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

# ОПТИМАЛЬНЫЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КРУПНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ С КАСКАДОМ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**А. Ж. Сейтов** **А. Р. Кутлимурадов** **Р. Н. Тураев** **Э. М. Махкамов** **Б. Р. Хонимкулов**

Чирчикский государственный педагогический институт Ташкентской области
saybek868@gmail.com

## АННОТАЦИЯ

В статье приведены оптимальности задачи оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи в случае использовании в качестве математической модели неустановившегося движения воды на участках канала систему полных дифференциальных уравнений Сен-Венана, а также проведено метод численные решение по методом конечных разности дифференциального систему уравнение Сен-Венана.

**Ключевые слова:** математика, ирригация, канал, Сен-Венан.

# OPTIMUM MANAGEMENT OF WATER RESOURCES OF LARGE TRUNK CHANNELS WITH A CASCADE OF PUMPING STATIONS OF IRRIGATION SYSTEMS

**A. J. Seytov** **A. R. Kutlimuradov** **R. N. Turayev** **E. M. Makhkamov** **B. R. Khonimkulov**

Чирчикский государственный педагогический институт Ташкентской области
saybek868@gmail.com

## ABSTRACT

The article presents the optimality of the problem of the optimal distribution of water in the canals of irrigation systems under conditions of discreteness of water supply in the case of using the system of complete differential equations of Saint-Venant as a mathematical model of unsteady movement of water in the sections of the canal, and also the method of numerical solution by the method of finite difference differential system equation Saint-Venant.

**Keywords:** mathematics, irrigation, canal, Saint-Venant.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

## ВВЕДЕНИЕ

В статье [1,2] разработан математические модели и критерии качества распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи

Когда идет речь об оптимальности распределения воды, в правых частях уравнений Сен-Венана функции имеют дискретный характер по времени, а коэффициенты в дифференциальных уравнениях неразрывности и количества движения для систем с распределёнными параметрами уже не являются непрерывными функциями по времени, поэтому требуется дополнительных необходимые условии. Необходимые условия оптимальности распределения воды между изучена в статье [3].

## МЕТОДОЛОГИЯ

Пуст каждый объект с распределенными параметрами описывается одномерными дифференциальными уравнениями первого порядка по времени и второго порядка по пространственной переменной [4,5].

$$\frac{\partial Z_i}{\partial t} = f_i^1\left(Z_i, \frac{\partial Z_i}{\partial x_i}, q_i\right), \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial t} = f_i^2\left(Z_i, Q_i, \frac{\partial Z_i}{\partial x_i}, \frac{\partial Q_i}{\partial x_i}\right), \; i=1,2; \; 0<x_1<l_1; \; l_1<x_2<l_2; \quad 0<t<T.$$

Здесь

$$f_i^1\left(Z_i, \frac{\partial Q_i}{\partial x_i}, q_i\right) = -\frac{1}{B_i}\left(\frac{\partial Q_i}{\partial x_i} - q_i\right), \tag{2}$$

$$f_i^2\left(Z_i, Q_i, \frac{\partial Z_i}{\partial x_i}, \frac{\partial Q_i}{\partial x_i}\right) = \frac{g\omega_i i_{i0} Q_i^2}{\left(\omega_i c_i\right)^2} - \frac{g\omega_i Q_i |Q_i|}{K^2} - \frac{2Q_i}{\omega_i}\frac{\partial Q_i}{\partial x_i} - g\omega_i\left(1 - \frac{Q_i^2}{\left(\omega_i c_i\right)^2}\right)\frac{\partial Z_i}{\partial x_i}$$

где $Q_i=Q_i(x_i,t)$, $Z_i=Z_i(x_i, t)$, - соответственно, расход и ордината свободной поверхности потока; $i$ - го участка ирригационного канала; $B_i=B_i(Z_i)$ - ширина потока по верху; $\omega_i=\omega_i(Z_i)$ - площадь живого сечения; $c_i=c_i(Z_i)$ - скорость распространения малых волн; $K_i=K_i(Z_i)$ - модуль расхода. Последние четыре величины определяются по морфометрическим и гидравлическим параметрам участка канала. Путевой приток (отток) $q_i=q_i(x_i, t)$ рассчитанный на единицу длины $i$ - го участка канала, является распределенным возмущением [6,7].

