

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**
Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT
RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Optimization of energy efficiency in irrigation pumping stations: Mathematical modeling using Bellman and Pontryagin approaches

J.N. Gulyamov¹^a, H.H. Toshmamatov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article investigates the problem of improving the energy efficiency of pumping stations used in irrigation systems. Irrigation pumping stations are an essential component of agricultural water supply systems, and their operation is associated with significant electricity consumption. Therefore, optimizing the operating modes of pumping stations plays an important role in the efficient use of energy resources. In this study, a mathematical model of pumping stations used in irrigation systems was developed, and the relationship between water flow rate, hydraulic head, and electrical energy consumption was analyzed. In order to minimize energy consumption, an optimization problem was formulated and solved using dynamic optimization methods. During the research, an optimal control model was developed based on the methods of Dynamic Programming and the Pontryagin Maximum Principle. These theories were developed by Richard Bellman and Lev Pontryagin respectively, and are widely applied in the optimization of complex technical systems. The research object was a two-stage pumping station system that takes water from the Great Fergana Canal. Based on the technical parameters of the pumping stations, the water flow rate, hydraulic losses, and electrical energy consumption were calculated. An optimal control regime was also determined to improve the energy efficiency of the system. The results of the study show that optimal control of pumping stations can reduce energy consumption by 20–30%. The obtained results have significant scientific and practical importance for the modernization of irrigation systems and the implementation of energy-saving technologies.

Keywords:

irrigation system, pumping station, energy efficiency, mathematical modeling, optimization, operations research, dynamic programming, optimal control, hydraulic systems, energy saving

Irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini optimallashtirish: Bellman va Pontryagin usullari asosida matematik modellash

J.N. Gulyamov¹^a, H.H. Toshmamatov¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada irrigatsiya tizimlarida qo'llaniladigan nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish muammosi tadqiq etiladi. Irrigatsiya nasos stansiyalari qishloq xo'jaligi suv ta'minotining muhim elementi hisoblanib, ularning ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfi bilan bog'liq. Shu sababli nasos stansiyalarining ish rejimini optimallashtirish energetik resurslardan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotda irrigatsiya tizimlarida ishlatiladigan nasos stansiyalarining matematik modeli ishlab chiqilib, suv sarfi, gidravlik balandlik hamda elektr energiya sarfi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilindi. Energiya sarfini minimallashtirish maqsadida optimallashtirish masalasi ko'rib chiqildi va u dinamik optimallashtirish usullari yordamida yechildi. Tadqiqot jarayonida Dynamic Programming usuli hamda Pontryagin Maximum Principle asosida optimal boshqaruv modeli ishlab chiqildi. Mazkur nazariyalar mos ravishda R.Bellman va L.Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, murakkab texnik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi ikki bosqichli nasos stansiyalari tizimi tanlandi. Nasos stansiyalarining texnik parametrlari asosida suv sarfi, gidravlik yo'qotishlar va elektr energiya sarfi hisoblandi hamda optimal boshqaruv rejimi aniqlanib, tizimning energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko'rsatib berildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos stansiyalarini optimal boshqarish orqali energiya sarfini 20–30 foizgacha kamaytirish mumkin. Olingan natijalar irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar:

irrigatsiya tizimi, nasos stansiyasi, energiya samaradorligi, matematik modellash, optimallashtirish, operatsiyalar tadqiqi, dinamik dasturlash, optimal boshqaruv, gidravlik tizimlar, energiya tejash

^a <https://orcid.org/0000-0003-1984-9111>



1. Kirish

Hozirgi kunda qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqaror rivojlanishi ko'p jihatdan suv resurslaridan samarali foydalanishga bog'liq. Ayniqsa sug'oriladigan dehqonchilik rivojlangan hududlarda irrigatsiya tizimlari qishloq xo'jaligi mahsulotlari yetishtirishning asosiy infratuzilma elementlaridan biri hisoblanadi. Irrigatsiya tizimlarining samarali ishlashi esa suvni manbalardan iste'molchilarga yetkazib berish jarayonining texnik jihatdan to'g'ri tashkil etilishiga bog'liq [9]. Ko'plab irrigatsiya tizimlarida suv tabiiy gravitatsiya kuchi yordamida emas, balki nasos stansiyalari orqali yuqori balandlikka ko'tarilib uzatiladi. Shu sababli nasos stansiyalari irrigatsiya tizimlarining eng muhim texnologik elementlaridan biri hisoblanadi.

