līknes

Atbilstoši analīzes rezultātiem (5. att.), lai iekustinātu aizvaru no miera stāvokļa, kad klanis ir perpendikulārs vadotnei, teorētiski nepieciešams 13 ... 63 atm spiediens augšējā cilindrā atkarībā no slīdes berzes koeficienta f vērtības slīdņa un vadotnes slīdvirsmā (tērauds pa bronzu, piespiedu eļļošana). Pie slīdņa pārvietojuma $S_0 = 0,35 \dots 1,3$ m aizvars nonāk stāvoklī, kad tā tālāku kustību nodrošina aizvara hidrauliskā slodze un AMM locekļu pašsvars, un kustības vadīšanai nepieciešams atbilstošs pretspiediens apakšējā cilindrā (lauzumu spiediena izmaiņas līknēs pie S_0 nosaka augšējā un apakšējā cilindru darba laukumu attiecība 1:4). Aizvara pacelšanai teorētiski vajadzīgs līdz 145 atm spiediens, pie kam līdz pat augšējam stāvoklim aizvaru paceļ apakšējais hidrocilindrs. Maksimālā mehānisma elementu noslodze vērojama pie slīdņa pārvietojuma $S = 3 \dots 4$ m (6. att.).



6. att. Reakcijas aizvara - kloķa šarnīrā un slīdņa - vadotnes kontaktā

Secinājumi

AMM kinemātiskās analīzes rezultāti norāda uz izteikti nelineāru dzenošā un dzītā locekļu stāvokļu sakarību, kuras raksturs strauji mainās pie slīdņa pārvietojuma $s \sim 4$ m (līkne dH/dS 2. att.) sakarā ar

ūdens pārgāznes augstumu noteicošā punkta pārvietošanos starp dažādām aizvara virsmas zonām. Šīs pārslēgšanās ietekme redzama arī atbilstošās mehānisma noslodzes izmaiņās (5., 6. att.).

Aizvara un slīdņa kinemātiskā pārvietojumu sakarība $H(S)$ praktiski izmantojama AMM datorizētā kontroles sistēmā faktiskā ūdens pārgāznes augstuma noteikšanai no slīdņa lineārā pārvietoējuma devēja mērījumiem.

Pieejamās projekta dokumentācijas hidrostatiskā spiediena līknes fiksētiem aizvara atvērumiem (3. att.) neveido plūstošu spiediena izmaiņas ainu aizvara nolaišanas / pacelšanas laikā, kas norāda uz precizētas aizvara slodzes noteikšanas nepieciešamību ar skaitliskajām CFD metodēm [2].

Aprēķinātās manevrēšanas cikla maksimālās slodzes uz mehānisma elementiem nepārsniedz projekta dokumentācijā [3] lietotās vērtības arī smagākajā darba režīmā pie paaugstināta ūdens līmeņa $H_W = 33$ m, piemēram: 280 T / 294 T aizvara - kļauņa šarnīrā, 197 T / 200 T aizvara - pamatnes šarnīros, 200 T / 233 T - starp slīdni un vadotni. Šādi rezultāti apliecina AMM parametru atbilstību reālajiem darba apstākļiem un projekta aprēķinu drošības rezervi.

AMM hidropiedziņas teorētiskās spiediena izmaiņas (max 145 atm) labi saskan ar projektā paredzēto drošības vārsta nostrādāšanas spiedienu (160 atm), taču ir būtiski - pat trīskārt - mazākas par praktiski novērotām spiediena vērtībām mehānisma iekustināšanas laikā. Šādas atšķirības, kas nav pamatojamas tikai ar miera un kustības berzes dažādo raksturu, liecina par adhēzijas procesiem, kas norisinās ilgstoši nekustīgajā un statiski slogotajā slīdņa – vadotnes kinemātiskajā pāri. Aizvara manevrēšanas procesa teorētiskais etalons šajā gadījumā uzrāda reālā AMM tehniskā stāvokļa nepilnības un ir pamatojums konstruktīvu un tehnoloģisku uzlabojumu veikšanai.

Literatūra

1. Kronbergs, E., Rivža, P., Bože, Dz., *Augstākā matemātika*, Rīga, „Zvaigzne”, 1988.
2. Chung, T.J., *Computational Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, 2002.
3. Projekta aprēķins Nr. 118923b „*Klappenwehr Festigkeitsberechnung*”, Schweiz, 1938, Ķeguma HES arhīvs, inv. nr. 53/156.

Upītis, G. Ķeguma HES ūdens pārgāznes aizvaru manevrēšanas procesu analīze.

Aplūkoti ar unikāla lielgabariņu mehānisma faktiskā tehniskā stāvokļa novērtēšanu saistītie uzdevumi un to risināšanas metodes, pamatojoties uz mehānisma funkcionēšanas teorētiskajiem modeļiem. Ilustrēti šādu modeļu praktiskais pielietojums reālā mehānisma kustības likumu, elementu noslodzes un piedziņas spēku novērtēšanai.

Upītis, G. Analysis of Maneuvering Processes of Kegums Hydroelectric Plant Water Gates.

Tasks and methods of solution pertaining to estimation of technical condition of unique and large-size mechanism on the basis of theoretical models of its functioning are discussed. Practical applications of such models for proving of the motion parameters, loads on elements and driving forces of the real mechanism are illustrated.

Упитис, Г. Анализ процессов маневрирования клапанного затвора Кегумской ГЭС.

Рассмотрены задачи и методы их решения, связанные с определением фактического технического состояния уникального крупногабаритного механизма на основе теоретических моделей его функционирования. Даны иллюстрации применения таких моделей для оценивания законов движения, нагрузок элементов и движущих сил реального механизма.