INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL OF BIRUNI
ISSN (E) 2181-2993
Volume 5, Issue 2. (2026)

UO‘K (UDK): 626.82:532.5

ORALIQ KANAL ORQALI BOG‘LANGAN NASOS STANSIYALARIDA AGREGATLARNI ISHGA TUSHIRISH NAVBATINI NOSTATSIONAR OQIM MODELI ASOSIDA ASOSLASH

A.I.Qurbonov
Qarshi davlat texnika universiteti

ANNOTATSIYA

Maqolada M-3-1 va M-3-2 nasos stansiyalarini bog‘lovchi 5 km uzunlikdagi oraliq kanalda agregatlar yoqilganda va to‘xtaganda yuzaga keladigan nostatsionar oqim Sen-Venan tenglamalari bilan modellashtirilgan. M-3-1 da agregat yoqilgandan keyin M-3-2 agregatini yoqishning optimal kechikishi chuqurlik 2,0-3,0 m va g‘adir-budurlik 0,025-0,035 bo‘lganda 17-58 daqiqa ekanligi, uni ikki barqaror sath egri chizig‘i orasidagi hajm bo‘yicha 5 % gacha aniqlikda hisoblash mumkinligi ko‘rsatilgan. Agregatlar bir vaqtda yoqilganda M-3-2 avankamerasidagi sath 0,15-0,51 m ga pasayadi.

Kalit so‘zlar: *nasos stansiyalari kaskadi, oraliq kanal, nostatsionar oqim, Sen-Venan tenglamalari, agregatlarni ishga tushirish, avankamera sathi.*

ОБОСНОВАНИЕ ОЧЕРЁДНОСТИ ПУСКА АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ, СВЯЗАННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ КАНАЛОМ, НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье уравнениями Сен-Венана смоделировано неустановившееся движение в промежуточном канале длиной 5 км между насосными станциями М-3-1 и М-3-2 при пусках и остановках агрегатов. Показано, что оптимальная задержка пуска агрегата на М-3-2 после пуска на М-3-1 при глубине 2,0-3,0 м и шероховатости 0,025-0,035 составляет 17-58 мин и рассчитывается по объёму между двумя установившимися кривыми свободной поверхности с погрешностью до 5 %. При одновременном пуске уровень в аванкамере М-3-2 снижается на 0,15-0,51 м.

Ключевые слова: *каскад насосных станций, промежуточный канал, неустановившееся движение, уравнения Сен-Венана, пуск агрегатов, уровень в аванкамере.*

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL OF BIRUNI
ISSN (E) 2181-2993
Volume 5, Issue 2. (2026)

SCHEDULING UNIT START-UPS AT PUMPING STATIONS LINKED BY AN INTERMEDIATE CANAL USING AN UNSTEADY FLOW MODEL

ABSTRACT

Unsteady flow in the 5 km intermediate canal between the M-3-1 and M-3-2 pumping stations during unit start-ups and shutdowns is modelled with the Saint-Venant equations. For depths of 2.0-3.0 m and roughness of 0.025-0.035, the optimal delay for starting a unit at M-3-2 after a start at M-3-1 is 17-58 min; it can be calculated within 5 % from the volume between two steady water surface profiles. Simultaneous start-up lowers the M-3-2 forebay level by 0.15-0.51 m.

***Keywords**: cascade of pumping stations, intermediate canal, unsteady flow, Saint-Venant equations, unit start-up, forebay level.*

KIRISH

Ketma-ket ishlovchi nasos stansiyalarida birinchi stansiya suvni oraliq kanalga beradi, ikkinchisi shu kanaldan oladi. Agregat yoqilganda sarf birdaniga 8-10 m³/s ga o‘zgaradi va bu o‘zgarish kanal bo‘ylab to‘lqin bo‘lib tarqaladi. Ikkinchi stansiya agregati juda erta yoqilsa, avankamerada sath pasayib, kavitatsiya xavfi ortadi; juda kech yoqilsa, sath ko‘tarilib, birinchi stansiyaning bosimi oshadi [1, 2]. Kanallardagi nostatsionar oqim Sen-Venan tenglamalari [3] bilan tavsiflanadi, ularni yechish usullari V.Casulli [4] ishida, kanallarni boshqarish algoritmlari P.-O.Malaterre [5] va A.Clemmens [6] ishlarida ko‘rib chiqilgan. E.Bautista va A.Clemmens [7] hajmni kompensatsiyalash usulini, G.Belaud va boshqalar [8] kanal byefining javob vaqtini aniqlash usulini taklif etgan. Biroq bu ishlar zatvorli kanallarga tegishli; sarfi pog‘onali o‘zgaradigan nasos stansiyalari kaskadi uchun agregatlarni yoqish navbati asoslanmagan.

Tadqiqotning maqsadi - M-3-1 va M-3-2 stansiyalarini bog‘lovchi oraliq kanaldagi nostatsionar oqim asosida agregatlarni yoqishning xavfsiz navbatini aniqlash.