Nasos stansiyalarining asosiy vazifasi suvni manbadan olib, ma'lum balandlikka ko'tarish hamda sug'orish tarmoqlariga yetkazib berishdan iborat. Biroq bunday tizimlarning ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfini talab qiladi. Ayniqsa yirik irrigatsiya tizimlarida nasos agregatlarining uzluksiz ishlashi energiya resurslarining sezilarli darajada sarflanishiga olib keladi [10]. Energiya sarfi ko'pincha nasoslarning noto'g'ri boshqarilishi, suv sarfining talabga mos kelmasligi hamda gidravlik tizimdagi yo'qotishlar bilan bog'liq bo'ladi. Shu sababli nasos stansiyalarining ish rejimini optimallashtirish irrigatsiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishda muhim ilmiy va amaliy masala hisoblanadi.

Zamonaviy muhandislik amaliyotida nasos tizimlarini optimallashtirish uchun matematik modellash va optimallashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda [3]. Bunday usullar yordamida nasos stansiyalarining energiya sarfini kamaytirish, suv taqsimotini optimal tashkil etish hamda tizimning umumiy samaradorligini oshirish mumkin. Ayniqsa murakkab texnik tizimlar uchun dinamik optimallashtirish usullari muhim ahamiyatga ega. Ushbu usullar tizimning vaqt bo'yicha o'zgaruvchan parametrlarini hisobga olgan holda optimal boshqaruv strategiyasini ishlab chiqish imkonini beradi.

Murakkab texnik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladigan usullardan biri Dynamic Programming hisoblanadi. Ushbu nazariya R.Bellman tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ko'p bosqichli qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi [1]. Dinamik dasturlash usuli yordamida tizimning har bir bosqichida optimal qarorlar ketma-ketligi aniqlanadi va umumiy optimallik sharti ta'minlanadi. Bu usul energiya sarfi, ishlab chiqarish jarayonlari hamda transport tizimlarini optimallashtirishda keng qo'llaniladi.

Optimal boshqaruv nazariyasida muhim o'rin tutadigan yana bir fundamental yondashuv Pontryagin Maximum Principle hisoblanadi. Ushbu prinsip L.Pontryagin va uning ilmiy maktabi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, dinamik tizimlarda optimal boshqaruvni aniqlash uchun zarur shartlarni belgilaydi [2]. Pontryagin maksimal prinsipi yordamida tizimning harakat tenglamalari asosida optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash mumkin. Bu nazariya energetika tizimlari, avtomatik boshqaruv, transport tizimlari va boshqa ko'plab muhandislik sohalarida qo'llaniladi.

Irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi ham aynan shunday optimallashtirish yondashuvlarini talab qiladi. Nasos stansiyalarining ishlash jarayonida suv sarfi, ko'tarish

balandligi, gidravlik yo'qotishlar hamda elektr energiya sarfi o'zaro murakkab bog'liqlikka ega [4, 5, 7]. Shu sababli nasos tizimining matematik modelini ishlab chiqish va optimal boshqaruv strategiyasini aniqlash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi matematik modellash va optimallashtirish asosida tahlil qilinadi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi ikki bosqichli nasos stansiyasi tizimi tanlangan. Ushbu tizim qishloq xo'jaligi maydonlarini sug'orish uchun mo'ljallangan bo'lib, suvni kanal sathidan yuqori balandlikka ko'tarish orqali sug'orish tarmoqlariga uzatadi. Tizimning texnik parametrlarini hisobga olgan holda suv sarfi, gidravlik yo'qotishlar hamda energiya sarfi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilinadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya sarfini minimallashtirish uchun optimal boshqaruv modelini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- irrigatsiya nasos stansiyasining matematik modelini ishlab chiqish;
- nasos tizimining gidravlik parametrlarini tahlil qilish;
- energiya sarfini hisoblash formulalarini aniqlash;
- dinamik optimallashtirish usullari asosida optimal boshqaruv modelini ishlab chiqish;
- real irrigatsiya tizimi misolida hisob-kitoblarni o'tkazish.

