



MAVSUMIY ROSTLANUVCHI SUV OMBORINI MODELLASHTIRISH ALGORITMI

Bobirjon ZAYNIDDINOV¹

¹ISFT instituti Iqtisodiyot kompyuter injiniring kafedrasida dotsenti v.b, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

KALIT SO'ZLAR	ANNOTATSIYA
Algoritm, matematik model, dastur, vektor, optimallashtirish.	Maqolada noaniq ma'lumotlar sharoitida gidrotexnika inshootlarini masofadan boshqarish tizimi uchun modellashtirish algoritmini ishlab chiqish bo'yicha ishlar keltirilgan. Gidrotexnik inshootlarning matematik modeli zamonaviy dasturiy tizimlar yordamida loyihalash va optimallashtirish tajribasi asosida ishlab chiqilgan. Taklif etilgan matematik model va algoritmlar obyektga mosligi tekshirilgan. Suv sathiga ta'sir qiluvchi omillar hisobga olinib, mavsumiy taribga solinuvchi suv omborini modellashtirish algoritmi ishlab chiqilgan.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА	АННОТАЦИЯ
Алгоритм, математическая модель, программа, вектор, оптимизация.	В статье представлены разработки алгоритма моделирования гидротехнических сооружений для системы дистанционного управления в условиях неопределенности данных. Математическая модель гидротехнических сооружений разработана с использованием современных программных систем на основе опыта проектирования и оптимизации. Предложенная модель и алгоритмы проверены на адекватность объекту. Разработан алгоритм моделирования сезонно регулируемого водохранилища, учитывающий основные факторы, влияющие на уровень воды.
KEY WORDS	ABSTRACT
Algorithm, mathematical model, program, vector, optimization.	The article presents the development of an algorithm for modeling hydraulic structures for a remote control system under conditions of data uncertainty. The mathematical model of hydraulic structures has been developed using modern software systems based on design and optimization experience. The proposed model and algorithms have been tested for adequacy to the object. An algorithm for modeling a seasonally regulated reservoir has been developed, taking into account the main factors affecting the water level.

Kirish. O'zbekiston Respublikasini 2022–2026-yillarda yanada rivojlantirish bo'yicha taraqqiyot strategiyasida “suv resurslarini boshqarish tizimini tubdan isloh qilish va suvni iqtisod qilish, suv xo'jaligi obyektlarida elektr energiyasi iste'molini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, iqtisodiyot, ijtimoiy soha, boshqaruv tizimiga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish” yuzasidan vazifalar belgilangan. Mazkur vazifalarni

amalga oshirish uchun ma'lumotlar aniq bo'lmagan sharoitda suv omborlarining texnologik parametrlarini masofadan boshqaradigan yangi intellektual tizimlarni ishlab chiqish vazifalari vujudga keladi.

Suv resurslari tizimlari uchun suv zahirasi, suvning oqishi va chiqishlari noravshan va turli ma'nodagi tasniflari tufayli noravshan kattaliklar yordamida ifodalanishi ham mumkin. Suv omborlarida suvning sathi va sarfi o'zgarib turadi, shuningdek, turli xildagi qishloq

xo‘jaligi ekinlarini yetishtirishda, suvga bo‘lgan talab ham o‘zgaruvchidir. Bu esa, o‘z navbatida, ma‘lumotlar aniq bo‘lmagan sharoitda gidrotexnika inshootlarida suvdan samarali va ortiqcha isrofgarchiliklarga yo‘l qo‘ymagan holda foydalanishni talab etadi.

Shuning uchun gidrotexnika inshootlarida dinamik tizimlarning holatini muntazamlash usullarini ko‘rib chiqish va noravshan masalalarni yechish usullari hamda algoritmlarini yaratish maqsadga muvofiq.

Ma‘lumki, yuqori sifatli boshqarish tizimini yaratish uchun yuqori aniqlikdagi matematik modelni olish talab etiladi. Ammo, har qanday jarayonning matematik modelini olishda cheklovlar mavjud, shuningdek, ko‘p holatlarda olinadigan modellar chiziqlantiriladi. Bu esa, modelda ba‘zi bir noaniqliklarni keltirib chiqaradi.

