

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Enerģētikas institūts

**Inga Zicmane**

Doktorante pēc programmas "Enerģētika un elektrotehnika"  
(dokt. apl. Nr. 911111240)

## HES ŪDENS REŽĪMU VADĪŠANA UN TO PROGNOZĒŠANA

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. hab. sc. ing., profesors  
**Jēkabs Barkāns**

Rīga - 2004

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKA UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts  
2004. g ..... plkst ..... Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un  
elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors, Dr. sc. ing. J. Gerhards,  
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr. habil. sc. ing. Olev Liik,  
Tallinas Tehniskā universitāte, Igaunija

Dr. sc. ing. I. Oļeinikova,  
Latvijas Zinātņu Akadēmija, Latvija

**APSTIPRINĀJUMS**

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kurs iesniegts  
izskatīšanai Rīgas Tehniskā universitātē inženierzinātņu grāda iegūšanai. Promocijas  
darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Inga Zicmane

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valoda, satur anotāciju, ievadu, 9 nodaļas,  
slēdzienu, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 62 zīmējumus un 6 tabulas, kopā 192  
lappuses. Literatūras sarakstā ir 70 nosaukumi.

## DARBA APSKATS

**UZDEVUMA AKTUALITĀTE.** Hidroenerģija ir visvairāk izmantojamais atjaunojošās enerģijas veids. Tās būtisks trūkums ir saistīts ar upju ūdens caurplūdāmību nenoteiktību, kurš rada grūtības energosistēmu budžetu, investīciju un tarifu politikas plānošanā. Šo iemeslu dēļ, hidroelektroenerģijas izstrādes prognozēšana ir aktuāla problēma.

**DARBA MĒRĶI UN UZDEVUMI.** Darba mērķis bija, izmantojot energosistēmu un HES vadīšanas pieredzi, orientētu uz atklāta tirgus apstākļiem, pārbaudīt prognozēšanas iespējas ar energoinformātikā pielietojamām metodēm. Uzskatot upju caurplūdāmību novērojumu datus par signāliem un pielietojot attiecīgas apstrādes metodes, bija jāpārbauda, vai šiem procesiem nepiemīt iekšējas īpašības, kas ļautu tos izmantot kā determinētas sakarības. Ja šādas īpašības eksistē, būtu jāmeklē faktori, kas tos iespaido.

**ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE.** Apstrādājot izejas datus ar elektroenerģētikā pieņemtām metodēm, tika konstatēts, ka pasaules upju caurplūdāmības procesiem ir ciklisks raksturs ar noteiktu perioditāti un reģionālām fāžu nobīdēm.

Caurplūdāmības process iekļauj vairākus dažādu frekvenču komponentus.

Noskaidrojās, ka globālais faktors, kas iespaido upju gadu caurplūdāmību, ir Saules intensitātes procesa izmaiņas, kuru spektrs praktiski atbilst ūdens caurplūdāmību procesa galveniem komponentiem. Saules intensitātes spektri ir zināmi un ir izstrādātas to prognozēšanas metodes (NASA un mākslīgo neironu tīklu metodes), rezultātā, kļūst prognozējamas arī upju caurplūdāmības.

Augstāk minētie fakti līdz šim nebija zināmi un tiem ir liela zinātniska un praktiska nozīme. Līdz ar to paveras arī jaunas iespējas citās zinātnes nozarēs, konstatēto faktu fizikālās būtības noskaidrošanai.

**PĒTĪJUMU METODES UN LĪDZEKĻI.** Pārejot uz novērošanas datu apstrādi ar elektroenerģētikā pielietojamām metodēm, tika izstrādāti šim uzdevumam atbilstoši algoritmi ar nolūku izdalīt "derīgu" signālu un minimizēt signāla "troksni". Izejas datu analīzei, tie tika pārveidoti par palīgfunkciju.

Pēc analīzes, rezultāti bija jāatgriež oriģinālās vienībās. To panāca ar apgrieztiem matemātiskiem pārveidojumiem.

Bez tam tika izmantota varbūtības teorijas funkcija līdzības noteikšanai, kas deva iespēju noskaidrot parādību cēloņus.

**REZULTĀTU PĀRBAUDES.** Lai gūtu priekšstatu par metodes efektivitāti, tika izmantoti 45 dažādu kontinentu upju ilggadīgie novērojumu dati. Prognozēšanas

metožu precizitātes tika pārbaudītas, tos izmantojot retrospektīvi. Tāda veidā tika pamatota determinēto likumsakarību izmantošanas efektivitāte.

**DARBA REZULTĀTU PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS.** Pētījumā izdibinātās likumsakarības, attiecība uz Daugavu, ir paziņotas LATVENERGO praktiskās izmantošanas vajadzībām.

Plašāka ieviešana tiks panākta ar darba rezultātu publikācijām. Krievijā materiāls ir publicēts žurnālā "Električeskije stanciji" 2003., Nr 9.. Pasaules mērogā tas būs iespējams pēc monogrāfijas izdošanas angļu valodā, kura iepļānota 2005

**PUBLIKĀCIJU SARAKSTS.** Darba rezultāti tika izklāstīti 13 publikācijās.

**DISERTĀCIJAS STRUKTŪRA.** Disertācija sastāv no 9 nodaļām, ievada un slēdziena. Tā satur atsauces uz 70 literatūras avotiem, 62 attēlus, 6 tabulas, 2 pielikumus un izklāstīta 192 lapaspusēs.

### **IEVADS (LITERATŪRAS APSKATS, PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI)**

Pirmais autors, kas vērsa uzmanību nokrišņu cikliskam raksturam, bija vācu zinātnieks E. Brikners (1862-1927), kas 1890 gadā publicēja datus par Alpu ledāju attīstības 30-gadīgiem 'cikliem. Šā darba rezultāts nosaka, ka Briknera cikls ir simtgadu cikla trešā harmonika.

Kaut gan dati par Briknera ciklu ir atrodamī visās enciklopēdijās, līdz pat pēdējam laikam tie nebija pārbaudīti uz upju caurplūdāmību datiem, kaut gan daudzi zinātniskie darbi veltīti šīm problēmām. Par to liecina atsauces uz 470 zinātniskām publikācijām.

Latvijas universitātes pasniedzēja Dr. sc. L. Glazačeva vērsa uzmanību uz Baltijas jūras austrumu nogāzes upju un ezeru ūdens pieieces cikliem, apskatot tos bez procesu komponentu izdibināšanas.

Tika publicēti dati par laika apstākļu temperatūru ciklisko raksturu, okeānu straumēm, stratosfēras vējiem utt.. Bet līdz pat pēdējam laikam šāds viedoklis tika uzskatīts pār diskutablu. Par to liecina 2003. gadā Kembridžas universitātē publicētā W. J. Burrougha grāmata "Weather cycles - real or imaginary". Arī šajā grāmatā netika apskatītas upju caurplūdāmības problēmas.

Rezultātā problēmas risinājumam par pamatu bija atsevišķas idejas, kuras tomēr izrādījās ļoti nozīmīgas.

Problēmas risinājuma gaitā tika izmantoti dati par pasaules upju gadu caurplūdāmībām, kas tika publicēti UNESKO krājumos.