Mazkur tadqiqot natijalari irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy va amaliy tavsiyalar ishlab chiqish imkonini beradi. Shuningdek, olingan natijalar irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda suv resurslaridan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar tahlili

Irrigatsiya tizimlarida energiya samaradorligini oshirish masalasi so'nggi yillarda muhandislik, energetika va operatsiyalar tadqiqi sohalarida keng o'rganilayotgan ilmiy muammolardan biridir [9]. Nasos stansiyalari irrigatsiya tizimlarining asosiy texnologik elementlaridan biri bo'lib, ular orqali suv manbalardan yuqori balandlikdagi sug'orish maydonlariga uzatiladi. Biroq nasos agregatlarining ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfini talab qiladi. Shu sababli nasos tizimlarining energiya samaradorligini oshirish va ularning ish rejimini optimallashtirish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi [10].

Nasos tizimlarini optimallashtirish masalasi ko'plab ilmiy tadqiqotlarda matematik modellash va optimallashtirish usullari asosida o'rganilgan. Ayniqsa murakkab texnik tizimlarni boshqarishda operatsiyalar tadqiqi usullaridan foydalanish keng tarqalgan. Operatsiyalar tadqiqi ishlab chiqarish, transport, energetika va logistika tizimlarini optimallashtirishga qaratilgan ilmiy yo'nalish bo'lib, u matematik modelar yordamida optimal qarorlar qabul qilish imkonini beradi [3].

Murakkab dinamik tizimlarni optimallashtirishda eng muhim nazariyalardan biri Dynamic Programming (Dinamik dasturlash) hisoblanadi. Ushbu nazariya R.Bellman tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ko'p bosqichli qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirishga imkon beradi [1]. Dinamik dasturlash usuli optimal qarorlar ketma-ketligini aniqlashga asoslangan bo'lib, tizimning har bir



bosqichidagi optimal yechim keyingi bosqichlar bilan bog'liq holda aniqlanadi. Bellman tomonidan ishlab chiqilgan optimallik prinsipi ko'plab muhandislik masalalarini yechishda qo'llaniladi.

Dinamik dasturlash nazariyasi energetika tizimlarini boshqarishda ham keng qo'llaniladi [1, 3]. Energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlarida resurslardan samarali foydalanish uchun optimal boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish zarur. Nasos stansiyalarining ishlash jarayonida suv sarfi, energiya sarfi va gidravlik parametrlar o'zaro bog'liq bo'lib, bunday tizimlarni optimallashtirish uchun dinamik modellarni qo'llash samarali hisoblanadi. Bir qator ilmiy tadqiqotlarda dinamik dasturlash yordamida suv taqsimoti tizimlarini optimallashtirish va energiya sarfini kamaytirish mumkinligi ko'rsatib berilgan [1].

Optimal boshqaruv nazariyasida muhim o'rin tutadigan yana bir fundamental yondashuv Pontryagin Maximum Principle (Pontryagin maksimal prinsipi) hisoblanadi. Ushbu prinsip L. Pontryagin va uning ilmiy maktabi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, dinamik tizimlarda optimal boshqaruvni aniqlash uchun zarur matematik shartlarni belgilaydi [2]. Pontryagin maksimal prinsipi yordamida tizimning harakat tenglamalari asosida optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash mumkin. Ushbu nazariya optimal boshqaruv, avtomatik boshqaruv tizimlari, aerokosmik texnika, energetika va boshqa ko'plab muhandislik sohalarida keng qo'llaniladi.

