

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В КРУПНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛАХ С КАСКАДАМИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Патмиев Ф.М.

Чирчикское высшее танковое командно-инженерное училище

Юсупов М.Р.

Чирчикский государственный педагогический университет, Чирчик

Аннотация. В статье разработаны математических моделей неустановившегося течения воды в крупных магистральных каналах с каскадами насосных станций, учитывающих современные режимы эксплуатации режимы работы насосных станций и других крупных магистральных каналов между насосными станциями каскада Каршинского магистрального канала

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

Annotatsiya. Maqolada Qarshi magistral kanal kaskadining nasos stansiyalari orasidagi zamonaviy ish rejimlari, nasos stansiyalari va boshqa yirik magistral kanallarning ish rejimlarini hisobga olgan holda nasos stansiyalari kaskadli yirik magistral kanallarda beqaror suv oqimining matematik modellari ishlab chiqilgan.

Kalit soʻzlar: matematik model, suvning beqaror oqimi, magistral kanallar, optimal boshqarish masalalari, fundamental yechim, differensial tenglamalar, gidrotexnik inshootlar.

Abstract. The article developed mathematical models of unsteady water flow in large main canals with cascades of pumping stations, taking into account modern operating modes, operating modes of pumping stations and other large main canals between pumping stations of the Karshi main canal cascade

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

Введение. В мире уделяется большое внимание на разработку критериев, математических моделей, методов и алгоритмов оптимального управления водными ресурсами магистральных каналов и других водохозяйственных объектов, с использованием современных информационных систем. В этом направлении также и в других странах мира, где развита водное хозяйство и ирригация, одной из необходимых задач является разработка оптимального управления водными крупными магистральных каналов с каскадами насосных станций, которое осуществлено на примере Каршинского магистрального канала с каскадом насосных станций. Это осуществлено на основе критериев и методов

оптимального управления, математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих экономию водных ресурсов.

При решении поставленных задач исследований использовались методы теории оптимального управления сложными системами, разработки математических моделей и их моделирования в современных условиях эксплуатации.

Поэтому решение проблемы доставки воды к потребителям в настоящее время является востребованной и ее актуальность заключается в повышении надёжности и точности водообеспеченности за счет оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем по заданным критериям, что обеспечит уменьшение непроизводительных потерь водных ресурсов в каналах, что имеет большое народнохозяйственное значение для республики.

Развитие компьютеризации во всем мире, а в последние годы в государствах Центральной Азии, дает возможность использования ее для моделирования и управления водными ресурсами во всех водохозяйственных системах и объектах, к которым относятся участки рек, водохранилища и каналы (самотечные и с системами машинного водоподъема). Используя компьютер, можно имитировать поведение отдельных водохозяйственных объектов, их взаимодействие с учетом всех влияющих факторов в условиях близких к реальным, в процессе их функционирования.

Materials and Methods

Результаты исследования современные режимы эксплуатации объектов каскада насосных станций Каршинского магистрального канала; математические модели оптимального управления каналов между насосными станциями; современные режимы работы насосных станций каскада Каршинского магистрального канала и результаты анализа региональных условий эксплуатации основных сооружений насосных станций; математические модели оптимального управления современных режимов эксплуатации каналов между насосных станций каскада Каршинского магистрального канала.

1. Канал от НС-1 начинается с ПК-204+57 и доходит до НС-2 (ПК-411+19) длиной 20,7 км. В правом берегу канала имеется 18 водозаборов, из которых забирается $4,65\text{ m}^3/\text{s}$ воды, в левом берегу имеется 7 водозаборов, из которых забирается $4,8\text{ m}^3/\text{s}$, всего 25 водозаборов на расход $9,45\text{ m}^3/\text{s}$. Схема канала приведена на рис. 1.

