



ОПТИМАЛЬНЫЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ КРУПНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ С КАСКАДАМИ НАСОСНЫХ СТАНЦИИ

Сейтов А.Ж. ^{1[0009-0002-8904-5178]}, Жумамуратов Д.К. ^{2[0009-0009-8824-0255]}

¹Национальный университет Узбекистана им.Мирзо Улугбека, доктор
технических наук (DSc.), профессор

²Нукусский горный институт при Навоиском государственном горно-
технологическом университете, PhD., доцент

Аннотация. В статье изучена проблема оптимального управления водными ресурсами крупных магистральных каналов с каскадами насосных станции и использованы методы системного анализа процесса водоподдачи и водозабора, современные методы расчета режимов работы насосных станций с длинными трубопроводами и расчет режимов работы участков канала.

Ключевые слова: управление водораспределением, режимы работы участков канала, уравнение установившегося неравномерного движения воды, морфометрические и гидравлические параметры канала, информационные системы на компьютерной технологии, параметры насосных агрегатов и напорных трубопроводов, вычисления свободной поверхности водного потока.

Annotatsiya. Maqolada nasos stansiyalari kaskadlari bo'lgan yirik magistral kanallarning suv resurslarini optimal boshqarish muammosi o'rganiladi, suv ta'minoti va suv olish jarayonini tizimli tahlil qilish usullari, uzun quvurlar va nasos stansiyalarining ish rejimlarini hisoblashning zamonaviy usullari qo'llaniladi.

Kalit so'zlar: suv taqsimotini boshqarish, kanal uchastkalarining ish rejimlari, suvning barqaror holatdagi notekis harakati tenglamasi, kanalning morfometrik va gidravlik parametrlari, kompyuter texnologiyalariga asoslangan axborot tizimlari, nasos agregatlari va bosim quvurlari parametrlari, suv oqimining erkin yuzasini hisoblash

Annotation. The article studies the problem of optimal management of water resources of large main canals with cascades of pumping stations and uses methods of system analysis of the process of water supply and water intake, modern methods for calculating the operating modes of pumping stations with long pipelines and calculating the operating modes of canal sections

Keywords: mathematical model, unsteady flow of water, main canals, optimal control problems, fundamental solution, differential equations, hydraulic structures.

Введение

В процессе управление водораспределением в основном определяются значения расходов воды, устанавливаемые для потребителей каналов систем машинного водоподъема в течение декады соответствующего периода и на основе решения задачи расчета стока и расходов воды. Заявки на головные водозаборы и участки каналов на декаду определяют режимы работы участков канала, реализующие заявки потребителей в расходах. Выбор режимов работы участков канала осуществляется из условия, что все боковые водозаборы гарантированно получают плановые расходы водных ресурсов при минимальных потерях воды на фильтрацию и испарение. Боковые отводы гарантированно получают расходы воды в том случае, если у них имеются соответствующие напоры воды перед сооружением. Эти необходимые напоры определяют значения уровней воды на участках канала, которые определяются в процессе водораспределения.

Основная часть



Рассмотрим постановку задачи расчета режимов работы участков канала для оперативного управления водораспределением. Рассчитанные плановые (лимитированные) расходы в начале участков, водовыпусков и конце канала, должны быть реализованы на каждом участке канала.

Поэтому мы используем уравнение установившегося неравномерного движения воды на участках канала. Режимы работы участков канала определяются на основе заданных расходов воды боковых отводов и уровня воды в концевых створах участков канала, т.е. уровней воды верхнего бьефа перегораживающих сооружений и эти режимы считаются постоянными в течение декады.

Задачу рассмотрим на примере одного участка магистрального канала.

Исходя из условия, что переменные параметры остаются постоянными в течение времени, т.е. в уравнения (1) – (2) частные производные по времени равно нулю и учитывая, что русло канала призматическое, получим следующую систему уравнений для неравномерного движения воды на участке канала

$$\frac{dQ}{dx} = q, \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) = -g\omega \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + F, \quad (2)$$

Боковые оттоки и притоки бывают сосредоточенными или распределенными. В качестве сосредоточенных притоков и оттоков рассматриваются боковые водовыпускные сооружения или сосредоточенные притоки, а распределенных оттоков - потери на фильтрацию и испарение.