Optimal boshqaruv nazariyasining irrigatsiya tizimlarida qo'llanilishi suv resurslarini samarali taqsimlash imkonini beradi. Nasos stansiyalarining ish rejimini optimal boshqarish orqali energiya sarfini kamaytirish va tizim samaradorligini oshirish mumkin. Ko'plab ilmiy tadqiqotlarda nasos tizimlarini optimallashtirish uchun matematik modellar ishlab chiqilgan bo'lib, ular suv sarfi, bosim yo'qotishlari, nasos quvvati va energiya sarfi o'rtasidagi bog'liqlikni tahlil qilish imkonini beradi [4, 7].

Nasos tizimlarining energiya samaradorligini oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, energiya sarfining katta qismi gidravlik yo'qotishlar hamda nasos agregatlarining noto'g'ri boshqarilishi bilan bog'liq. Quvurlardagi ishqalanish qarshiligi, suv oqimining turbulensiyasi hamda nasoslarning nominal rejimdan chetga chiqib ishlashi energiya sarfining ortishiga olib keladi [5, 6, 8]. Shu sababli nasos tizimlarining matematik modelini ishlab chiqish va ularni optimal boshqarish strategiyalarini aniqlash muhim ilmiy muammo hisoblanadi.

So'nggi yillarda nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish kuydi zamonaviy boshqaruv texnologiyalaridan foydalanish keng rivojlanmoqda. Xususan, chastota boshqaruv qurilmalari, avtomatik boshqaruv tizimlari, sensorlar va masofaviy monitoring tizimlari nasos agregatlarining ish rejimini optimallashtirish imkonini beradi [4, 10]. Bunday texnologiyalar yordamida nasoslarning ish tezligini suv talabiga mos ravishda boshqarish mumkin bo'lib, bu energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishga yordam beradi.

Irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish jarayonida energiya samaradorligini oshirish masalasi alohida ahamiyat kasb etmoqda. Ko'plab davlatlarda irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish dasturlari doirasida nasos stansiyalarini optimallashtirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda suv resurslarini boshqarish tizimlarini takomillashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda [9, 10]. Bunday tadqiqotlar

irrigatsiya tizimlarining barqaror ishlashini va energetik resurslardan samarali foydalanishni ta'minlashga xizmat qiladi.

Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi hali ham dolzarb ilmiy muammolardan biri hisoblanadi. Nasos tizimlarining matematik modellarini ishlab chiqish, energiya sarfini optimallashtirish hamda optimal boshqaruv strategiyalarini aniqlash irrigatsiya tizimlarining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Shu sababli mazkur tadqiqotda irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini optimallashtirish masalasi matematik modellashtirish hamda dinamik optimallashtirish usullari (Bellman va Pontryagin yondashuvlari) asosida o'rganiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Nasos stansiyasi tizimining umumiy modeli: Irrigatsiya tizimlarida qo'llaniladigan nasos stansiyalari suvni manbadan ma'lum balandlikka ko'tarib sug'orish tarmoqlariga uzatish vazifasini bajaradi. Nasos tizimining ishlash jarayoni gidravlik va energetik jarayonlarning o'zaro bog'liqligiga asoslanadi. Shu sababli tizimni tahlil qilish uchun matematik modellashtirish usullaridan foydalanish zarur.[9,10].

Nasos tizimining asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

- suv sarfi Q
- ko'tarish balandligi H
- gidravlik yo'qotishlar h_f
- nasos quvvati P
- tizim samaradorligi η

Nasos tizimining asosiy vazifasi suvni ma'lum balandlikka ko'tarishdan iborat bo'lib, bu jarayon gidravlik energiya hisobiga amalga oshiriladi.[4].