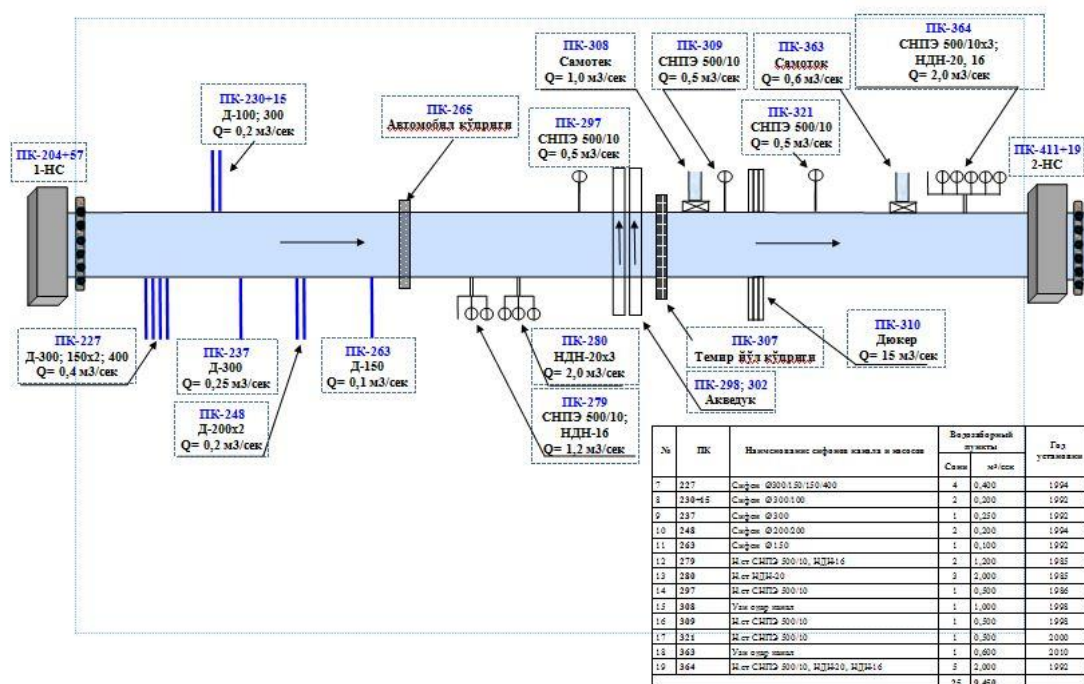


Рис.1. Схема бетонного канала между НС-1 и НС-2

4. Канал от НС-4 начинается с ПК 624+95 и доходит до НС-5 (ПК-677+23) длиной 4,7km . В правом берегу канала имеется 8 водозаборов, из которых забирается 1,1m³/s воды, в левом берегу имеется 9 водозаборов, из которых забирается 1,7m³/s воды, всего 17 водозаборов на расход 2,8m³/s . На этом участке канала расположен водозабор в канал Миришкор с расходом 100m³/s . Схема канала приведена на рис. 2.