Tadqiqot metodikasi. Har bir stansiyada sarfi 10 m³/s bo‘lgan oltitadan o‘qli agregat bor. Oraliq kanal uzunligi taxminan 5 km, kesimi trapetsiya: tub kengligi 13 m, qiyalik koeffitsiyenti 2, chuqurligi 1,5-3,0 m; M-3-1 ko‘targan suvning 13,5 % i kanaldan olinadi ($k_t = 0{,}865$) [9]. Oqim Sen-Venan tenglamalari [3] va chegaraviy shartlar bilan tavsiflandi:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = -q, \qquad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{\omega}\right) + g\,\omega\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{g\,n^2\,Q|Q|}{\omega\,R^{4/3}}, \tag{1}$$

$$Q(0,t) = Q_1(t), \qquad Q(L,t) = Q_2(t-\tau), \qquad q = \frac{(1-k_t)Q_1}{L}, \tag{2}$$

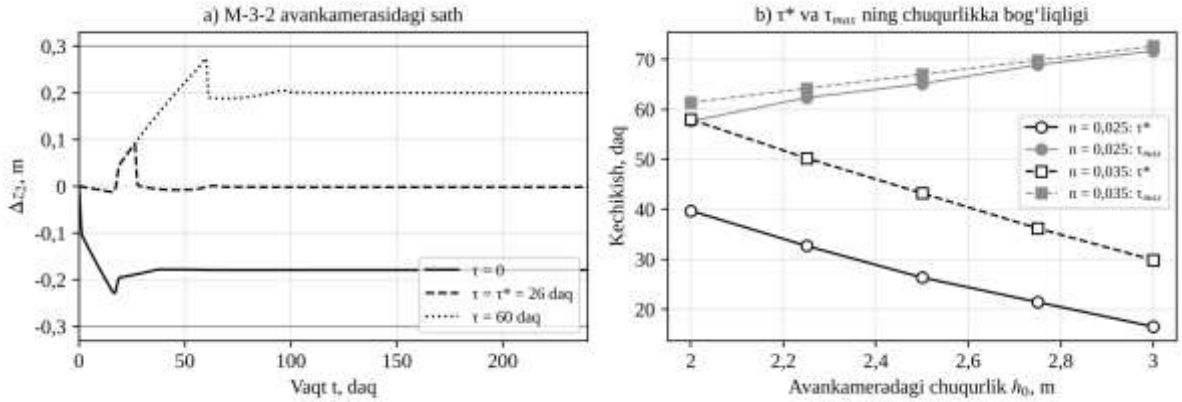
bu yerda: ω - kesim yuzasi, m²; Q - sarf, m³/s; z - sath belgisi, m; q - kanaldan olinadigan solishtirma sarf, m²/s; n - g‘adir-budurlik koeffitsiyenti; R - gidravlik radius, m; τ - M-3-2 agregatini yoqish kechikishi. Tenglamalar V.Casulli [4] ning yarim oshkormas sxemasi bilan yechildi ($\Delta x = 50$ m, $\Delta t = 5$ s). Qadamlar ikki marta kichraytirilganda natija 0,005 m dan kam o‘zgardi; to‘lqinning yetib borish vaqti analitik baho bilan 1 daqiqa farq qildi [10]. Kanal tubi nishabligi $i = 0{,}0001$ qabul qilindi va 0-0,0002 oralig‘ida tekshirildi (loyiha hujjatlari bo‘yicha aniqlashtirilishi lozim).

Hisobiy holat: M-3-1 sarfi 20 dan 30 m³/s gacha oshiriladi, M-3-2 sarfi esa τ kechikish bilan 8,65 m³/s ga oshiriladi. M-3-2 avankamerasidagi chuqurlik $h_0 = 2{,}0$-3,0 m, $n = 0{,}025$ (tozalangan kanal) va 0,035 (o‘simlik bilan qoplangan kanal [10]). Sath chetlanishi $|\Delta z_2| \leq 0{,}3$ m bo‘lishi talab qilindi.

Natijalar va muhokama. Agregatlar bir vaqtda yoqilganda ($\tau = 0$) M-3-2 avankamerasidagi sath 0,23 m ga pasayadi va pastda qoladi, 60 daqiqa kechikishda esa 0,27 m ga ko‘tariladi (1a-rasm). Optimal kechikishda sath chetlanishi 0,1 m dan oshmaydi. Buning sababi: sarf ortganda bosim yo‘qotishi ko‘payib, suv yuzasi qiyaroq bo‘ladi va M-3-2 dagi sath o‘zgarmasligi uchun kanalda qo‘shimcha ΔV hajm to‘planishi kerak. Demak, optimal kechikish:

$$\tau^* = \frac{\Delta V}{k_t \, \Delta Q} = \frac{1}{k_t \, \Delta Q} \int_0^L [\omega_2(x) - \omega_1(x)]\, dx, \qquad (3)$$

bu yerda: ω_1, ω_2 - avvalgi va yangi sarfdagi barqaror sath egri chiziqlari bo‘yicha kesim yuzalari, m². (3) ifoda sonli model natijasidan ko‘pi bilan 5,3 % ga farq qiladi (1-jadval), ya’ni τ^* ni oddiy sath egri chizig‘i hisobi bilan topish mumkin.