Nasos quvvatining matematik modeli: Nasos stansiyasining gidravlik quvvati quyidagi formula yordamida aniqlanadi [4,7]:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (1)$$

bu yerda:

- P — nasos quvvati (W)
- ρ — suv zichligi (1000 kg/m^3)
- g — erkin tushish tezlanishi (9.81 m/s^2)
- Q — suv sarfi (m^3/s)
- H — ko'tarish balandligi (m)
- η — nasos samaradorligi

Amaliy misol: Agar: $Q = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, $H = 50 \text{ m}$, $\eta = 0.85$ bo'lsa, nasos quvvati quyidagicha hisoblanadi:

$$P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.9 \times 50}{0.85} \approx 519000 \text{ W yoki } P \approx 519 \text{ kW}$$

Amaliy tizimlarda esa dvigatel quvvati odatda biroz yuqoriroq tanlanadi. Masalan, ko'rib chiqilayotgan tizimda dvigatel quvvati 800 kVt ni tashkil etadi.

Quvurlardagi gidravlik yo'qotishlar

Nasos tizimida energiya sarfining muhim qismi quvurlardagi gidravlik yo'qotishlar bilan bog'liq. Ushbu yo'qotishlar suv oqimining quvur devorlari bilan ishqalanishi natijasida yuzaga keladi. Quvurlardagi bosim



yo'qotishlari Darcy-Weisbach tenglamasi yordamida aniqlanadi [5,6,8]:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

bu yerda:

- f — ishqalanish koeffitsienti
- L — quvur uzunligi
- D — quvur diametri
- v — suv tezligi

Misol

Agar:

$$L = 6000 \text{ m}, D = 1.2 \text{ m}, v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}, f = 0.02 \text{ bo'lsa:}$$

$$h_f = 0.02 \times \frac{6000}{1.2} \times \frac{2^2}{2 \times 9.81} \approx 20.4 \text{ m}$$

Demak quvurda taxminan **20 metr gidravlik yo'qotish yuzaga keladi.**

Nasos tizimining differensial tenglama modeli: Nasos tizimidagi suv harakati vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Shu sababli tizimni dinamik model yordamida ifodalash mumkin..

Rezervuardagi suv hajmi uchun differensial tenglama:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in(t)} - Q_{out(t)} \quad (3)$$

bu yerda:

- $V(t)$ — rezervuardagi suv hajmi
 - Q_{in} — nasos orqali kelayotgan suv
 - Q_{out} — iste'mol qilinayotgan suv
- Agar rezervuar kesim yuzasi A bo'lsa:

$$V = Ah \quad (4)$$

Shunda suv balandligi uchun tenglama:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_{in(t)} - Q_{out(t)} \quad (5)$$

Bu tenglama nasos tizimining dinamik modelini ifodalaydi.

Bellman usuli asosida optimallashtirish: Murakkab dinamik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladigan usullardan biri Dynamic Programming hisoblanadi. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan.

Bellman optimallik prinsipi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$V_i(x) = \min[C(x,u) + V_{i+1}(f(x,u))] \quad (6)$$

bu yerda:

- $V_i(x)$ — optimal qiymat funksiyasi
- $C(x,u)$ — boshqaruv xarajati
- $f(x,u)$ — tizim dinamikasi

Nasos tizimida boshqaruv parametri sifatida nasoslarning ishlash quvvati yoki soni olinadi.

Masalan, agar nasoslar soni 4 ta bo'lsa, har bir bosqichda optimal ishlash rejimi tanlanadi. Bu energiya sarfini kamaytirishga yordam beradi.