Заданы начальные условия

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

$$Q_i(x_i,0)=Q_{i0}(x_i), \qquad Z_i(x_2,0)=Z_{i0}(x_i), \tag{3}$$

Граничные условия в точках $x_1 = 0$ и $x_2 = l_2$ запишутся следующим образом

$$Q_1(0,t)=g_1(Z_1(0,t),\ u_1(t)), \tag{4}$$

$$Q_2(l_2,t)=g_2(Z_2(l_2,t),\ u_2(t),\ u_3(t)), \tag{5}$$

где

$$g_1=\mu_1 b_1 u_1(t)\sqrt{2g(Z_1^1-Z_1(0,t))}, \tag{6}$$

$$g_2=\mu_2 b_2 u_2(t)\sqrt{2g(Z_2(l_2,t)-\varepsilon_2 u_2(t))}, \tag{7}$$

$u_i=u_i(t_i)$ $i=1,2,3$ - управляющие функции, приложенные в граничных точках (высота открытых отверстий затворов), $b_i$ $i=1,2$ - ширина открытых отверстий затворов, $z^1_1$ - ордината свободной поверхности водного потока верхнего бьефа первого затвора.

Условия сопряжения в точке $x_1 = x_2 = l_1$ запишутся следующим образом

$$Q_1(l_1,t)=g_1^c(Z_1(l_1,t),Z_2(l_1,t),u_1^c(l_1,t),u_2^c(t)), \tag{8}$$

$$Q_2(l_1,t)=g_2^c(Z_1(l_1,t),Z_2(l_1,t),u_2^c(t)), \tag{9}$$

где

$$g_1^c=\mu_1^c b_1^c u_1^c(t)\sqrt{2g(Z_1(l_1,t)-\varepsilon_1^c u_1^c(t))}+g_2^c, \tag{10}$$

$$g_2^c=\mu_2^c b_2^c u_2^c(t)\sqrt{2g(Z_1(l_1,t)-Z_2(l_1,t))}, \tag{11}$$

где $u_i^c=u_i^c$ $(t_i)$ $i=1,2$ - управляющие функции, приложенные в точке соединения участков канала (высота открытых отверстий затворов), $b_i^c$ $i=1,2$ - ширина открытых отверстий затворов.

Для численного решения краевых задач (1) - (3) используем метод конечных разностей [8,9].

В области $\Omega=\{0\le x\le l,\ 0\le t\le T\}$ введем сетку

$$\overline{\omega}_{h\tau}=\{(x_i,t_j)\div x_i=ih;\ t_j=jz;\ i=0,1,...,N;\ j=0,1,...,M;\ h=l/N;\tau=T/M\}$$

с шагами $h$ по $x$ и $\tau$ по $T$.

Аппроксимируя систему уравнений (1) с помощью абсолютно устойчивой неявной разностной схемы, имеющей второй порядок аппроксимации по $x$, и первый порядок аппроксимации по $t$, получим

$$\mathbf{S}_i^k\frac{Z_i^{k+1}-Z_i^k}{\tau}+(\Delta\mathbf{S})_i^k\frac{Z_{i+1}^{k+1}-Z_{i-1}^{k+1}}{2h}=\mathbf{F}_n^k+\left(\frac{\partial\mathbf{F}}{\partial Z}\right)_n^k Z_i^k, \quad i=1,...,n-1,\ k=1,..,m$$

здесь $Z_i^k=\{Z(x_i,t_k),z(x_i,t_k)\}$ - разностная вектор - функция переменной по $x_i$, $t_k$ правая часть уравнений (1-2) линеаризована методом квазилинеаризация,

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

разлагая её в ряд Ньютона, оставляя только первые члены аппроксимации в окрестности точки $F_n^k$, получим алгебраический уравнений.