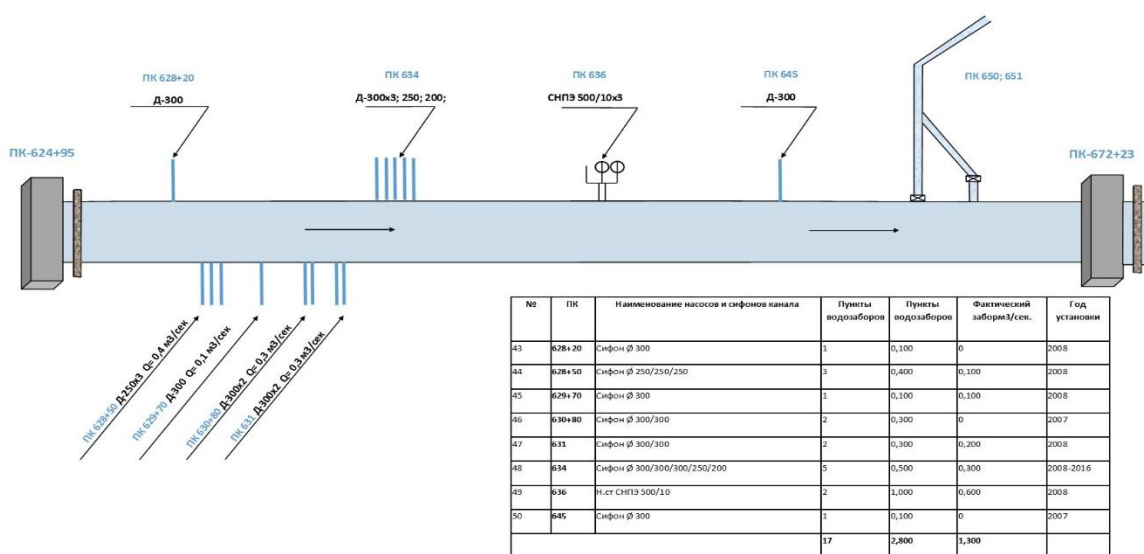


Рис. 2. Схема бетонного канала между НС- 4 и НС – 5.

Состояние каналов между НС каскада КМК характеризуется неустановившимся движением воды и описывается системой дифференциальных уравнений Сен-Венана в форме законов сохранения энергии [1,2,3].

$$\begin{aligned}
 & B_i \frac{\partial z_i}{\partial t} + \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} = q_i, \\
 & \frac{1}{g \omega_i} \left(\frac{\partial Q_i}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} \right) + \left[1 - \left(\frac{v_i}{c_i} \right)^2 \right] \frac{\partial z_i}{\partial x_i} = \\
 & = \left[i_i + \frac{1}{B_i} \left(\frac{\partial \omega_i}{\partial x_i} \right)_{h_i = \text{const}} \right] \left(\frac{v_i}{c_i} \right)^2 - \frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2} \\
 & i = \overline{1,10}, \quad 0 < x_i < l_i, \quad t > t_0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $v_i = \frac{Q_i}{\omega_i}$, $c_i = \sqrt{\frac{g \omega_i}{B_i}}$; $Q_i = Q_i(x_i, t)$ - расход воды; $z_i = z_i(x_i, t)$ - ордината свободной поверхности; g - гравитационная постоянная; i_i - уклон дна; B_i - ширина потока по поверхности живого сечения; $\omega_i = \omega_i(z_i)$ - площадь живого сечения потока; $c_i = c_i(z_i)$ - скорость распространения малых волн; $q_i = q_i(x_i, t)$ - боковые оттоки участков канала; $K_i = K_i(z_i)$ - модуль расхода.

Водозаборы на участках каналов являются сосредоточенными оттоками в точках водозабора.

Путевой отток для участков канала записывается следующим образом:

$$q_i(x_i, t) = 0 \text{ при } i = \overline{1, N}$$

$$\begin{aligned}
 q_2(x_2, t) &= f_1(z_2(a_1, t), z_d(t), s_1(t)) \delta(x_2 - a_1) \\
 q_3(x_3, t) &= f_2(z_3(a_2, t), z_m(t), s_2(t)) \delta(x_3 - a_2)
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $\delta(x)$ - дельта-функция Дирака; f_1, f_2 - интенсивность водного потока, поступающая в каналы Дустлик и Миришкор; z_d, z_m - ординаты свободной поверхности водного потока ниже бьефа головного сооружения этих каналов; s_1, s_2 - площади открытий отверстий затворов головных сооружений каналов; a_1, a_2 - расстояния от начала участка канала до головных сооружений.

Функции ω_k, B_k и $z_{ок}$ определяются из морфометрических характеристик участков канала и зависят от x и z .

Дифференциальные уравнения в частных производных гиперболического типа в системе (1) есть уравнения сохранения массы и импульса потока и представляют собой математическую модель

неустановившегося движения воды каналов между насосными станциями каскада Каршинского магистрального канала

В качестве функций, определяющих течение, потока воды здесь выбраны расход воды $Q_i(x_i, t)$ и ордината свободной поверхности $z_i(x_i, t)$. Независимыми переменными являются продольная координата x_i и время t . Русло канала задаётся ординатой дна $z_{0i}(x_i)$ и шириной его поперечного сечения $B_i(x_i, t)$ на расстоянии z_i (по вертикали) от дна русла.