Боковые притоки и оттоки задаются следующим образом

$$q(x, h) = q_f(x, h) + q_i(x, h) - \sum_{n=1}^N q_n(h_a) \delta(x - a_n), \quad (3)$$

где $q_f(x, h)$, $q_i(x, h)$ – интенсивности потерь на фильтрации и испарение, $q_n(h_a)$ – расход воды n -ного бокового водовыпуска, $\delta(x - a_n)$ – дельта-функция, характеризующая место расположение отвода водопотребителей по длине канала, a_n – расстояния до n -ного бокового водовыпуска.

В качестве начальных условий задается расход и уровень воды на конце участков канала

$$Q(l) = Q_k, \quad h(l) = h_k. \quad (4)$$

В створе канала, где расположены боковые водовыпуски, задаются соответствующие ограничения на уровни воды, которые обеспечивают заданные расходы следующим образом

$$h(a_n) \geq h_{an}^*, \quad n = 1, \dots, N, \quad (5)$$

где h_{an}^* - значение уровня необходимое для подачи расхода воды на водовыпуск. Задача определение режимов работы участка канала при наличии подпора с нижнего перегораживающего сооружения сводится к определению такого значения уровня воды в конце участка канала h_k , которое минимизировало бы потери на фильтрацию и испарение на участке канала. При этом уровни воды в створах канала, где расположены боковые водовыпуски, удовлетворяют ограничениям на напор воды перед водовыпускным сооружением и боковыми водовыпусками.

Критерий минимизация потерь на испарение и фильтрацию записывается следующим образом



$$I = \min_{h_k} \int_0^l [q_f(x, h) + q_i(x, h)] dx \quad (6)$$

Режимы работы участка канала записываются уравнениями (1) – (5).

Ограничения на реализацию заданных лимитов по боковым и конечным водопотребителям записываются в виде

$$\begin{aligned} Q(l) &= Q_{кл}, & q_n(h) &= q_{нкл}, \\ h(a_n) &\geq h_{ан}^*, & n &= 1, \dots, N, \end{aligned} \quad (6)$$

Для решение сформулированной задачи основным моментом является расчет свободной поверхности воды на участке канала с боковыми водозаборами.

В настоящее время имеются различные методики расчета кривой свободной поверхности неравномерного движения водного потока, основанные на интегрирование дифференциального уравнения неравномерного движения воды на открытых русла без боковых оттоков и притоков.

Эти методики основаны на использования графических зависимостей или табличных функции и неприспособлены для применения в современных компьютерах.

В настоящей работе приводится численный алгоритм расчета кривой свободной поверхности неравномерного движения водного потока на открытых руслах с боковыми оттоками и притоками, основанных на интегрирования дифференциального уравнения неравномерного движения воды с помощью конечноразностного метода и метода квазилинеаризации для аппроксимации нелинейных зависимостей.

Учитывая, что функции $P(x, h)$ и $\omega(x, h)$ являются функциями переменных x и h , второе уравнение можно записать так

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial h} \frac{dh}{dx} + \frac{2Q\omega}{\omega^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{d\omega}{dx} = -g\omega \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + F, \quad (7)$$

После несложных алгебраических преобразований и, учитывая (7), получим следующее уравнение

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial h} \frac{dh}{dx} + \frac{2Qq}{\omega} + \frac{Q^2}{\omega^2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial h} \frac{dh}{dx} \right) = -g\omega \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + F. \quad (8)$$

После несложных преобразований окончательно имеем

$$\left(\frac{\partial P}{\partial h} + \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial h} \right) \frac{dh}{dx} = -g\omega \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + F - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{2Qq}{\omega} - \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial x}. \quad (8)$$

Разбиваем участок канала, имеющую длину L , на отдельные участки относительно малой длины равной l_m . При этом каждый выделенный участок канала длиной l_m рассматриваем по отдельности, идя вверх по течению: сперва рассчитываем I участок, затем II и т.д. Расчет каждого участка состоит в определении глубины h_m и расхода и Q_m потока в начале данного участка, по известным величинам l_m и h_{m+1}

Предположим, что заданы русло канала, расход Q , глубина воды h_n , например, в конце канала в сечении $(N-N)$ и гидравлические параметры участка (рис. 1).