После несложных преобразований, получим следующую систему трех диагональных матричных разностных уравнений для внутренних точек сетки

$$\mathbf{P}_n^k \cdot Z_{n-1}^{k-1} + \mathbf{R}_n^k \cdot Z_n^{k+1} - \mathbf{P}_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} = \varpi_n^k, \quad n = 1,\ldots,N-1, \tag{12}$$

Здесь:

$$\mathbf{P}_n^k = \frac{\tau}{2h}(\Delta\mathbf{S})_n^k; \quad \mathbf{R}_n^k = \mathbf{S}_n^k - \tau\left(\frac{\partial\mathbf{F}}{\partial Z}\right)_n^k Z_n^{k+1} = Z(x_n, t_{k+1}); \tag{13}$$

$$\mathbf{w}_n^k = \left[\mathbf{S}_n^k - \tau\left(\frac{\partial\mathbf{F}}{\partial Z}\right)_n^k\right] Z_n^k + \tau\,\mathbf{F}_n^k; \quad \frac{\partial\mathbf{F}}{\partial Z} = \begin{bmatrix}\partial\mathbf{F}/\partial Z \\ \partial\mathbf{F}/\partial z\end{bmatrix}. \tag{14}$$

Граничные условия для участка канала, ограниченного перегораживающими сооружениями, линеаризуются методом Ньютона на окрестности предыдущего шага по времени, тогда в дискретном виде получим

$$\begin{aligned} Z_{i0}^{k+1} &= Z_{i0}^k + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial u_1}\right)_0^k \left(u_1^{k+1} - u_1^k\right) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z_{вб}}\right)_0^k \left(z_{вб}^{k+1} - z_{вб}^k\right) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z}\right)_0^k \left(z_{i0}^{k+1} - z_{i0}^k\right), \\ Z_{iN}^{k+1} &= Z_{iN}^k + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial u_2}\right)_0^k \left(u_2^{k+1} - u_2^{k+1}\right) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z}\right)_0^k \left(z_{iN}^{k+1} - z_{iN}^k\right) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z_{нб}}\right)_0^k \left(z_{нб}^{k+1} - z_{нб}^k\right). \end{aligned} \tag{15}$$

Здесь частные производные

$$\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial u_1}\right)_0^k, \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_{вб}}\right)_0^k, \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z}\right)_0^k, \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial u_2}\right)_0^k, \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z}\right)_0^k \text{ и } \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_{нб}}\right)_0^k$$

означают производные функции расхода воды гидротехнического сооружения, расположенного в начале и в конце участка канала относительно аргументов $u_1$, $z_{вб}$ и $z_{вб}$.

В случае если участок канала ограничены между перегораживающими сооружениями, то частные производные, с учетом выражений расхода воды, протекающих через перегораживающие сооружения, имеют следующий вид [10]

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial a_{1i}}\right)_0^k = \mu_{1i} b_{1i}^k \sqrt{2g\left(z_{вбi}^k - z_{0i}^k\right)}; \quad \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_{вбi}}\right)_0^k = \mu_{1i} a_{1i}^k b_{1i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{вбi}^k - z_{0i}^k\right)}}; \\ &\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k = -\mu_{1i} a_{1i}^k b_{1i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{вбi}^k - z_{0i}^k\right)}} \end{aligned} \tag{16}$$

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

$$\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial a_{2i}}\right)_0^k = \mu_{2i} b_{2i}^k \sqrt{2g\ \left(z_{0i}^k - z_{нбi}^k\right)}; \quad \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_i}\right)_0^k = \mu_{2i} a_{2i}^k b_{2i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{нбi} - z_{0i}^k\right)}};$$
$$\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_{нбi}}\right)_0^k = -\mu_{2i} a_{2i}^k b_{2i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{0i}^k - z_{нбi}^k\right)}} \tag{17}$$

Граничные условия (17) преобразуем к виду

$$Q_{0i}^{k+1} + \alpha_{0i}^k z_{0i}^{k+1} = \beta_{0i}^{k+1},$$
$$Q_{Ni}^{k+1} + \alpha_{Ni}^{k+1} z_{Ni}^{k+1} = \beta_{Ni}^{k+1}, \tag{18}$$