Risinot jautājumu par Šo globālo īpašību iespaidojošiem faktoriem, tika izmantoti dati sākot ar 18 un 19 g.s. par Saules intensitāšu izmaiņām Volfa skaitļu un ģeomagnētiska faktora vienībās.

Darba uzdevums bija izpētīt pasaules upju caurplūdamības ar mērķi izdibināt to iekšējās īpašības un, konstatējot tās, atrast Šo īpašību iespaidojošo faktoru.

Orientējoties uz enerģētikā izmantojamām pētīšanas metodēm, šis uzdevums tika atrisināts.

## 2. HIDROSTACIJU REŽĪMU OPTIMIZĀCIJA

Optimizāciju metodes ir dažādas atkarībā no minimizācijas objekta. Ja organizatorisku aspektu uzskata par nemainīgu, tad var nodarboties ar mainīgo izdevumu minimizāciju.

Minimizējot mainīgos izdevumus, optimums tiek sasniegts, izlīdzinot elektrostaciju iekārtu relatīvo pieaugumu vērtības. HES Šajā procesa tiek iekļautas, izmantojot Lagranža nenoteiktus koeficientus, kurus nosaka iteratīvo aprēķinu gaitā.

HES vietas grafikā ir atkarīga no upju caurplūdamības. Savukārt, no to vietām grafikā ir atkarīga izmantojamā jauda. Jo augstāk ir stāvoklis grafikā, jo lielāka ir iespējamā HES izmantojamā jauda.

Optimizācijas gaitā jāzina esošais ūdens daudzums nedēļu un mēnešu griezumā. Tāpēc hidroenerģētiska prognozēšana ir viens no galveniem HES izmantošanas noteikumiem.

Strādājot kaskādē, vairākām HES kopējā ražotā enerģija ir atkarīga no ūdenskrātuvju apjoma un iespējām prognozēt ūdenskrātuvju uzpildīšanos.

Ūdenskrātuvju optimālus izmantošanas plānus nosaka, izmantojot matemātiskās operāciju izpētes metodes ar ierobežojumiem vienlīdzību vai nevienlīdzību veidā un izejas datiem determinētā, gadījuma rakstura vai nenoteiktā veidā. Matemātiskos algoritmos, nosakot ūdenskrātuvju režīmus, orientējas uz izliekto programmēšanu. Izmanto arī dinamiskās programmēšanas metodes.

## 3. HES DARBA PROGNOZĒŠANAS EKONOMISKĀ NEPIECIEŠAMĪBA TIRGUS APSTĀKĻOS

HES elektroenerģijas pašizmaksa  $C_1$ ; ietver uzturēšanas izmaksas  $A$ , kurās ietilpst arī investīcijas, attiecinātas uz atmaksāšanas perioda gadu:

$$C_1 = \frac{A}{aQ}, \quad (3.1)$$

kur  $\bar{Q}$  - vidēja gadu caurplūdamība atmaksāšanās perioda,  $m^3/s$ ;

$a$  - koeficients ( $m^3/s$ ) / kWh.

Pašizmaksas jutība pret caurplūdamību:  $dC_1/dQ = A/aQ^2$

Tirgus apstākļos svarīga ir enerģijas cenas noteikšana reālās konkurences apstākļos.

Ievērojot noteiktas analītiskās sakarības, darbā parādīts, ka elektroenerģijas tirgus cenas jutība pret ūdens caurplūdamību ir:

$$dC_2/dQ = C_{max} / (b + dQ + gQ^2)^2 (d + 2gQ). \quad (3.2.)$$

Tirgus apstākļos elektrostacijas piedalās darījumos ar savas elektroenerģijas cenām.

Hidroelektroenerģijas cena ir atkarīga no HES stāvokļa slodzes grafika, kurā tas aizstāj citas elektrostacijas, kas darbotos to neesamības gadījumā.

Lielās caurplūdamības laikā HES vieta ir grafika apakšējā daļā, aizstājot TEC un atomelektrostacijas. Līdz ar to hidroelektroenerģijas cenu nosaka šo elektrostaciju elektroenerģijas cenas.

Caurplūdamībai samazinoties, HES pārvietojas uz grafika augšdaļu, aizvietojo KES, kombinētā cikla un, beidzot, gāzturbīnu elektrostacijas, cenai attiecīgi augot. Rezultātā, samazinoties caurplūdamībai, HES ienākumu samazināšanās zināmā mērā tiek kompensēta ar hidroelektroenerģijas cenas pieaugumu.

Izmantojot HES enerģijas tirgū, rodas jauna situācija, kurā ir nepieciešams nodrošināt maksimālus ienākumus konkurences apstākļos.

#### **4. UPJU CAURPLŪDAMĪBU PROGNOZĒŠANAS NOZĪME ENERĢĒTIKĀ**

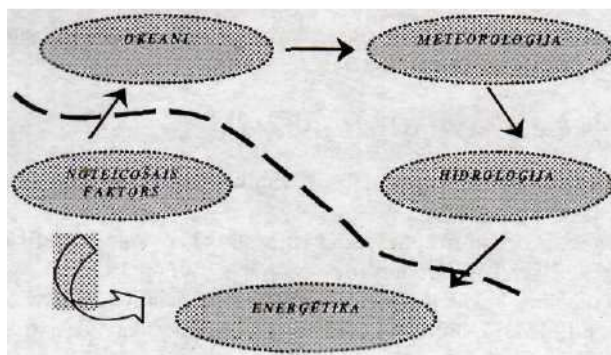
Hidroelektrostaciju gadu izstrādes prognozēšanai jāzina upju caurplūdamību likumsakarības, kas ir pasaules ūdens aprites noslēdzošais posms.

Situāciju sarežģī tas, ka atsevišķi tās posmi atrodas dažādu zinātņu sfērās, ko grūti savstarpēji koordinēt. Tāpēc darba uzdevums bija:

- 1) pārbaudīt, vai caurplūdamības procesiem nepiemīt uzskatāmas iekšējās īpašības, ko varētu izmantot prognozēšanas vajadzībām;
- 2) ja šādas īpašības eksistē, tad pārbaudīt vai tām nav globāls raksturs;
- 3) ja ir konstatēts, ka šādam īpašībām ir globāls raksturs, tad jāatrod faktori, kas šīs īpašības nosaka un turpmāk tie jāizmanto prognozēšanas vajadzībām.

Šāda pētījuma rezultātā, prognozēšanas procesa pielietošanā izslēdz starpposmus, atstājot tikai noteicošā faktora un enerģētikas saikni (4.1. att.). Tad primārā prognozēšana pārvēršas par viegli pielietojamu formālu procedūru ar ieejas datu masīvu un matemātisku programmatūru.