Тогда:

- глубина потока: $h_i(x_i, t) = z_i(x_i, t) - z_{0i}(x_i)$
- ;
- площадь поперечного сечения потока: $\omega_i(x_i, h_i) = \int_0^{h_i} B_i(x_i, z_i) dz_i$;
- средняя скорость течения: $v_i = \frac{Q_i}{\omega_i}$;
- скорость распространения малых волн: $c_i = \sqrt{\frac{g\omega_i}{B_i}}$;
- уклон дна: $i_i = -\frac{dz_{0i}}{dx_i}$; $i = \overline{1, 5}$

Модуль расхода $K_i(x_i, z_i)$ характеризует величину сил трения и определяется по формуле

$$K_i = \omega_i \cdot C_i \sqrt{R_i}, \tag{3}$$

где R_i - гидравлический радиус русла; ω_i – площадь живого сечения русла; C_i – коэффициент Шези.

Для определения коэффициента Шези существует целая серия эмпирических формул. В качестве одной из них может быть принята известная формула Павловского

$$C_i = \frac{1}{n_i} R_i^{y_i}, \quad y_i = 2,5\sqrt{n_i} - 0,13 - 0,75\sqrt{R_i} (\sqrt{n_i} - 0,1), \tag{4}$$

где n – коэффициент шероховатости дна каналов.

Results and Discussions. Расчёты отдельных задач оптимального управления режимами эксплуатации каналов и каскада насосных станций Каршинского магистрального канала проведены с использованием данного разработанного программного комплекса на языке Python.

1. Участок Каршинского магистрального канала между 1-насосной станций и 2-насосной станций. Длина канала – 20,7 км, ширина дна – 7 м, коэффициент шероховатости – 0,0170, коэффициент откоса - 3, уклон – 0,00015.

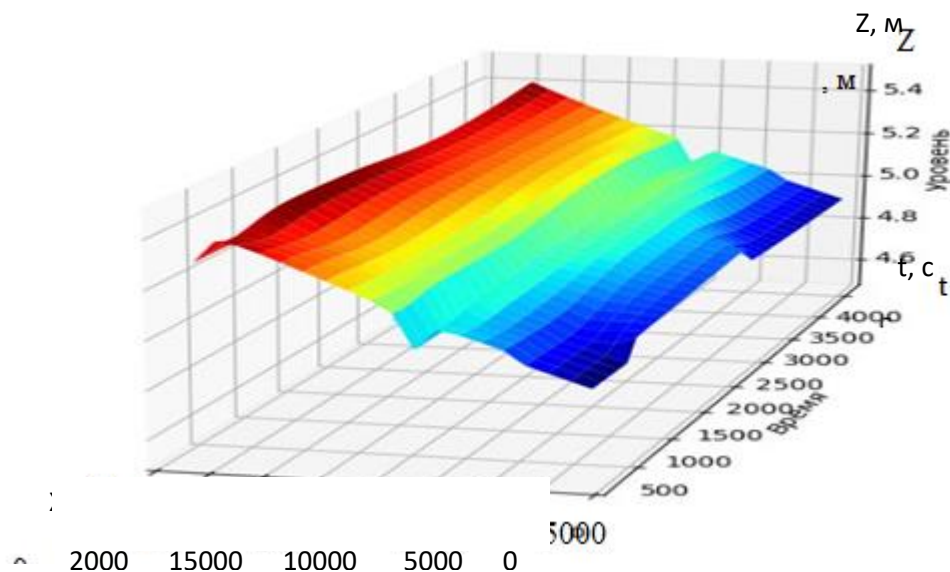


Рис. 3. Изменение уровня воды во времени и по длине участка Каршинского магистрального канала между 1-насосной станций и 2-насосной станций