Shu nuqtayi nazardan, gidrotexnika inshootlari uchun ham ushbu xususiyat

mavjuddir, ularda kelib chiqadigan noaniqliklar quyidagicha:

- suv omborlari inshootlarining modellari aniq emas.
- suv sathi va sarfining aniq emasligi.
- datchiklarning xatoliklari.
- boshqarish jarayonidagi xatoliklar.
- mikrokontrollerlardan foydalanish sababli, kvantlash natijasida sodir bo‘ladigan xatoliklar va hokazolar.

Gidrotexnik inshoot gidrotexnik majmua joylashgan yerning relyefi, hisoblanayotgan yuklama va konstruksiyasi nuqtayi nazaridan o‘ziga xosdir. Zamonaviy dasturiy tizimlarni qo‘llagan holda gidrotexnik inshootlarning matematik modelini individual tuzilishi shu kabi konstruksiyalarni loyihalashtirish va ularni optimallashtirish tajribasiga asoslangan. Suv omboridagi suv sathining vaqtidagi o‘zgarish dinamikasini quyidagi ko‘rinishdagi farq tenglamasi bilan tavsiflash mumkin:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k), \theta, k) + g(\theta, x(k))w(k), \quad x(k_0) = x_0, \quad (1)$$

bu yerda

$x(k) \in R^2$ – vektor holati, ($x_1(k)$ – suv omboridagi suv hajmi, $x_2(k)$ – suv omboridagi suv sathi); $u(k) \in R^3$ – boshqarish ta’siri vektori ($u_1(k)$ – suv omboriga suv kirishining sarfi; $u_2(k)$ – suv omboridan suv chiqishi miqdori; $u_3(k)$ – suv iste’moli miqdori); $\theta \in R^s$ – parametrlarning noma‘lum vektori; x_0 – vaqtning k_0 momentida suv omborining dastlabki hajmi; f va g – ba‘zi funksiyalar; $w(k)$ – o‘rtacha qiymati va kovariatsiyasi nolga teng bo‘lgan Gauss tasodifiy o‘zgaruvchilari ketma-ketligi

$$E\{w(k)w^T(j)\} = Q(k)\delta_{kj}.$$

Boshlang‘ich holat x_0 – o‘rtacha \bar{x}_0 va kovariatsiya P_0 bilan tasodifiy o‘zgaruvchi hisoblanadi.

Suv omborining ishlash rejimlarini optimallashtirish suv chiqarish inshootida shunday boshqarish ta’sirlarini tanlashdan iboratki, unga muvofiq suv ta’minoti jadvali ta’minlanadi va shu bilan birga suv ombori yuzasidan bug‘lanish va filtrlash uchun suv yo‘qotishlari minimallasadi [1].

Suv omborini to‘ldirish jarayonida boshqarish funksiyalari bo‘lib suv kirishi sarfi $u_1(t)$, suvning chiqishi $\eta(k)$ va suv omborining

ishlashi jarayonidagi suv iste'moli $u_3(t)$ hisoblanadi.

Obyekt holatiga cheklovlar:

$$H_{\min} \leq h(t) \leq H_{\max},$$

$$dh(t)/dt \leq U_{kp},$$

ko'rinishga ega bo'lib, bu yerda $h(t)$ – suv omboridagi suv sathi; H_{\min} , H_{\max} – suv omboridagi erkin suv sathi ordinatasining, mos ravishda, minimal va maksimal qiymatlari; U_{kp} – suv omborini to'ldirish va ishlash tezligining kritik qiymati.

$$x(k+1) = A(\theta, k)x(k) + B(\theta, k)u(k) + G(k)w(k), \quad (2) \quad y(k) = C(\theta, k)x(k) + \eta(k),$$

bu yerda $A(\theta, k)$, $B(\theta, k)$ va $C(\theta, k)$ – o'lchami s ga teng bo'lgan noma'lum parametr vektori θ ning chiziqli funksiyalari, $\eta(k)$ – o'rtacha qiymati va kovariatsiyasi nolga teng bo'lgan Gauss tasodifiy o'zgaruvchilari ketma-ketligi $E\{\eta(k)\eta^T(j)\} = R(k)\delta_{kj}$.