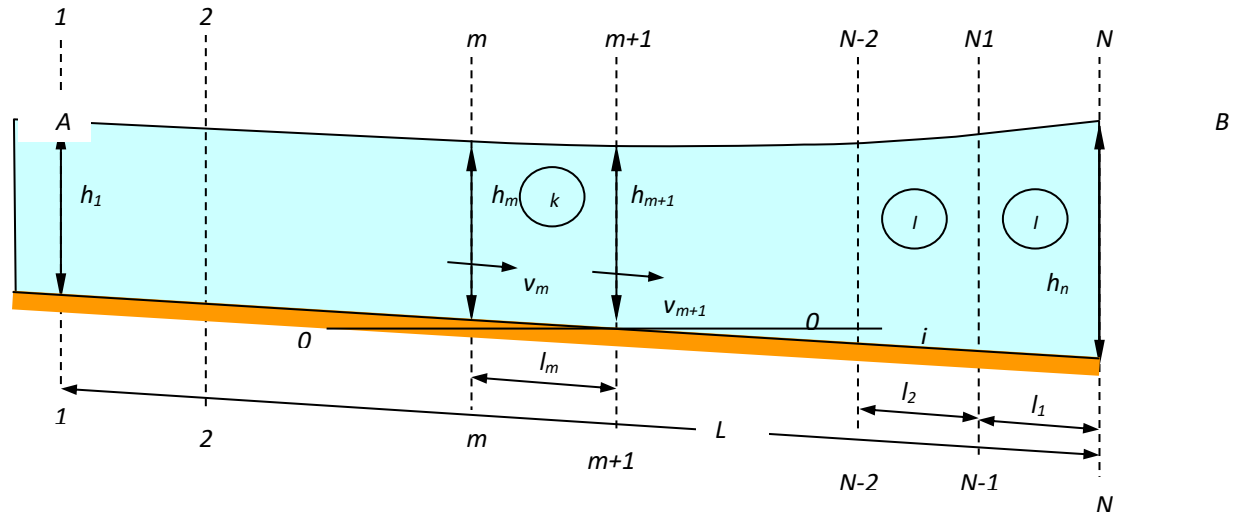


Рис. 1. Схема участка магистрального канала.

Применяя конечно-разностные методы для уравнений (1) и (2), получим следующие разностные уравнения

$$\frac{Q_{m+1} - Q_m}{l_m} = q_m, \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial h} + \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial h} \right)_{m+1} \frac{h_{m+1} - h_m}{l_m} = -g \omega_{m+1} \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right)_{m+1} + \left[F - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{2Qq}{\omega} - \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial x} \right]_{m+1}, \quad (10)$$

Здесь $(\cdot)_{m+1}$ – означает, что соответствующее выражение вычисляется по известным значением Q_{m+1} и h_{m+1} и соответствует к малым участкам с номером $m+1$.

Расчет ведется с конечного участка канала к началу, т. е. неизвестными величинами являются Q_m и h_m , которые рассчитываются по формулам (9) и (10), т.е. рекуррентно определяются расход Q_m и глубина h_m на граничных сечениях $(N-1), (N-1), \dots, (2), (1)$.

$$Q_m = Q_{m+1} + q_m l_m, \quad (11)$$

$$h_m = h_{m+1} + \frac{\left[-g \omega_{m+1} \left(\frac{dz_0}{dx} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right)_{m+1} + \left[F - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{2Qq}{\omega} - \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial x} \right]_{m+1} \right]}{\left(\frac{\partial P}{\partial h} + \frac{Q^2}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial h} \right)_{m+1}} l_m, \quad (12)$$

где $(\cdot)_m$ и $(\cdot)_{m+1}$ – параметры для сечения m и $m+1$, l_m – шаг по длине.