Pontryagin maksimal prinsipi: Optimal boshqaruv nazariyasining muhim usullaridan biri Pontryagin Maximum Principle hisoblanadi. Ushbu nazariya L. Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan[2]. Optimal boshqaruv masalasi quyidagicha yoziladi:

$$J = \min \int_0^T P(t) dt \quad (7)$$

bu yerda:

- J — energiya sarfi
- $P(t)$ — vaqt bo'yicha quvvat

Hamilton funksiyasi:

$$H = P(t) + \lambda(t)x(t) \quad (8)$$

Optimal shart:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad (9)$$

Bu shart nasos tizimi uchun optimal boshqaruv strategiyasini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot algoritmi

Mazkur tadqiqot quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

1. Nasos tizimining texnik parametrlarini aniqlash
2. Gidravlik modelni ishlab chiqish
3. Energiya sarfi formulalarini aniqlash
4. Matematik optimallashtirish modelini tuzish
5. Bellman algoritmini qo'llash
6. Pontryagin maksimal prinsipini qo'llash
7. Real irrigatsiya tizimi uchun hisoblashlar o'tkazish

3. Natija va muhommalar

Mazkur tadqiqotda irrigatsiya tizimida qo'llaniladigan ikki bosqichli nasos stansiyasining energiya sarfi matematik modellashirish usullari asosida tahlil qilindi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi nasos stansiyasi tizimi tanlandi. Ushbu tizim orqali suv kanal sathidan yuqori balandlikdagi sug'orish tarmoqlariga uzatiladi.

Tizim ikki bosqichli nasos stansiyasidan iborat bo'lib, birinchi stansiya suvni kanal sathidan yuqoriga ko'taradi, ikkinchi stansiya esa suvni qo'shimcha balandlikka ko'tarib sug'orish tarmoqlariga uzatadi.

Birinchi nasos stansiyasining hisoblari

Birinchi nasos stansiyasining asosiy texnik ko'rsatkichlari quyidagilardan iborat: nasoslar soni — 4 ta, dvigatel quvvati 800 kVt, nasos unumdorligi 900 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, ko'tarish balandligi 50 m. Suv sarfini **SI (Xalqaro birliklar tizimi)** tizimiga o'tkazamiz:

$$Q = 900 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Nasosning gidravlik quvvati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (10)$$

bu yerda:

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, Q = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, H = 50 \text{ m}, \eta = 0.85$$

$$\text{Hisoblaymiz: } P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.9 \times 50}{0.85} \approx 519000 \text{ W}$$

Amaliy tizimda dvigatel quvvati 800 kVt bo'lib, bu qiymat gidravlik yo'qotishlar va zaxira quvvatni hisobga olgan holda tanlangan.

Agar 4 ta nasos bir vaqtning o'zida ishlasa:

$$P_{total} = 4800, P_{total} = 3200 \text{ kW}$$

Ikkinchi nasos stansiyasining hisoblari

Ikkinchi nasos stansiyasining asosiy parametrlari: nasoslar soni 5 ta, dvigatel quvvati 320 kVt, nasos sarfi 700 l/s, ko'tarish balandligi 25 m. Suv sarfini o'tkazamiz:

$$Q = 700 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad Q = 0.7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Nasos quvvati: } P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.7 \times 25}{0.85} \approx 202000 \text{ W yoki } 202 \text{ kW}$$

Amaliy dvigatel quvvati: 320 kW; 5 ta nasos ishlaganda: $P_{total} = 5 \times 320, P_{total} = 1600 \text{ kW}$



Tizimning umumiy energiya sarfi: Ikki nasos stansiyasining umumiy quvvati: $P_{total}=3200+1600$, $P_{total}=4800$ kW. Agar tizim sutkada 24 soat ishlasa, energiya sarfi: $E=P \times t$, $E=4800 \times 24$, $E=115200$ kWh. Demak tizimning sutkalik elektr energiya sarfi **115 200 kWh** ni tashkil etadi.

Bellman usuli asosida optimallashtirish natijalari

Nasos stansiyasining ishlash jarayonini optimallashtirish uchun Dynamic Programming usuli qo'llanildi[1]. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan.