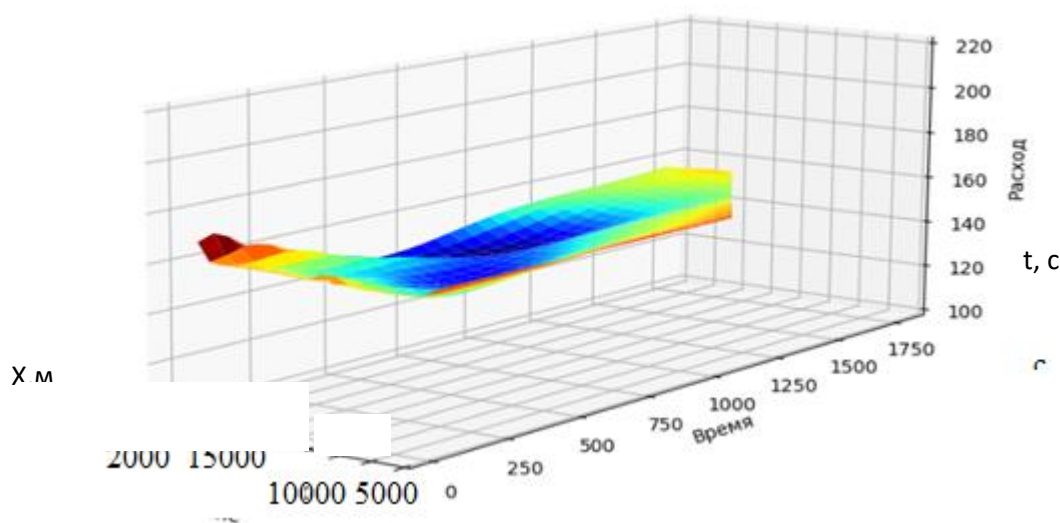


Рис.4. Изменение расхода воды во времени и по длине участка Каршинского магистрального канала между 1-насосной станций и 2-насосной станций.

На рис. 3, 4, приведены результаты численных экспериментов по определению изменения уровня и расхода воды на участке **Каршинского магистрального канала между 1-насосной станций и 2-насосной станций**.

Из рисунков видно, что, после пуска насосных агрегатов 1-насосной станций увеличенный расход в начале участка канала позволяет повысить уровень воды по длине указанного участка канала между 1-насосной станций и 2-насосной станций. В течение $t = 24615s$ ($6,84h$) уровень воды в конце участка канала увеличивается на 1,6 м.

Полученные результаты численных экспериментов показывают, что уровень и расход воды в конце участка канала стабилизируется, что необходимо для находящегося там НС-2.

2. Участка канала между 4-насосной станций и 5-насосной станций. Длина канала – 4,5 км, ширина дна – 7 м, коэффициент шероховости – 0,0170, коэффициент откоса - 3, уклон – 0,00015.

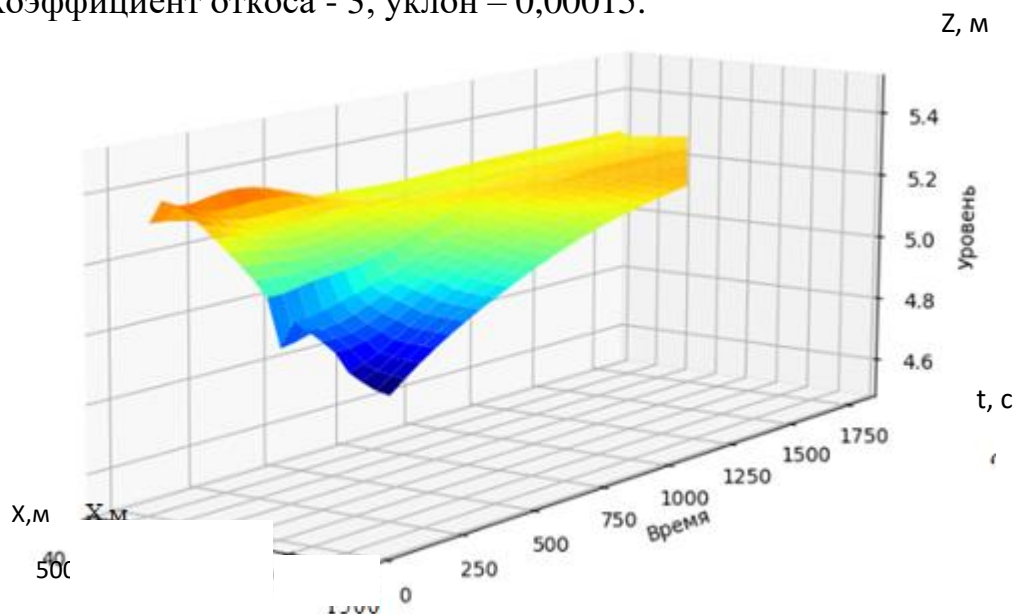


Рис. 5. Изменение уровня воды во времени и по длине участка Каршинского магистрального канала между 4-насосной станций и 5-насосной станций.