Parametrlar korrelyatsiya qilingan tasodifiy o'zgaruvchilar sifatida vaqt o'tishi bilan o'zgaradi deb faraz qilamiz $\theta(k+1) = F(k)\theta(k) + \xi(k)$, $\theta(0) = \theta_0$,

bu yerda ma'lum matrisa $F(k)$ parametrlar ketma-ketligining o'zaro

$$x(k+1) = A(k, \theta)x(k) + B(k, \theta)u(k) + G(k)w(k) = D(k)u(k) + G(k)w(k), \quad (3)$$

bu yerda $D(k) = x(k)$ va $u(k)$ lardan iborat funksiya [5]. Berilgan X^k uchun

k vaqt momentida θ ning bahosi $\hat{\theta}(k/k)$ deb taxmin qilsak, x va θ ning bir bosqichli baholarini va ularning Gauss tasodifiy

$$\hat{x}(k+1/k) = \hat{A}(k/k, \hat{\theta})\hat{x}(k) + \hat{B}(k/k, \hat{\theta})\hat{u}(k),$$

$$\hat{\theta}(k+1/k) = \hat{F}(k)\hat{\theta}(k/k),$$

$$P(k+1/k) = D^T(k)\Gamma(k/k)D(k) + G(k)Q(k)G^T(k),$$

$$\Gamma(k+1/k) = F(k)\Gamma(k/k)F^T(k) + K(k),$$

Farq tenglamasining (1) nohiziqi va suv resurslarini boshqarish jarayonida suv chiqarish va gidrotexnika inshootlarining ish rejimlarida turli xil o'zgarishlarning murakkabligi tufayli ushbu tenglamalarning aniq analitik echimlari mavjud emas, shuning uchun raqamli usullarga asoslangan, taxminiy yechimlar usullari qo'llaniladi [2].

(1) tenglamani chiziqlantirish uchun biz kengaytirilgan Kalman filtridan [3] foydalanamiz, buning natijasida quyidagiga erishamiz:

bog'liqligini aks ettiradi, $\xi(k)$ – parametrlar ketma-ketligining mustaqil o'zgarishlarini ko'rsatadigan tasodifiy vektor va θ_0 – parametrlarning dastlabki noaniqligini ifodalovchi tasodifiy vektordir [4].

Agar $w(k)$ va $\xi(k)$ larni matematik kutilmasi nolga teng bo'lgan va mos ravishda $Q(k)$ va $R(k)$ ijobiy aniqlangan kovariatsiyalarga ega bo'lgan Gauss korrelyatsiyasiz tasodifiy o'zgaruvchilardir deb taxmin qilsak, u holda (2) tenglamani parametrlar funksiyasi sifatida yozish mumkin

o'zgaruvchilari hisoblangan kovariatsiyalarini olish uchun odatiy baholash protseduralaridan [6] foydalanish mumkin:

bu yerda

$$\hat{A}(k/k, \hat{\theta}) = A(k, \theta) \Big|_{\theta=\hat{\theta}(k)}, \quad \hat{B}(k/k, \hat{\theta}) = B(k, \theta) \Big|_{\theta=\hat{\theta}(k)},$$

$$x(k+1) - \hat{x}(k+1/k) = D(k)[\theta(k) - \hat{\theta}(k)] + G(k)w(k).$$

Rekurrent parametrlarni baholash va xato kovariatsiyasi $\Gamma(k+1/k+1)$ quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi [7]:

$$\hat{\theta}(k+1/k+1) = \hat{\theta}(k+1/k) + K(k+1)P^{-1}(k+1/k)[x(k+1) - \hat{x}(k+1/k)],$$