1-jadval

Kun davomida suv talabining o'zgarishi:

vaqt oralig'i	suv talabi (m ³ /s)
0–6 soat	0.4
6–12 soat	0.8
12–18 soat	1.0
18–24 soat	0.6

2-jadval

Optimal nasos sonining aniqlanishi:

vaqt	nasoslar soni	energiya sarfi
0–6	1	4800 kWh
6–12	2	9600 kWh
12–18	3	14400 kWh
18–24	2	9600 kWh

Kunlik optimal energiya sarfi: $E=38400$ kWh

Agar barcha nasoslar doimiy ishlasa: $E=76800$ kWh

Demak optimallashtirish natijasida energiya sarfi deyarli **50% ga kamayadi.**

Natijalar tahlili

Olingan hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki:

- nasos stansiyalarining energiya sarfi yuqori bo'lib, sutkasiga 115 200 kWh ni tashkil etadi;
- gidravlik yo'qotishlar energiya sarfining sezilarli qismini tashkil qiladi;
- optimallashtirish usullarini qo'llash orqali energiya sarfini 20–50% gacha kamaytirish mumkin.

Muhokama

Mazkur tadqiqot irrigatsiya tizimlarida ishlatiladigan nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasiga bag'ishlandi. Irrigatsiya tizimlari qishloq xo'jaligida suv resurslarini samarali taqsimlashda muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, Markaziy Osiyo davlatlarida sug'orish tizimlari katta energiya sarfini talab qiladi. Shu sababli nasos stansiyalarining optimal ishlash rejimini aniqlash muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Tadqiqot davomida ikki bosqichli nasos stansiyasi tizimi matematik modellashirish asosida tahlil qilindi. Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos tizimining asosiy energiya sarfi suvni ko'tarish balandligi hamda quvur liniyalaridagi gidravlik yo'qotishlar bilan bog'liq. Ayniqsa, quvurlarning

uzunligi katta bo'lgan hollarda ishqalanish natijasida yuzaga keladigan bosim yo'qotishlari sezilarli darajada oshadi.

Nasos tizimining ishlash samaradorligini oshirish uchun optimal boshqaruv usullaridan foydalanish zarur. Ushbu tadqiqotda optimallashtirish uchun ikki muhim matematik nazariya qo'llanildi:

- Dynamic Programming
- Pontryagin Maximum Principle

Birinchi usul — dinamik dasturlash usuli bo'lib, u ko'p bosqichli boshqaruv tizimlarida optimal qarorlarni aniqlash imkonini beradi. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan. Dinamik dasturlash prinsipi asosida nasoslarning ishlash rejimini vaqt bo'yicha optimallashtirish mumkin.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, suv sarfi kun davomida o'zgarib turadi. Agar barcha nasoslar doimiy ishlasa, energiya sarfi juda yuqori bo'ladi. Biroq suv talabiga mos ravishda nasoslar sonini boshqarish orqali energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Ikkinchi usul — optimal boshqaruv nazariyasiga asoslangan maksimal prinsip bo'lib, u L. Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan [9]. Ushbu prinsip murakkab dinamik tizimlarda optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash imkonini beradi. Nasos stansiyalarida bu usul yordamida energiya sarfini minimallashtiruvchi optimal ishlash rejimi aniqlanadi.

Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos tizimini optimallashtirish orqali elektr energiya sarfini 20–50% gacha kamaytirish mumkin. Bu esa irrigatsiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Shuningdek, tadqiqot davomida nasos tizimining texnik modernizatsiyasi ham muhim omil ekanligi aniqlanildi. Masalan:

- chastota boshqaruv qurilmalari o'rnatish
- avtomatik boshqaruv tizimlari
- suv sathi sensorlari
- masofaviy monitoring tizimlari

Ushbu texnologiyalar nasos stansiyalarining ishlashini yanada samarali qiladi.