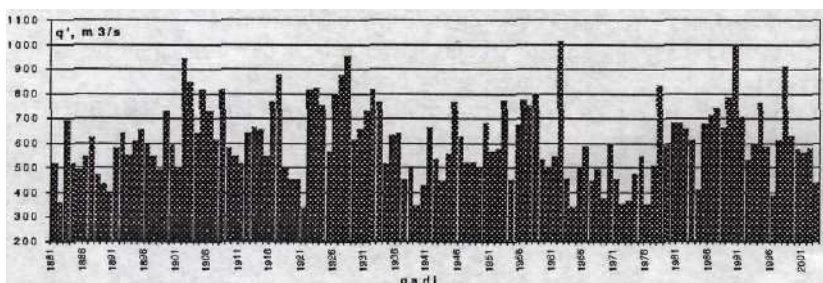
Caurplūdamības procesa analīzei novērojumu izejas dati izmantoti kā ciparu signāli, kurus apstrādā līdzīgi tam, kā tas notiek, apstrādājot elektrisko mērījumu signālus. Derīgais signāls šajā gadījumā būtu lielumu komplekss, kam varētu rast determinētu aprakstu.



Att. 4.1. Starpposmi

Darbs tika sākts ar Daugavas caurplūdamības iekšējo īpašību izpēti. Šim nolūkam tika izmantotas gadu vidējie caurplūdamības dati  $q(t)$ , sākot ar 1881. gadu, kas parādīti 4.2. attēlā.

Viens no analītisko metožu izvēles kritērijiem ir rezultātu uzskatāmība. Šādiem mērķiem izmanto dažādas palīgfunkcijas. Izejas procesi tad tiek pārveidoti palīgfunkcijās, ko izmanto analīzei. Analīzes rezultātus atgriež oriģinālās vienībās turpmākām darbībām



Att. 4.2. Daugavas gada caurplūdamības dati par 1881 - 2003 gadiem

Procesam, kas ir attēlots att. 4.2., ir noteikts spektrs. Tajā var būt dažādu frekvenču komponenti. Zemfrekvenču komponenti jāatbrīvo no atsevišķo impulsveida novērojumu iespaidiem, nolīdzinot tos. To panāk, integrējot izejas procesu.

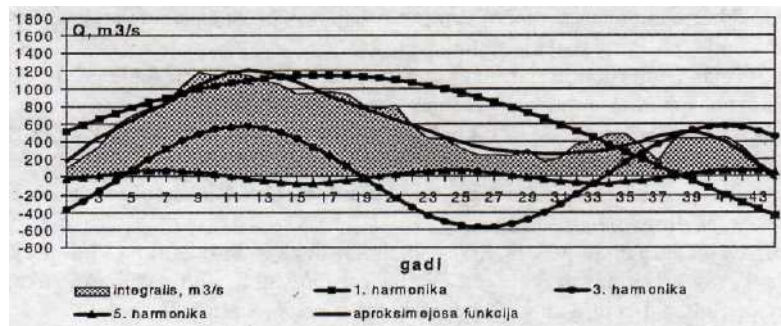
Procesa integrālam ir periodisks raksturs. Pusperioda ilgums ir 44 gadi. Novērošanas periodā ir nepilni 3 pusperiodi.

Pusperiodiem ir apmēram vienādas amplitūdas, kas līdzinās divu gadu caurplūdamības normai. Tiem ir praktiski vienādas formas, simetriskas pret laika asi. Tātad procesa līknei ir nepārskaitļu kanoniskās (pīlinskaitļu) harmonikas, ko konstatē, izmantojot Furjē analīzi saskaņā ar izteiksmi:

$$F(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + A_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k), \quad (4-1.)$$

kur  $A_0$ ,  $A_{km}$  - brīvais loceklis un harmoniku amplitūdas;

$\varphi$  - leņķis, kas raksturo augstākās harmonikas nobīdi.



Att. 4.3. Triju pusperiodu vidējās formas spektrālā analīze

Brīvo loekli nosaka integrēšanas sakuma laiks. Ja šis laiks sakrīt ar integrālās funkcijas ekstrēmumu, tad brīvais loceklis būs maksimāls un integrālā līkne būs vienpusīga pret ordinātes nulles vērtību. Citos gadījumos ordinātes vērtība var būt no nulles līdz ekstrēmumam. Laika ass jānobīda par ordinātes vērtību, kas līdzinās brīvajam loceklim.

Lielākai rezultātam noteiktībai tiek izmantota procesa pusperiodu vidējā forma, orientējoties uz to absolūtām vērtībām. Rezultāts attēlots 4.3. attēlā. Tajā vienlaicīgi uzrādītas harmonikas, kuru summu var izteikt ar nolīdzinājumu:

$$F(t) = -163,120 + 1225,335 \sin(\omega t + 200,610) + 565,271 \sin(3\omega t + 45,934) + 35,938 \sin(5\omega t + 30,298). \quad (4.2.)$$



Turpmāk no dabiska procesa jāizslēdz determinēta procesa komponenti. Šim nolūkam aproksimācija jāatgriež, naturālās vērtības, ko panāk, to diferencējot:

$$Q/dt=q(t). \quad (4.3.)$$

Izslēdzot to no naturālas funkcijas:

$$q' = q_{max}(t)-q_{ap}(t), \quad (4.4.)$$

iegūst aproksimācijas pirmo "atlikumu".

Pirmajā atlikumā var izpausties papildus nepilnskaitļu (nekanoniskās) harmonikas.

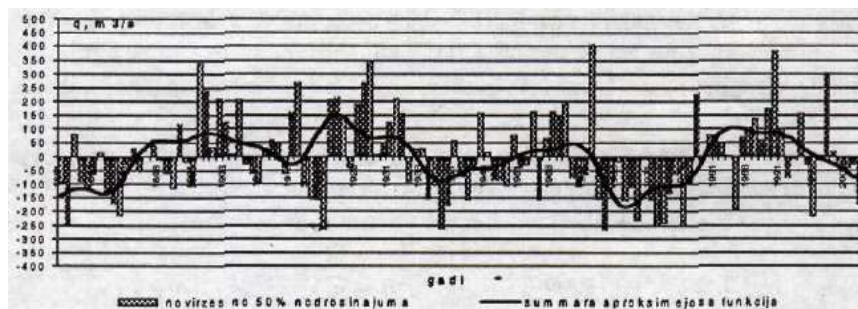
Izdalītā harmonika ir stacionāra un aptver visu novērošanas laika periodu, līdz ar ko pilnībā iekļaujas Furjē pārveidojumā.

Pēc pirmās nepilnskaitļu harmonikas ietveršanas determinētā funkcijā un tās atskaitīšanas no naturālā procesa, veidojas otrais "atlikums", kuru vairs nevar uzskatīt par stacionāro, jo tajā ir cikliski komponenti, kas mainās laikā. Tāda gadījumā jāizmanto Furjē logu pārveidojumu metodi.

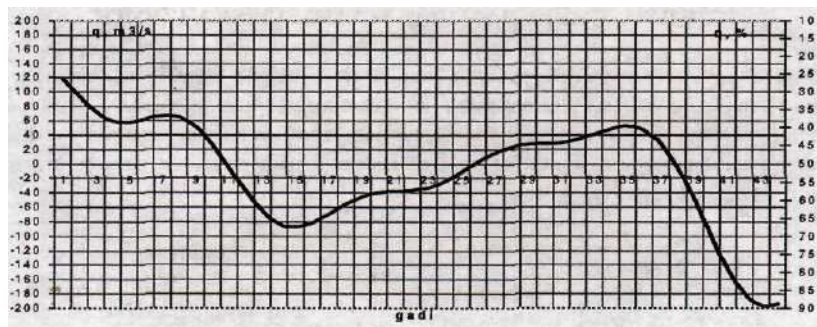
Ievērojot to, ka šo frekvenču amplitūdu vērtības ir ierobežotas, var ierobežoties ar tās pirmām harmonikām.