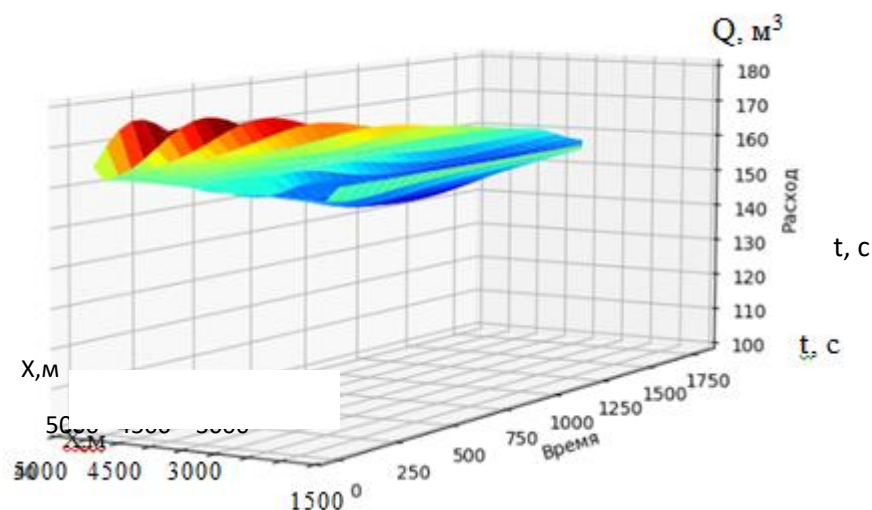


Рис.6. Изменение расхода воды во времени и по длине участка Каршинского магистрального канала между 4-насосной станций и 5-насосной станций.

На рис. 5, 6 приведены результаты численных экспериментов по определению изменения уровня и расхода воды на участке КМК между 4-насосной станций и 5-насосной станций.

Из рисунков видно, что, после пуска насосных агрегатов на 4-насосной станций увеличенный расход в начале участка канала позволяет повысить уровень воды по длине указанного участка Каршинского магистрального канала между 4-насосной станций и 5-насосной станций. В течение $t = 12444s$ ($3,46h$) уровень воды в конце участка канала увеличивается на 1,8 м.

Полученные результаты численных экспериментов показывают, что уровень и расход воды в конце участка канала стабилизируется, что необходимо для находящегося там пятая насосная станция. Сравнение результатов численных экспериментов и натуральных исследований, проведённых в этих участках Каршинского магистрального канала показывает, что параметры расхода и уровня воды в них отличаются незначительно, их погрешность составляет не более 3-5%.

Это подтверждает, что разработанные нами модель, алгоритмы и современный программный комплекс на языке Python решения задач оптимального управления водных ресурсов Каршинского магистрального канала с каскадом насосных станций, работоспособен и может быть использован в аналогичных объектах отрасли водного хозяйства республики. [10,11,12].

Область применения результатов исследований в каскадах эксплуатирующийся крупных магистральных каналов с каскадом насосных станций Республики Узбекистан

Практическая значимость: результаты работы в виде математических моделей оптимального управления объектами каскада насосных станций Каршинского магистрального канала обеспечат повышение уровня их эксплуатации за счет компьютеризации, а также улучшение эксплуатации объектов каскада насосных станций за счет уменьшения непроизводительных потерь водных ресурсов в каналах и электроэнергии на водоподъем в насосные станции.

Conclusion. На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

Разработаны математические модели оптимального управления каналов между насосными станциями каскада Каршинского магистрального канала, учитывающие современные их параметры и режимы эксплуатации этих каналов.