$$K(k+1) = F(k)\Gamma(k/k)D^T(k),$$

$$\Gamma(k+1/k+1) = \Gamma(k+1/k) - K(k+1)P^{-1}(k+1/k)K^T(k+1).$$

Endi sifat mezonining o‘rtacha qiymatini minimallashtirish uchun optimal tizimni sintezlash usulini [8] qo‘llab boshqarish algoritmini quyidagi shaklda yozishimiz mumkin:

$$J(U_k^{N-1}) = E \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=k}^{N-1} x^T(i+1)M(i)x(i+1) + u^T(i)N(i)u(i) \Big| Z^k, U^k \right\}, \quad (4)$$

bu yerda $M(i) = M^T(i) \geq 0$ va $N(i) = N^T(i) > 0$.

(3) ni hisobga olgan holda (4) minimallashtirish tenglamasidagi U_{k+1}^{N-1} ketma-ketlikni topish uchun dinamik optimallashtirish usulidan foydalanamiz [9]:

$$u^*(j/k) = -C(j/k)x(j), \quad j = k+1, \dots, N-1, \quad (5)$$

$$C(j/k) = [E\{B^T(j, \theta)S(j+1/k)B(j, \theta) + R(j)\}]^{-1} \times E\{B^T(j)S(j+1/k)A(j, \theta)\}, \quad (6)$$

$$S(j/k) = E\{[A(j, \theta) - B(j, \theta)C(j/k)]^T(M(j) + S(j+1/k)) \times [A(j, k) - B(j, \theta)C(j/k)] + C(j/k)N(j)C^T(j/k)\}.$$

Ko‘rib chiqilayotgan ko‘p bosqichli boshqaruv algoritmidagi eng ko‘p vaqt talab qiladigan operatsiya bu

$$\Theta = [E\{B^T(j, \theta)S(j+1/k)B(j, \theta) + R(j)\}]$$

matritsaning teskarisini aniqlashdir [10]. Boshqarish algoritmining aniqligi va hisoblash turg‘unligi ushbu protseduraning sifatiga sezilarli darajada bog‘liq. (6) ifodadagi Θ matritsa simmetrik nomanfiy aniqlangan matritsa bo‘lib, to‘liq bo‘lmagan ranga ega hisoblanadi [11].

Agar Θ matritsa yomon shartlangan yoki aniqlanuvchisi mavjud bo‘lmasa, (6) dagi psevdoteskari protsedurasining turg‘unligini

oshirish uchun quyidagi ko‘rinishdagi muntazam protseduralardan foydalanish maqsadga muvofiq:

$$\Theta^+ = T^T(TT^T + \alpha I)^{-2}T,$$

bu yerda T – matritsa $\Theta = T^T T$ ni parchalashdan aniqlanadi, $\alpha > 0$ – muntazamlashtirish parametri, I – birlik matritsa.

Bu yerda muntazamlashtirish parametri α ni modeli misollar usuli asosida aniqlash maqsadga muvofiqdir [12].

Jarayonning yuqoridagi formallashtirilishi matematik modelning strukturasi quyidagi

shaklda tanlash imkonini beradi:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k, \quad x_{k_0} = x_0,$$

$$y_k = C_k x_k + \eta_k, \quad k \in \{k_0, k_1, \dots, k_T\}, \text{ bu yerda}$$

$$A_k = \begin{bmatrix} a_{11,k} & a_{12,k} \\ a_{21,k} & a_{22,k} \end{bmatrix}, \quad B_k = \begin{bmatrix} b_{11,k} & b_{12,k} & b_{13,k} \\ b_{21,k} & b_{22,k} & b_{23,k} \end{bmatrix}, \quad C_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$M[x_0] = 0, \quad M[x_0 x_0^T] = X_0, \quad M[\eta_k] = 0, \quad M[x_0 \eta_k^T] = 0, \quad M[x_0 w_k^T] = 0,$$

$$M \left[\begin{pmatrix} w_k \\ \eta_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_l^T & \eta_l^T \end{pmatrix} \right] = \begin{bmatrix} W & G \\ G^T & V \end{bmatrix} \delta_{k-l}.$$

Parametr vektorini $\theta^T = [a^T : b^T]$ ni o'zgartirish jarayoni $\theta_{k+1} = \theta_k + w_k^\theta$ shakldagi Markov jarayonini tashkil qiladi deb faraz qilamiz, bu yerda $a^T = (a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})$,

$b^T = (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{21}, b_{22}, b_{23})$, w_k^θ – tasodifiy funksiyani amalga oshirishdir.