Daugavas caurplūdāmības novirzes integrāla analīze noskaidrojās, ka otrajā atlikumā ir divas atšķirīgas frekvences. Viena no tām atbilst pirmās harmonikas pirmām pusperiodam, bet otrā un trešā pusperiodos ir kopēja harmonika.

Pēc šo harmoniku iekļaušanas determinētā kopumā paliek trešais "atlikums", kas satur divus komponentus: reti sastopamas lielu amplitūdu novirzes, ko saucim par "izmetumiem" un nestacionārs process ar ierobežotām amplitūdām.



Att. 4.4. Novirzes no daudzgadu vidējās vērtības un summāra aproksimējoša līkne



Att. 4.5. Integrāla cikla summāras aproksimējošās funkcijas atvasinājums kā caurplūdāmības noviržu norma cikla ietvaros, un tas lielumi, izteikti nodrošinājuma lielumos

Par caurplūdāmības funkcijas nenoteiktības pakāpes samazināšanu var spriest, salīdzinot integrālo funkciju standartnovirzes o naturālam procesam un pirmām atlikumam,  $m^3/s$ :

$$\sigma_{sāk} = 699,371,$$

$$\sigma_{at1} = 241,533,$$

kur  $\sigma_{sāk}$  - funkciju standartnovirzes naturālam procesam;

$\sigma_{at1}$  - funkciju standartnovirzes pirmām atlikumam.

Tas liecina, ka prognozēšanas precizitāte jau šajā posmā var būt krietni augstāka.

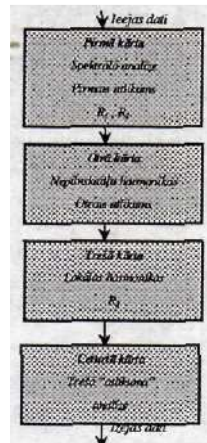
Papildus frekvences ņem vērā, atkārtoti izmantojot augstāk aprakstītas matemātiskas metodes. Izdalot pirmo no tām, iegūst otro "atlikumu" un izdalot otro - trešo "atlikumu". Trešā integrāļa "atlikuma" standartnovirze  $\sigma$  Daugavai ir 163,096.

"Atlikuma" pusperiodu lielumu varbūtības iegūst no sadalījuma blīvuma.

Prognozēšanas vajadzībām tiek attēlots rezultējošās zemfrekvences integrālās aproksimācijas funkcijas atvasinājums (4.4. att.). Katrs no šīs līknes caurplūdāmības lielumiem atbilst noteiktam daudzgadu nodrošinājumam. Šim nolūkam izmanto papildus nodrošinājuma skalu (4.5. att.). Katram gadam ir savs daudzgadu nodrošinājums, kurš var mainīties plašā diapazonā. Viegli pārliecināties, ka ir gadi, kuros par pamatu jāuzskata daudzgadu 80% nodrošinājums. Turpretī, citā laikā, tas atbilst daudzgadu 20% nodrošinājumam.

## 5. UPJU CAURPLUDAMĪBAS MATEMĀTISKĀ IZPĒTE

Daugavas gadu caurplūdamības analīze dod pamatu izvirzīt hipotēzi, ka arī citām pasaules upju caurplūdamībam, ievērojot reģionālas atšķirības, varētu būt līdzīgas īpašības. Hipotēzes pārbaudei bija jāizstrādā analītiska metode, ar kuras palīdzību būtu iespējams apstrādāt lielu izejas datu masīvu, izdalīt derīgos signālus un minimizēt "trokšņus".



Att. 5.1. att. Četrlīmeņu matemātiskas procedūras struktūra

Analītisko operāciju skaits šajā gadījumā ir liels un tie ir jāsystematizē kopās, kas ir atkarīgas no uzstādītiem mērķiem atkarībā no parādības īpašībām.

Nemot vērā to, ka izejas dati tika pētīti kā signāli, bija jāorientējas uz matemātiskām procedūrām, kuras tika ietilpinātas arī ciparu filtra funkcijā. Sakarā ar to, ka pētāma problēma ir īpatnēja, bija jāizstrādā datu apstrādes sistēma, kurai ir četri hierarhiskie līmeņi. Tās blokshēma parādīta att. 5. 1.,

Pirmā kārtā izdala caurplūdamības noviržu Integrālās funkcijas zenifrekvences pilnskaitļu (kanoniskas) harmonikas, nosaka to determinēto summu, kas nodrošina maksimālo korelācijas koeficientu starp aproksimāciju un

kas nodrošina maksimālo korelācijas koeficientu starp aproksimāciju un

naturālo rindu. Tad atrod tās atvasinājumu, ko atskaita no naturāla izejas datu procesa, iegūstot pirmo procesa "atlikumu". Tam atkal nosaka integrālo funkciju.

Otrā kārtā izdala nepilnskaitļa harmoniku un skaitļošanas rezultātā iegūst procesa otro "atlikumu".

Trešā kārtā izdala lokālās harmonikas, iegūstot trešo procesa "atlikumu".

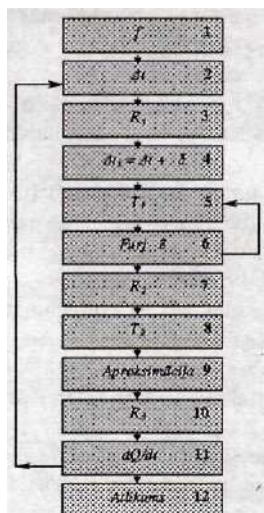
Ceturtnā kārtā tiek izmantota trešā "atlikuma" analīzei. Tajā izdala daļēji prognozējamās atlikumu komponenta pamatprocesu un caurplūdamības noviržu reti sastopamās lielās izmaiņas. Ievērojot tās, izdala galīgo procesa "atlikumu", kuram ir varbūtējs raksturs, bet neliels īpatsvars.

Pētījuma procesu var realizēt ar attēlu izšķiršanas interaktivitātes elementiem un automātiskām aprēķinu metodēm.

Pirmā hierarhiskā līmeņa algoritms parādīts 5.2. attēlā. Tā iekšēja struktūra ir sekojoša:

*Blokā 1.* iegūst integrālo funkciju  $Q$ . *Blokā 2.* secīgi tiek pieņemti pa pāriem patvaļīgi izvēlēti laika intervāli  $t$  un *blokā 3.* tiem atbilstošiem integrālās funkcijas fragmentiem tiek noteikti korelācijas koeficienti.

*Blokā 4.* intervāls  $\Delta t$  tiek palielināts par  $\delta t$  un tam atkal tiek noteikts korelācijas koeficients.



Att. 5.2. Pirmā hierarhiskā līmeņa datu apstrādes struktūra

Ja kādam laika nogriežnim  $T$ , piemēram 44 gadiem, atbilst krasi izteikts korelācijas koeficienta maksimums, tad tas liecina ka funkcijas fragmenti ir līdzīgi un procesā ir periodiskās funkcijas komponents.