Разработаны математические модели оптимального управления современных режимов работы насосных станций каскада Каршинского магистрального канала, учитывающие необходимые параметры объектов и оборудования насосных станций.

Приведены результаты расчетов задач оптимального управления режимами эксплуатации каналов и насосных станций Каршинского магистрального канала, из которых видно, что полученные изменения изображений переходных процессов потока воды на участке канала, в этом

случае уровни или расходы воды, можно рассматривать в динамике их изменения в виде анимации по расстоянию и во времени

Acknowledgement. Данная статья написана по материалам прикладного проекта ҚХ-А-ҚХ-2018-279 –«Совершенствование режимов эксплуатации каскадов крупных насосных станций использованием современных методов управления и нового оборудования, уменьшающее потери водных и энергетических ресурсов» в 2018-2020 гг. согласно приоритетных направлений развития народного хозяйства республики ПФИ – 5 «Биология, биотехника, почвоведение, водные проблемы, вопросы генетики, селекций растений и животных». При подготовке рукописи к печати авторы учли весьма ценные замечания и пожелания рецензентов – докторов технических наук, профессоров научного исследовательского института ирригации и водных проблем, за которые авторы приносят им свою глубокую признательность.

References

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 29 apreldagi PF-5712-son “O‘zbekiston respublikasi xalq ta’limi tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida” farmoni.
2. Solayeva, M. N., Yusupov, M. R., Abdullayev, Sh. A. (2022). Ba'zi bir ajoyib limitlarga oid misollarni noanaviy uslublardan foydalanib yechish usullari. TABIIY-ILMIY FANLARNI O‘QITISHDA FUNDAMENTAL VA AMALIY YONDASHUVLAR Respublika ilmiy anjuman materiallari to‘plami, 1(1), 164-168.
3. Raximov, A. K., Boltayeva, M. D., & Kholikova, M. A. (2021). MORPHOLOGICAL INDICATORS OF SOYBEAN VARIETIES PLANTED IN COMBINATION WITH CORN. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 9(12), 1151-1155.
4. Raximov, A. K., & Boltayeva, M. D. (2022). SOYA VA MAKKAJO‘XORINI BIRGALIKDA YETISHTIRISHNING QIMMATLI XO‘JALIK AHAMIYATINI O‘RGANISH METODIKASI (ESHITDIM, KO‘RDIM, BAJARDIM) TAMOYILI ASOSIDA. Academic research in educational sciences, 3(5), 1007-1014.
5. Radjabov, B. S., Matmurodov, A. K., Abdullayev, S. A. (2021). Aniq emas integralni xisoblash usullari mavzusni o‘qitishda klaster metodidan foydalanish. Mug'allim, 1(1), 118-122.
6. Akhmedov, B. A., Askarova, M. R., Xudayqulova, F. B., Tojiboeva, G. R., Artikova, N. S., Urinova, N. S., ... & Omonova, S. M. (2022). PEDAGOGICAL SCIENCE EDUCATION MANEGMENT IN TEACHING SCIENCE OF PEDAGOGICAL SCIENCES. Uzbek Scholar Journal, 10, 529-537.
7. Abdullayev, S. A.(2021).Modern technologies of studying mathematics in the higher educational institution as a means of motivation of students' educational activity.International scientific-practical conference THE 2nd

- INTERNATIONAL CONFERENCE ON XXI CENTURY SKILLS IN LANGUAGE TEACHING AND LEARNING April 9, 2021, 1(1), 36-39
8. M. Gaipov, Q. Eshqorayev, Sh. Abdullayev. (2022). O'quvchilarni irratsional tenglamalarni yechishga o'rgatishning zamonaviy metodlari. Mug'allim, 3(1), 84-86.
 9. Abdullayev, S. A., Aktamov, F., & Raupova, M. (2021). "FUNKSIYA XOSILASI" MAVZUSINI O 'RGANISHDA KLASTER MODELIDAN FOYDALANISH METODIKASI. Academic research in educational sciences, 2(CSPI conference 3), 420-424.