1-rasm. Hisob natijalari: a - turli kechikishda M-3-2 avankamerasidagi sath ($h_0 = 2{,}5$ m, $n = 0{,}025$); b - optimal (τ^*) va eng katta ruxsat etilgan (τ_{max}) kechikishning chuqurlikka bog‘liqligi

1-jadval

M-3-2 agregatini yoqish kechikishi (Q_1: 20 → 30 m³/s)

h_0, m	n	Δz_2 ($\tau = 0$), m	Ruxsat etilgan τ, daq	τ^* (model), daq	τ^* (3), daq	Δz_1, m
2,0	0,025	−0,51	13-58	39,7	40,1	0,33
2,5	0,025	−0,23	0-65	26,4	27,1	0,24
3,0	0,025	−0,15	0-72	16,5	17,4	0,15
2,0	0,035	bo‘shaydi	37-61	58,0	57,6	0,41
2,5	0,035	−0,38	7-67	43,2	43,2	0,34
3,0	0,035	−0,20	0-73	29,9	30,2	0,25

Optimal kechikish chuqurlik ortishi bilan kamayadi va kanal o‘simlik bilan qoplanganda ortadi (1b-rasm). Sayoz va o‘simlik bosgan kanalda ruxsat etilgan oraliq 37-61 daqiqagacha torayadi, agregatlar bir vaqtda yoqilsa esa avankamera bo‘shab qoladi. Nishablik 0-0,0002 oralig‘ida o‘zgarganda τ^* ±12 % ga o‘zgaradi. M-3-1 chiqarish havzasidagi sath (Δz_1) 0,15-0,41 m ga ko‘tariladi, bu M-3-1 bosimining 1-3 % i; shuning uchun kanalni o‘simlikdan tozalash agregatlarni yoqish rejimini ham yengillashtiradi.

M-3-2 agregati avariyaviy to‘xtaganda ($Q_1 = 30$ m³/s) avankamerasidagi sath 10-54 daqiqada 0,3 m ga yetadi; M-3-1 agregati darhol to‘xtatilganda ham sath 0,26-0,44 m ga ko‘tariladi. Shu sababli stansiyalar orasida avtomatik blokirovka va ortiqcha hajmni (3) bo‘yicha M-3-1 sarfini vaqtincha kamaytirib chiqarish tavsiya etiladi.

XULOSA

1. M-3-1 va M-3-2 stansiyalarini bog‘lovchi oraliq kanal uchun Sen-Venan tenglamalariga asoslangan nostatsionar oqim modeli tuzildi va tekshirildi.
2. M-3-2 agregatini yoqishning optimal kechikishi chuqurlik 2,0-3,0 m va g‘adir-budurlik 0,025-0,035 bo‘lganda 16,5-58 daqiqa; agregatlar bir vaqtda yoqilganda sath 0,15-0,51 m ga pasayadi, sayoz va o‘simlik bosgan kanalda avankamera bo‘shaydi.
3. Optimal kechikishni ikki barqaror sath egri chizig‘i orasidagi hajm bo‘yicha (3) ifoda bilan 5,3 % gacha aniqlikda hisoblash mumkin; M-3-2 agregati avariyaviy to‘xtashi uchun stansiyalar orasida avtomatik blokirovka zarur.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. - М.: Стройиздат, 1986. - 320 с.

2. Bazarov D.R., Glovatskiy O.Ya., Uralov B.R., Norkulov B.E., Xidirov S.K. Qarshi magistral kanali va nasos stansiyalar kaskadi ekspluatatsiyasi bo‘yicha qo‘llanma. - Toshkent, 2023.
3. Barré de Saint-Venant A.J.C. Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leurs lits // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. - Paris, 1871. - Vol. 73. - P. 147-154.
4. Casulli V. Semi-implicit finite difference methods for the two-dimensional shallow water equations // Journal of Computational Physics. - 1990. - Vol. 86, No. 1. - P. 56-74. DOI: 10.1016/0021-9991(90)90091-E.
5. Malaterre P.-O., Rogers D.C., Schuurmans J. Classification of canal control algorithms // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. - 1998. - Vol. 124, No. 1. - P. 3-10. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1998)124:1(3).
6. Clemmens A.J., Kacerek T.F., Grawitz B., Schuurmans W. Test cases for canal control algorithms // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. - 1998. - Vol. 124, No. 1. - P. 23-30. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1998)124:1(23).
7. Bautista E., Clemmens A.J. Volume compensation method for routing irrigation canal demand changes // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. - 2005. - Vol. 131, No. 6. - P. 494-503. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:6(494).
8. Belaud G., Litrico X., Clemmens A.J. Response time of a canal pool for scheduled water delivery // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. - 2013. - Vol. 139, No. 4. - P. 300-308. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000545.
9. QMK FB nasos stansiyalari pasportlari (M-3-1, M-3-2) va M-nasos stansiyalarining 2016-2025 yillarda ishlatgan elektr energiyasi va chiqargan suvi to‘g‘risida ma’lumot. - QMK FB, 2025.
10. Chow V.T. Open-Channel Hydraulics. - New York: McGraw-Hill, 1959. - 680 p.