*Bloka 5* tiek salīdzināti korelācijas koeficienti visiem salīdzināmiem laika intervāliem un tiek izdalīts periods  $T_1$ , kas atbilst maksimālam korelācijas koeficientam.

Pieņemot periodu  $T_2$  kā pirmo tuvinājumu, realizē integrālās funkcijas spektrālo analīzi, izmantojot Furjē rindas. Ja funkcija ir praktiski simetriska, analīzē var ierobežoties ar nepārskaitļu harmonikām. To realizē *blokā 6.* Parasti

nozīmīgas ir 1., 3. un 5. harmonikas. 1. un 3. harmoniku amplitūdas ir samērojamas. Pirmā harmonika atbilst simtgadu ciklam, jo tās periods ir apmēram 90 gadi. 3. harmonika atbilst 30 gadu ciklam, kas literatūrā ir pazīstams kā Briknera cikls. Piektā harmonika atbilst 18 gadiem. Augstāko harmoniku nozīmīgums ir neievērojams.

Nolīdzinājums veido sakarību, kas turpmāk tiek izmantota par procesa determinēto komponentu. *Blokā 7.* tiek salīdzināta pirmā aproksimācija ar integrālo funkciju, ko raksturo korelācijas koeficients  $R_2$ . Tas tiek izmantots, precizējot 1. harmonikas periodu, un apvieno sevī arī 3-7 bloku funkcijas. *Blokā 8* dažādiem perioda  $T$  lielumiem, kas aptver pirmo tuvinājumu, realizē harmonisko analīzi, precizējot periodu  $T_2$ .

*Blokā 9.* iegūst aproksimāciju, atbilstošu  $T_2$ . *Blokā 10.* salīdzina aproksimāciju ar integrālo funkciju, iegūstot  $R_3$ .

*Bloka 11.* integrālo funkciju atgriež oriģinālos lielumos, to diferencējot. Oriģinālās funkcijas  $q(t)$  atbilstamību naturālai datu rindai raksturo korelācijas koeficients  $R_q$ .

Atņemot  $q(i)$  no naturālā procesa, iegūst pirmo datu atlikumu (*bloks 12.*)

## 6. PASAULES UPJU CAURPLŪDAMĪBAS IZPĒTE

Daugava un citi Baltijas jūras austrumu nogāzes objekti ar savām kvaziperiodiskām ūdeņu caurplūdamības īpašībām pasaules mērogā nevarētu pretendēt uz īpašu lomu. Tāpēc aktuāli ir izpētīt šo īpašību plašāku telpisku sadalījumu, kam varētu būt liela teorētiska un praktiska nozīme.

Bāzējoties uz UNESCO publicētiem datiem par pasaules nozīmīgāko upju caurplūdamībām un izmantojot ciparu filtrus, tika veikta dažādu upju caurplūdamību analīzes.

Analīze apstiprināja, ka praktiski - visu upju caurplūdamībām ir kvaziperiodisks raksturs. Pusperiodu ilgums ir 44 gadi. Procesā formas nosaka harmoniku sastāvs. Daudzām upēm caurplūdamības process satur nepāru harmonikas, galvenokārt pirmo un trešo. Dažām upēm, procesam raksturīgas arī pāru harmonikas (otrā un ceturtā). Furjē rindu summām, kuras veido aproksimācijas sakarības, korelācijas koeficients pret dabisko integrālo procesu, sasniedz caurmērā lielumu 0.8 - 0.9, kas liecina par aproksimācijas precizitātes pakāpi.

Visām upēm, kam pārsvarā nav antropogēni faktori, caurplūdamībām ir ciklisks raksturs ar 44 gadu novirzes integrālās funkcijas pusperiodu.

Pasaules upju caurplūdamības īpašību pētījumi liecina, ka periodisko procesu fāzes dažādu reģionu upēm ir savstarpēji nobīdītas par noteiktu leņķi. Par fāzes atskaites koordināti ir pieņemta Baltijas caurplūdamības procesa fāze. No šā viedokļa upes ir iedalītas četrās grupās, kuru fāzes atšķiras par apmēram 90°.

Uz realizētās analīzes pamata tika sastādīta pasaules upju caurplūdamību fāžu kartes (6.1. att).

Pirmajā grupā ir upes, kuru fāzes maz atšķiras no Daugavas caurplūdamības procesa fāzes (6.1. tabula). Šajā grupā ietilpst Baltijas jūras austrumu nogāzes upes sākot ar Sev. Dvinu un Ņevu un beidzot ar Nemunu. Bez tam šajā grupā ietilpst arī Kolorādo un Misūri (ASV), Riogrande (Meksika), Saofrancisku (Brazīlija), Nigēra (Āfrika), Rona (Francija) un Angara (Krievija).

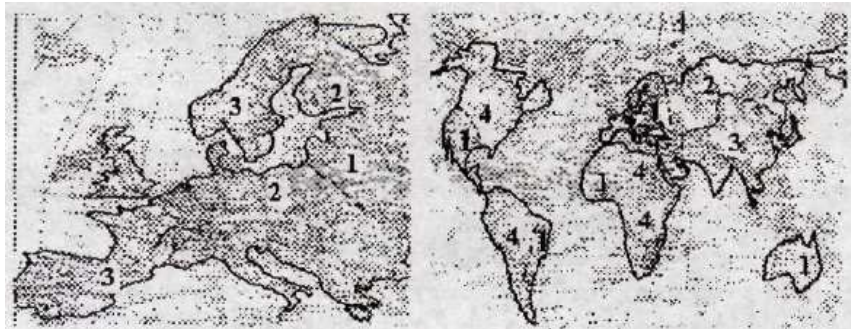
Vienīgais kopējais, kas apvieno šīs upes ir kalnainie apvidus, ko var konstatēt, paraugoties uz pasaules fizikālo karti.

Eiropas vidienē, upes pieder otrai grupai (Visla, Elba). Pie šīs grupās pieder arī Krievijas upes (Dņepra, Volga, Oka, Kārna, Oba, Jeņiseja, Ļena).

Pie trešās grupas pieder Eiropas dienvidu upes, kas plūst paralēlu virzienā (Donava, Po, Ebro), Āzijas paralēlu virzienā plūstošās upes (Jandzi, Huanhe, Amūra), kā arī Inda (Indija).