Основной эмпирической переменной в зависимостях (12) и (13) является модуль расхода участка канала. В численных расчетах для вычисления свободной поверхности водного потока используется приближенная формула

$$\bar{K} = \frac{1}{2} (K(x_{m+1}, h_{m+1}) + K(x_{m+1}, h_{m+1} + l_m K(x_{m+1}, h_{m+1}))). \quad (13)$$



Вычисления на компьютере по выражениям (12), (13) нами реализованы в виде программных модулей для расчета кривой свободной поверхности водного потока. Алгоритм определения режимов с разными значениями уровня воды на конце участка канала при известных значениях расходов воды на конце и боковых водопотребителей, рассчитываем кривые свободной поверхности водного потока для соответствующих значений уровней. Далее по кривой свободной поверхности проверяются условия выполнения ограничения на напор перед водовыпусками и выбирается такое значение уровня воды на конце канала, при котором выполнялись бы все ограничения на напоры водовыпусков и были минимальными значения суммарной потери на испарение и фильтрацию в участке канала. Описанный алгоритм реализован в виде программного модуля расчета параметров участка канала. Исходными данными для расчета являются морфометрические и гидравлические параметры канала, координаты точек в которых должны быть рассчитаны значение уровней, диапазоны изменения расходов потока по каналу и горизонтов воды в конечном створе участка, для которых производятся расчеты установившихся режимов. Результаты расчета установившихся режимов для первого участка канала ПК 239+41 при изменении глубин воды в верхнем бьефе сооружения на ПК 239+41 от 5,25 м до 6,5 м с шагом 0,25 м и расходов воды от 5 до 75 м³/с приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Объем воды (млн. м³) в первом участке канала и ПК 239+41

Расход воды (м ³ /с)	Глубина воды в конце канала (м)					
	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50
5,00	3,341	3,608	3,883	4,160	4,462	4,764
10,00	3,345	3,611	3,886	4,170	4,464	4,766
15,00	3,351	3,616	3,890	4,174	4,467	4,769
20,00	3,359	3,623	3,896	4,179	4,471	4,773
25,00	3,369	3,632	3,904	4,186	4,477	4,778
30,00	3,382	3,643	3,913	4,194	4,484	4,784
35,00	3,397	3,655	3,924	4,203	4,462	4,791
40,00	3,414	3,670	3,936	4,214	4,501	4,799
45,00	3,433	3,686	3,950	4,226	4,512	4,808
50,00	3,454	3,704	3,966	4,239	4,523	4,818
55,00	3,476	3,723	3,983	4,254	4,536	4,829
60,00	3,500	3,744	4,001	4,270	5,550	4,841
65,00	3,526	3,767	4,020	4,187	4,565	4,854
70,00	3,553	3,790	4,041	4,305	4,581	4,868
75,00	3,581	4,041	4,063	4,324	4,598	4,883

Таблица 2.

Глубина воды в начале первого участка канала и ПК 239+41

Расход воды (м ³ /с)	Глубина воды в конце канала (м)					
	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50
5,00	4,058	4,307	4,557	4,807	5,056	5,306
10,00	4,066	4,314	4,562	4,811	5,060	5,309
15,00	4,080	4,325	4,572	4,819	5,066	5,315



20,00	4,100	4,341	4,585	4,829	5,075	5,322
25,00	4,124	4,361	4,601	4,843	5,087	5,343
30,00	4,153	4,385	4,621	4,859	5,100	5,356
35,00	4,186	4,412	4,644	4,878	5,116	5,372
40,00	4,224	4,444	4,669	4,900	5,134	5,356
45,00	4,265	4,478	4,698	4,924	5,155	5,372
50,00	4,309	4,515	4,730	4,951	5,177	5,389
55,00	4,356	4,555	4,763	4,790	5,202	5,408
60,00	4,406	4,598	4,800	5,010	5,228	5,429
65,00	4,458	4,642	4,838	5,046	5,256	5,451
70,00	4,511	4,668	4,878	5,077	5,285	5,501
75,00	4,566	4,737	4,920	5,112	5,317	5,528

Заключение

В результате проведенных исследований уточнена методика расчета режимов работы объектов системы машинного водоподъема для орошения - каскада насосных станций:

- проанализированы режимы водозабора и водоподачи каскада насосных станций;
- определены и уточнены параметры насосных агрегатов и напорных трубопроводов;
- уточнена методика расчета режимов водозабора и водоподачи насосных станций, основанная на теоретико-множественном подходе;
- разработаны алгоритмы расчета плановых потребностей водных ресурсов сельскохозяйственными культурами по районам и по каналам каскада насосных станций на вегетацию;
- уточнена методика расчета установившихся режимов работы участков каналов каскада.