4. Xulosa

Mazkur tadqiqot irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasini matematik modellashirish asosida tahlil qilishga bag'ishlandi. Tadqiqot davomida nasos stansiyalarining gidravlik va energetik parametrlari o'rganildi hamda optimal boshqaruv usullari qo'llanildi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar chiqarildi: Irrigatsiya tizimlarida nasos stansiyalari katta miqdorda elektr energiya sarflaydi. O'rganilgan tizimda sutkalik energiya sarfi 115000 kWh dan ortiqni tashkil etadi. Nasos tizimining energiya sarfi asosan suvni ko'tarish balandligi hamda quvur liniyalaridagi gidravlik yo'qotishlarga bog'liq. Matematik modellashirish nasos tizimining ishlash jarayonini aniq tahlil qilish imkonini beradi. Dinamik optimallashtirish usullari yordamida nasoslarning optimal ishlash rejimini aniqlash mumkin. Dinamik dasturlash algoritmi asosida nasos tizimini boshqarish orqali energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Optimal boshqaruv nazariyasiga asoslangan maksimal prinsip nasos tizimining energiya sarfini minimallashtirish imkonini beradi. Zamonaviy boshqaruv texnologiyalarini joriy etish irrigatsiya tizimlarining samaradorligini oshiradi.



Umuman olganda, matematik optimallashtirish usullarini irrigatsiya nasos stansiyalarida qo'llash katta iqtisodiy va texnik samaradorlik beradi. Ushbu tadqiqot natijalari irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish hamda energiya sarfini kamaytirish bo'yicha muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Bellman, R. (1957). Dynamic Programming. Princeton University Press.
- [2] Pontryagin, L. S., Boltyanskii, V. G., Gamkrelidze, R. V., & Mishchenko, E. F. (1962). The Mathematical Theory of Optimal Processes. Interscience Publishers.
- [3] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Education.
- [4] Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2008). Pump Handbook. McGraw-Hill.
- [5] White, F. M. (2016). Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education.
- [6] Streeter, V. L., & Wylie, E. B. (1998). Fluid Mechanics. McGraw-Hill.
- [7] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.

[8] Chaudhry, M. H. (2014). Applied Hydraulic Transients. Springer.

[9] Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). Sprinkler and Trickle Irrigation. Springer.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Gulyamov Javlon Nurullayevich / Jaylon Gulyamov	Toshkent davlat transport universiteti "Transportda axborot tizimlari vatexnologiyalari" kafedrası dotsenti, t.f.f.d., (PhD), dotsent E-mail:
---	---

javlonbek1207@gmail.com

Tel.: +998935461427

<https://orcid.org/0000-0003-1984-9111>

Toshmamatov Husniddin Hoshimjon o'g'li / Husniddin Toshmamatov	Toshkent davlat transport universiteti "Transportda axborot tizimlari va texnologiyalari" kafedrası tayanch doktaranti E-mail:
---	--

husniddintoshmamatov1017@gmail.com

Tel.: +998772121710



M. Talipov, E. Ergashev

A comprehensive approach to assessing and reducing neuropsychic burden in the work activity of driver examination center employees.....5

Z. Jalolova, N. Abdullaev

Assessment of public transport safety and the technical parameters of lifting and handling equipment.....11

S. Salikhanov, D. Ravshanova

The influence of environmental factors on the performance of reinforced concrete bridge structures.....15

Z. Jalolova, Kh. Vahobov

An analysis of theoretical approaches to ensuring road traffic safety20

KH. Tuychiev, KH. Tuychiev

Development of a technology for producing coarse-grained tungsten carbide powders.....25

J. Gulyamov, H. Toshmamatov

Optimization of energy efficiency in irrigation pumping stations: Mathematical modeling using Bellman and Pontryagin approaches.....29

R. Kiyamov

An improved method for increasing the capacity of branched optical communication networks based on transfer to a single-fiber mode.....35

A. Muratov

Criteria for evaluating the efficiency of freight transportation by road transport and approaches to their optimization.....41

D. Mirzajonov, E. Shchipacheva

Architectural and planning organization of a multifunctional residential complex for sustainable urban planning: using the example of Namangan city.....45

A. Komilov, A. Kuziev

Mathematical modeling of the urban public transport system in Termiz city based on passenger flows and simulation-based timetable improvement.....50