6.1. tabula  
Upju grupas pēc caurplūdamības ražu attiecību datiem

1. grupa	2. grupa	3. grupa	4. grupa
Angara	Visla	Donava	Kongo
Sev. Dvina	Elba	Po	Nīla
Ņeva	Dņepra	Ebro	Parana
Nemuna	Volga	Jandzi	Amazone
Daugava	Oka	Huanhe	Laplata
Rona	Kama	Amūra	Orinoko
Misūri	Oba	Inda	Misisipi
Kolorādo	Yeņiseja	Glomma	Kolumbija
Mureja	Ļena		Sv.Labrenča
Saofrancisko	Vuoksa		
Riogrande	Keme		
Nigēra	Kymi		
Lule			
Muonioalven			



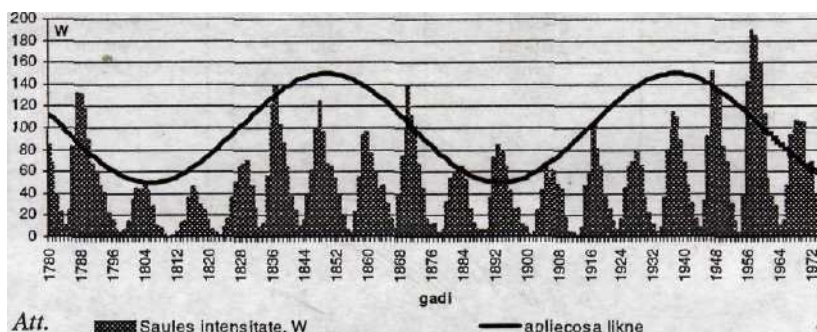
Att. 6.1. Pasaules upju caurplūdumu fāžu kartes

Āfrikas upes Kongo un Nīla, ka arī Amerikas upes Parana, Amazone, Laplata, Orinoko, Misisipi, Kolumbija un Sv. Labrenča upe ierindojas 4. grupā.

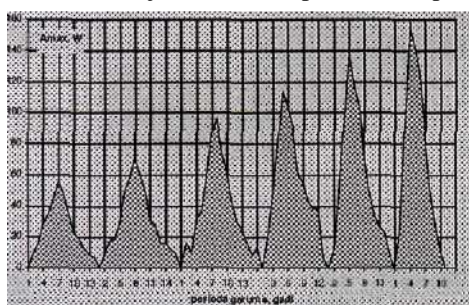
Tas apstāklis, ka pasaules upju caurplūdamībām ir apmērām līdzīgs ciklisks raksturs ļauj secināt, ka tiem ir kopējs iespaidojošs faktors, kas turpmāk būtu jānoskaidro.

## 7. ZEMFREKVENČU PROCESU IEMESLU IZPĒTE

Saules intensitātes izmaiņas process sastāv no diviem komponentiem, 7.1. att. *Pirmais* no tiem ir augstfrekvences process, kura periods vidēji ilgst 11,1 gadus. Novērojumu laikā šis periods nedaudz mainās diapazonā no 9 līdz 14 gadiem. Perioda ilgums ir atkarīgs no maksimālas intensitātes. Jo augstāka maksimālā intensitāte, jo īsāks ir periods.



Aktivitātes pieaugums parasti notiek 4-5 gadu laikā. Tas samazināšanas - 6-7 gados. Dabīgi, ka, mainoties kopējam perioda ilgumam, izmainās arī šie skaitļi. Praktiskām vajadzībām ir nepieciešams priekšstats par t. s. 11-gadīgo periodu



Att 7.2. Saules intensitātes 11-gadīgo periodu vidējās formas

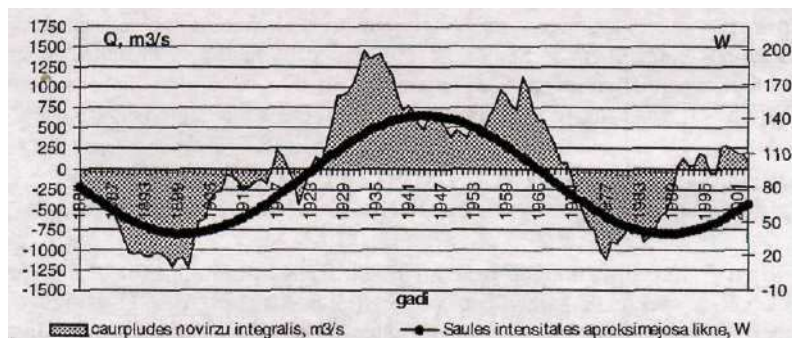
vidējam formām. Šim nolūkam tika noteiktas vidējās periodu līknes, graduētas pēc maksimālām intensitātēm. Šie rezultāti parādīti 7.2. attēla.

*Otrs* Saules intensitātes izmaiņas procesa komponents saistīts ar intensitāšu maksimālo vērtību

izmaiņām. No 7.1. att. seko  $W_{max}$  vērtības cikliskums. Saules 11-gadīgiem cikliem uzklājas maksimālo intensitāšu cikli ar simtgades periodu.

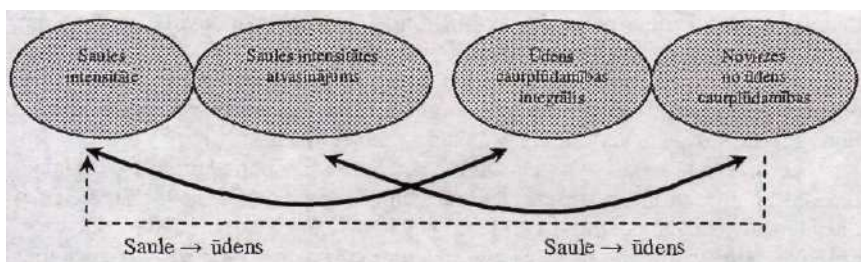
Atveidojot 1893.-1974. gadu Saules maksimālo intensitāšu raksturojošo līkni (pirmo harmoniku) un, pieņemot šīs līknes abscisas ass koordināti līdzīgu Furjē rindas brīvajam loceklim, salīdzina to ar Daugavas caurplūdamības novirzes integrālo līkni, 7.3.att.

Redzam, ka līknēm ir kvalitatīvi līdzīgs raksturs. Viens no šiem procesiem ir iemesls un otrs - sekas. Tātad, Daugavas caurplūdamības novirzes integrālo funkciju nosaka Saules maksimālās intensitātes izmaiņas. Cītu upju caurplūdamības līknes jānosaka, attiecīgi nobīdot tās par reģionālo leņķi.



1893.-1974. gadu Saules maksimālo intensitāšu raksturojošas līknes un Daugavas caurplūdamības novirzes integrāla līkņu salīdzinājums

Iegūtie rezultāti liecina, ka darba sākumā izdarītā uzdevuma nostādne par to, ka jāmēģina rast tiešo sakarību starp upju gadu caurplūdamībām un faktoriem, kas to ietekmē, ir attaisnojusies.



Att. 7.4. Ūdens caurplūdamības sakarība ar Saules intensitāti

Tātad, caurplūdamības noteicošais faktors ir Saules intensitātes izmaiņu process, jo caurplūdamības integrālis līdzīgs Saules maksimālās aktivitātes pirmās harmonikas funkcijai:



$$Q_I(t) = f(W(t) + \alpha), \quad (7.3.)$$

kur  $Q_I$  - caurplūdamības pamatharmonika,  $m^3/s$ ;

$\alpha$  - caurplūdamības fāze.

Sakarība starp Saules intensitāti un ūdens caurplūdamību attēlota 7.4.att.. No apskatītā seko, ka viens no svarīgiem upju kvalitatīviem caurplūdamību prognozēšanas elementiem ir Saules novērojumu dati. Saules intensitātes naturālo vienību funkcija līdzīga ūdens caurplūdamības noviržu integrālim, bet tās pirmais atvasinājums - ūdens caurplūdamības otrā atlikuma sistemātiskām novirzēm.