Эффективность работы заключается в необходимости оснащения объектов систем машинного водоподъема для орошения современными информационными системами на компьютерной технологии, обеспечивающие повышение качества управления водораспределением, улучшение процесса принятия решения о водоподачи и водораспределении в ирригационной системе.

Список использованных литератур:

- [1]. А.Ж. Сейтов А.Р., Кутлимурадов Р.Н., Тураев Э.М., Махкамов Б.Р. Хонимкулов. Оптимальные управления водных ресурсов крупных магистральных каналов с каскадом насосных станций ирригационных систем. Academic research in educational sciences volume 2 | issue 2 | 2021 ISSN: 2181-1385 Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723 DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193. Стр. 265-273.
- [2]. A.A. Kудайbergenov A.J. Seytov, A.R. Kutlimuradov, R.N. Turaev, N.K. Muradov. Mathematical model of optimal control of the supply canal to the first pumping station of the cascade of the Karshi main canal. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Т. 8 № 3 pp. 16790-16797.



- [3]. A.J.Seytov, A.J. Khurramov, S.N.Azimkulov, M.R.Sherbaev, A.A.Kudaybergenov. S.Kh.Khasanova. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. T. 8 №2 ISSN: 2350-0328. Pp. 17177-17185.
- [4]. Ш. Х. Рахимов, А. Ж. Сейтов, М. Р. Шербаев, Д. К. Жумамуратов, Ф. Ж. Дусиёров. Структура базы данных и программные модули для моделирования управления водными ресурсами каскада насосных станций каршинского магистрального канала. Мелиорация 2019 3(89) стр. 85-91. (№5, web of science IF=0.144)
- [5]. Д. Жумамуратов Йирик магистрал каналлар учун сувдан фойдаланиш режасини тузиш алгоритми. Agtoilm –Ташкент, 2009-№1, С.60-61.
- [6]. Sh.Kh.Rakhimov, A.J. Seytov, A.A. Kudaybergenov, Optimal control of unsteady water movement in the main canals. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 4 , April 2020, India, ISSN: 2350-0328, pp. 13380-13391. (№ 6, Web of science, IF=3,98).
- [7]. Ш.Рахимов, И. Бегимов, Д.Жумамуратов. Совершенствование водораспределения в крупных магистральных каналах низовья реки Амударьи. Доклады Академии Наук Республики Узбекистан- Ташкент, 2008.-№3. Стр. 59-61.
- [8]. Ш.Рахимов, И. Бегимов, Д.Жумамуратов. Ирригация тизимларининг хавза бошкармалари (ИТХБ) сув ресурсларини бошқариш учун маълумотлар базаси. Патент Республики Узбекистан №BGU 00119 -Ташкент, 2008 г.
- [9]. Бегимов И., Жумамуратов Д. Численный алгоритм расчета кривой свободной поверхности неравномерного движения водного потока //Проблемы мелиорации орошаемых земель; водообеспеченность и эффективное использование: Тез. докл. Межд. науч. конф. – Шымкент, 2006. – С. 164–166.
- [10]. Ш.Х Рахимов, А.Ж.Сейтов, М.Р. Шербаев, Д. К. Жумамуратов Н.К. Рахимова Алгоритмы решения задач процесса водоподачи крупных насосных станций с водохранилищами сезонного регулирования. Проблемы информатики и энергетики, №5, 2019, С. 28-37.
- [11]. Sh. Kh. Rakhimov , A. J. Seytov , D.K. Jumamuratov, N. K. Rakhimova Optimal Control Of Water Distribution In A Typical Element Of A Cascade Of Structures Of A Machine Canal Pump Station, Hydraulic Structure And Pump Station. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249–6890; ISSN (E): 2249–8001 Vol. 10, Issue 3, Jun 2020, 11103-11120, <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1599215319-IJMPERDJUN20201065.pdf>
- [12]. D.Jumamuratov. EFFECTIVE USE OF IRRIGATED LANDS OF THE REPUBLIC OF KARAKALPAKSTAN. «Наука и образование: проблемы и тенденции развития» Россия, г. Уфа, 29-30 декабря 2019 г. С.73-75
- [13]. A.Gadaev, D.Jumamuratov. Urgent central asian water challenge: sustainable water resources management. Science and Education in Karakalpakstan №2 (14) 2020, 70 pag., <https://karsu.uz/kk/journal-2020-2/>