U holda jarayon va kuzatish tenglamalari quyidagi shaklda yoziladi:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k, \quad x_{k_0} = x_0, \quad (7)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + w_k^\theta, \quad (8)$$

$$y_k = C_k x_k + \eta_k,$$

bu yerda

w_k, w_k^θ ($k = 0, 1, \dots$) – Gauss ketma-ketliklari:

$$M[w_k, w_l^T] = Q_k^x \delta_{kl}, \quad M[w_k^\theta, w_l^{\theta T}] = Q_k^\theta \delta_{kl}, \quad Q_k^x = R_k,$$

bu yerda δ_{kl} – Kroneker belgisidir.

Kengaytirilgan holat vektor $x^p = [x^T | \theta^T]^T$ ni kiritib, (7), (8) tenglamalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz

$$x_{k+1}^p = f^p[x_k^p, u_k, k] + w_k^p,$$

$$z_{k+1} = c[x_k^p, u_k, k] + w_k,$$

bu yerda

$$x_k^p = \begin{bmatrix} x_k \\ \theta_k \end{bmatrix}, \quad f^p = \begin{bmatrix} f[x_k, \theta_k, u_k, k] \\ \theta_k \end{bmatrix}, \quad w_k^p = \begin{bmatrix} w_k \\ w_k^\theta \end{bmatrix},$$

Suv omborining modelini olish uchun ko'rib chiqilayotgan obyektning normal ishlashi sharoitida tajriba o'tkazildi. Tajriba davomida

nazorat u yoki bu texnologik parametrlarning kuzatuvchanligiga qarab ekspress-tahlil usulida



www.isft.uz

“ISFT” ILMİY-USLUBIY JURNAL
“ISFT” НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
“ISFT” SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL JOURNAL

ISSN: 3030-329X

2024/3-son



www.jurnal.isft-ilm.uz

ham uzluksiz, ham diskret ravishda amalga oshirildi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Наврузов С.Т. Моделирование в управлении водными ресурсами. – Душанбе: ЭР-граф, 2013. - 280 с.
2. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. – М.: Мир, 1988. - 400 с.
3. Лапчик М.П., Рагулина М.И., Хеннер Е.К. Численные методы. Изд-во: Академия, 2004. - 384 с.
4. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. М., 1980. – 400 с.
5. Пельцвергер С.Б. Алгоритмическое обеспечение процессов оценивания в динамических системах в условиях неопределенности. – М.: Наука, 2004. – 116 с.
6. Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Зарипов О.О. Регулярные методы оценивания и управления динамическими объектами в условиях неопределенности. – Т.: ТашГТУ, 2012. – 320 с.
7. Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
8. Мамиров У.Ф., Зайнидинов Б.Ф. Мавсумий ростланувчи сув омборини моделлаштириш алгоритми ва математик моделини ишлаб чиқиш // Агроилм. – Тошкент, 2022. – №11(56). – С. 73-75. (05.00.00, №3).
9. Островский Г.М. Технические системы в условиях неопределенности: анализ гибкости и оптимизация. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 319 с.
10. Зайнидинов Б.Ф., Холходжаев Б.А., Абдишукуров Ш.М., Зайнидинова З.А. Экологические проблемы продовольственной безопасности (EPFS 2022) / Построение структурно-математической модели водохранилища. – Москва, 2022, 21-22 февраля. – С.63-75.
11. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1990.
12. Charles L. Lawson, Richard J. Hanson. Solving least squares problems / Philadelphia: SIAM, 1995. – 337 p.