## **8. AUGSTFREKVENČU CAURPLŪDAMĪBAS PROCESU PROGNOZĒŠANAS IESPĒJAS**

Upju gadu caurplūdamību "atlikumu" galvenais raksturojums ir to frekvence. Šīs frekvences spektrs ir samērojams ar Saules intensitātes t. s. 11-gadīgo ciklu frekvenci. Lai rastos priekšstats par Saules intensitātes procesa komponentu, jāiegūst to skaitliskie raksturojumi.

Prognozējot Saules aktivitāti pēc tās ekstremāliem lielumiem, informāciju par visiem pārējiem datiem var iegūt, izmantojot 11-gadīgo periodu vidējās formas, (7.2. att.).

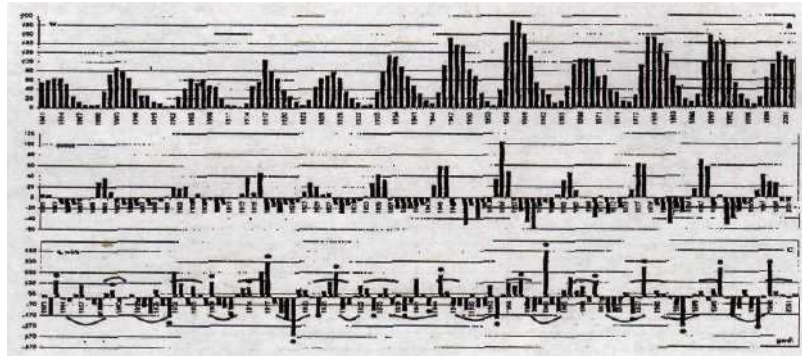
8.1. att. ir attēloti faktiskie 11-gadīgie cikli (a), savietoti arto atvasinājumu (b) un Daugavas caurplūdamības "atlikuma" vērtībām (c). No tā izriet, ka "atlikuma" novirzes praktiski sakrīt ar Saules intensitātes atvasinājumu. Atvasinājuma un "atlikuma" noviržu zīmes praktiski sakrīt. Orientējoties uz noviržu vidējām vērtībām, šo apstākli ir iespējams izmantot "atlikuma" prognozēšanai.

Pētot caurplūdamības "atlikumu", var konstatēt, ka atsevišķos gados novērojamas spontānas lielas pozitīvo un negatīvo noviržu izmaiņas, atšķirīgas no lielumiem pārējos gados. Šos lielumus varētu nosaukt par "izmetumiem".

No 8.1. att. seko, ka "izmetumi" (atzīmēti ar punktiem) arī pakļaujas noteiktām likumsakarībām. Izrādās, ka "izmetumi" notiek gados, kad mainās Saules intensitātes atvasinājuma zīmes. Pārejā no negatīvas zīmes uz pozitīvo, "izmetums" ir negatīvs, toties pārejā no pozitīvā atvasinājuma uz negatīvo - pozitīvs (izņēmums ir 1962 gads, kad zīme ir pretēja).

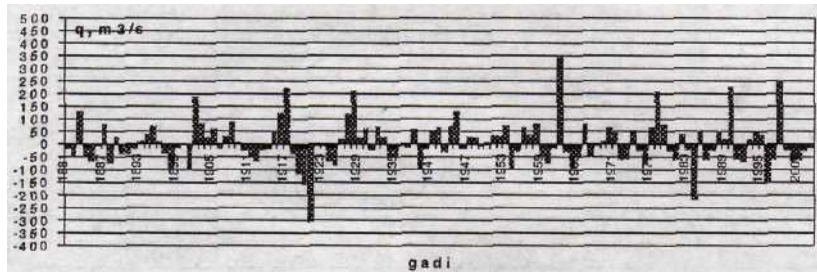
Veicot noviržu trešā atlikuma analīzi neņemot vērā "izmetumus", tika iegūti pozitīvo un negatīvo noviržu vidējās vērtības. Atskaitot šos lielumus no trešā atlikuma novirzēm, iegūstam precizētu gala atlikumu, 8.2.att.. Tas pozitīvo un negatīvo noviržu lielumi (bez "izmetumiem") salīdzinājumā ar izejas novirzēm ir gandrīz divreiz mazāki. Par to var spriest, pamatojoties uz sadalījuma blīvumu, kas

atbilst 4. "atlikuma" lielumiem. Standartnovirzes 4. "atlikumam" ( $\sigma_{4 \text{ atl.}} = 63$ ) ir divreiz mazākas par 3. "atlikumam" novirzēm ( $\sigma_{3 \text{ atl.}} = 126$ ).



Att. 8.J. Ūdens caurpludamības "atlikuma" process uz 11-gadīga Saules intensitātes fonā: a) Saules intensitāte; b) intensitātes atvasinājums; c) novirzu "atlikums"

Pašu izmetamu laiks var tikt prognozēts ar nelielu nenoteiktību. To amplitūdu nosaka kā vidējo vērtību. Pozitīvie izmetumi: 217 m<sup>3</sup>/sek, bet attiecīgi negatīvi izmetumi: -178 m<sup>3</sup>/sek.

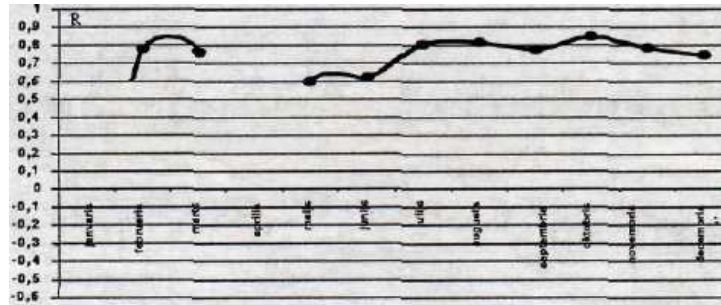


Att. 8.2. Daugavas ūdens caurpludamības ceturtais "atlikums"

Galīgā "atlikumam" atbilst neliela īpatsvara nestacionārs process. Tā analīzei varētu izmantot Veivleta pārveidojumu (VP), kas turpmāk var dot papildus informāciju.

## 9. MĒNEŠU CAURPLŪDAMĪBU PROGNOZĒŠANA

Svarīgas ir arī zinātniski pamatotas precizētas HES izstrādes mēnešu prognozes. Šādas ziņas ir nepieciešamas konkrēto mēnešu energoapgādes līgumu noslēgšanai, iekārtas remontu, grafiku plānošanai un energosistēmas režīmu vadīšanai.



Att. 9.1. Korelācijas koeficienti starp tekošo un nākamo mēnešu caurplūdamībām

9.1. tabula

Korelācijas koeficienti un regresijas vienādojumi

mēnesis	korelācijas koeficienti ar labojumiem prognozei uz		regresijas vienādojumi prognozei uz
	nākamo mēn.	aiznākamo mēn.	nākamo mēn.
janvāris	-0.284	0.410	
februāris	0.780	0.286	$Q_2=0.8299Q_1+20.96$
mart	0.762	0.693	$Q_2=1.3245Q_1+131.49$
aprīlis	-0.229	-0.189	
maijs	0.599	-0.364	$Q_3=0.2102Q_1+4496.92$
jūnijs	0.622	0.359	$Q_2=0.1588Q_1+249.84$
jūlijs	0.807	0.254	$Q_2=0.4725Q_1+74.654$
augusts	0.816	0.676	$Q_1=0.8116Q_2+27.481$
septembris	0.772	0.568	$O_i=0.8285Q_2+70.23$
oktobris	0.851	0.762	$Q_1=1.2548Q_2+29.036$
novembris	0.785	0.680	$Q_2=0.6579Q_1+196.38$
decembris	0.744	<b>0.686</b>	$Q_2=0.5924Q_1+150.47$

Nepieciešamas sakarības var konstatēt, balstoties uz korelācijas koeficientiem, (att. 9.1. un tabula 9.1.). Tā, zinot tekošā mēneša datus, ar noteiktu drošuma pakāpi var prognozēt nākošā mēneša caurplūdāmību (desmit no divpadsmit mēnešiem).

Caurplūdāmību prognozē orientējoties uz regresijas vienādojumiem, 9.2. att.:

$$Q_2 = Q_0 + bQ_1, \quad (9.1.)$$

kur  $Q_2$  prognozējamā caurplūdāmība,  $m^3/s$ ;

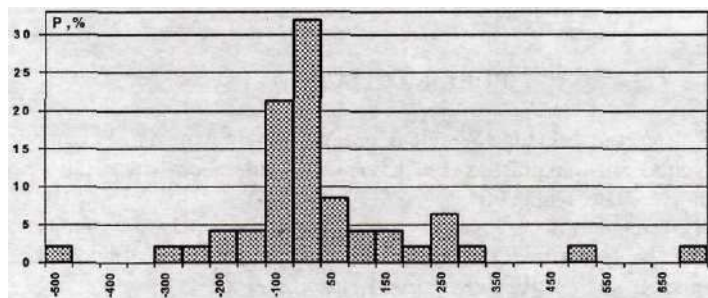
$Q_0$ - brīvais loceklis,  $m^3/s$

$Q_1$ - tekošā caurplūdāmība,  $m^3/s$

$b$ - regresijas koeficients.

Prognožu varbūtības var noteikt no sadalījuma blīvuma histogrammām (9.3. att.) kur uz abscisas ir caurplūdāmību robežlielumu novirzes no regresijas nolīdzinājuma.

Darba izstrādāta Daugavas mēnešu caurplūdāmības prognozes metodika uz varbūtības teorijas bāzes. Gadījumā, ja situācija nav stacionāra, notiekot apstākļu būtiskai izmaiņai, jāizmanto iepriekšējo periodu uzkrātā informācija.



Att. 9.3. Caurplūdāmību novirzes no regresijas (oktobris)

## SECINĀJUMI

1. Energosistēmu un HES režīmu vadīšanas metožu analīze liecina, ka hidroelektroenerģijas prognozēšanas precizitātes palielināšanas uzdevumam ir liela teorētiska un praktiska nozīme.
2. Upju caurplūdāmību novērojumu dati tika analizēti, izmantojot to pārveidojumus palīgfunkcijās, kas nodrošināja analīzes uzskatāmību.
3. Analītisko analīžu iegūšanai tika izmantoti Furje pārveidojumi un Furjē logu pārveidojumi. Determinētā caurplūdāmību aproksimācija tika iekļautas

kanoniskas un nekanoniskas, stacionāras un daļēji nestacionāras harmonikas. Atskaitot determinēto funkciju no izejas datiem, analīzes rezultāti tika atgriezti oriģinālās vienībās, izmantojot apgrieztos pārveidojumus, tos diferencējot. Visi pārveidojumi tika ietverti speciāli izstrādās datu apstrādes struktūrās uz programmu paketes pamata.

4. Atskaitot no dabīga procesa determinētos komponentus, paliek neliela īpasvara gadījuma rakstura "atlikums", kas dod iespēju apmēram pieckārtīgi palielināt prognozēšanas precizitāti, realizējot to atsevišķi dažādām spektra komponentiem.
5. Pārbaudot caurplūdamības globālas īpašības uz 45 pasaules upju novērojumu datu pamata, tika noskaidrots, ka visu upju caurplūdamībām ar reģionālām fāžu atšķirībām piemīt līdzīgs raksturs.
6. Konstatēts, ka upju caurplūdamību raksturs atbilst Saules intensitātes procesa izmaiņas raksturam zemfrekvences un augstfrekvences spektra daļās.
7. Darbā izstrādāta Daugavas mēnešu caurplūdamības prognozes metodika uz varbūtības teorijas bāzes. Desmit gada mēnešiem nākošā mēneša caurplūdamību stacionāros apstākļos var ar zināmu drošumu prognozēt uz tekošā mēneša caurplūdamības pamata, izmantojot regresijas vienādojumus kā sakarību starp tiem.

#### **PUBLIKĀCIJAS**

1. Barkāns J., Zicmane I. Daugavas ūdens prognozēšanas matemātiskais modelis. 42. RTU studentu zinātniskās un tehniskās konferences materiāli. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga 2001.
2. Barkāns J., Zicmane I. Daugavas gadu caurplūdes spektrāla analīze. 42. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 2. sējums. RTU, Rīga 2001., lpp.100 -105.
3. Barkāns J., Zicmane I. Daugavas caurplūdes mēnešu prognozes. 43. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 5. sējums. RTU, Rīga 2002., lpp.26 -29.
4. Barkāns J., Zicmane I., Leščenko S., Vasiljevs A. Enerģijas taupīšanas pasākumu statisko saimniecisko aprēķinu klasifikācija. 43. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 5. sējums. RTU, Rīga 2002., lpp.161 -168.
5. Barkāns J., Zicmane I. Globālas upju enerģētisko potenciālu, īpašības. 43. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 5. sējums. RTU, Rīga 2002., lpp.197-200.
6. Barkāns J., Zicmane I. HES enerģija tirgus apstākļos. 44. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 5. sējums. RTU, Rīga 2003., lpp.124-127.

7. Barkāns J., Zicmane I. Upju gadu enerģētiskā potenciāla izpēte un klasifikācija ar ciparu filtriem. 44. starptautiskā konference. RTU zinātniskie raksti 4. sērija. Enerģētika un elektrotehnika. 5. sējums. RTU, Rīga 2003., lpp.134-140.
8. Barkāns J., Zicmane I. Forecasting of annual electro-energy generation by hydro power plants. 6<sup>th</sup> International Conference. Control of Power Systems '04. Štrbske Pleso, High Tatras, Slovak Republic. June 16-18, 2004.
9. J. Barkāns, I. Zicmane. Forecasting Methods of Renewable Energy Annual Production by Hydro Power Plants. International conference EPE-PEMC 2004. Riga.
10. Баркан Я. Зицмане И. Рекии солнце. Наука и жизнь. 2002, №2., с. 134-135.
11. Баркан Я. Зицмане И. Прогнозирование базы годовой выработки энергии ГЭС. Электрические станции. 2003, №9., с. 15-21.
12. Barkāns J., Zicmane I. Pasaules upju gada caurplūduma prognozēšanas iespējas. Enerģētika un sabiedrība. Rīga 2003., Nr.23., lpp.31 -35.
13. J. Barkāns, I. Zicmane. Electricity production by hydro power plants: possibilities of forecasting. Latvian journal of physics and technical sciences, 2004, Nr.1.