где

$$\alpha_{0i}^k = -\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k; \quad \alpha_{Ni}^k = -\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z}\right)_0^k;$$
$$\beta_{0i}^{k+1} = Z_{0i}^k + \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial u_{1i}}\right)_0^k \left(u_{1i}^{k+1} - u_{1i}^k\right) + \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_{вбi}}\right)_0^k \left(z_{вбi}^{k+1} - z_{вбi}^k\right) - \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k z_{0i}^k, \tag{19}$$
$$\beta_{Ni}^{k+1} = Z_{Ni}^k + \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial u_{2i}}\right)_0^k \left(u_{2i}^{k+1} - u_{2i}^k\right) - \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_i}\right)_0^k z_{Ni}^k + \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_{нбi}}\right)_0^k \left(z_{нбi}^{k+1} - z_{нбi}^k\right).$$

Здесь

$$Z_{0i}^k = \mu_{1i} a_{1i}^k b_{1i}^k \sqrt{2g\ \left(z_{вбi}^k - z_{0i}^k\right)};$$
$$Z_{Ni}^k = \mu_{2i} a_{2i}^k b_{2i}^k \sqrt{2g\ \left(z_{Ni}^k - z_{нбi}^k\right)}.$$

Далее, с помощью системы разностных уравнений (13) и граничных условий (15), получим разностные граничные условия:

$$\mathbf{P}_0^k Z_0^{k+1} + \mathbf{R}_0^k Z_1^{k+1} = \mathbf{w}_0^k,$$
$$\mathbf{R}_N^k Z_{N-1}^{k+1} - \mathbf{P}_N^k Z_N^{k+1} = \mathbf{w}_N^k, \tag{20}$$

где

$$\mathbf{P}_0^k = \begin{bmatrix} b_{110}^k & b_{120}^k \\ 1 & \alpha_0^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_0^k = \begin{bmatrix} c_{110}^k & c_{120}^k \\ c_{210}^k & c_{220}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{w}_0^k = \begin{bmatrix} d_{10}^k \\ \beta_0^{k+1} \end{bmatrix},$$
$$\mathbf{R}_N^k = \begin{bmatrix} a_{11N}^k & a_{12N}^k \\ a_{21N}^k & a_{22N}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_N^k = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_N^k \\ b_{21N}^k & b_{22N}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{w}_N^k = \begin{bmatrix} \beta_N^{k+1} \\ d_{2N}^k \end{bmatrix}. \tag{21}$$

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

Здесь для начального створа участка канала в качестве коэффициентов первого уравнения для граничных условий взяты коэффициенты первого уравнения, а для конечного створа взяты коэффициенты второго уравнения в системе уравнений характеристической формы неустановившегося движения воды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уравнения (13) и (17) представляют собой замкнутую трех диагональную систему уравнений. Они записываются следующим образом [11,12]

$$\begin{aligned}&\mathbf{P}_0^k Z_0^{k+1} + \mathbf{R}_0^k Z_1^{k+1} = \mathbf{w}_0^k,\\ &\mathbf{P}_n^k \cdot Z_{n-1}^{k-1} + \mathbf{R}_n^k \cdot Z_n^{k+1} - \mathbf{P}_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} = \mathbf{w}_n^k, \quad n = 1,\ldots,n-1, \quad k = 0,\ 1,\ldots,\\ &\mathbf{P}_N^k Z_{N-1}^{k+1} - \mathbf{R}_N^k Z_N^{k+1} = \mathbf{w}_N^k,\end{aligned} \tag{22}$$

Эту систему уравнений можно записать и в общем виде

$$\sum_{j=0}^{N} \mathbf{A}_{ij}^k \cdot Z_j^{k+1} = \mathbf{w}_i^k, \quad i = 0,\ldots,n, \quad k = 0,\ 1,\ldots \tag{23}$$

Здесь $A_{ij}$ – элемент матрицы A, сам являющейся матрицей размерностью 2x2.

$$Z_i^{k+1} = \sum_{j=0}^{N} \mathbf{G}_{ij}^k \cdot \mathbf{w}_j^k, \quad i = 0,\ldots,N, \quad k = 0,\ 1,\ldots, \tag{24}$$

где $G_{ij}$ – элемент матрицы G, обратной к матрице A.

Формулу (24) можно записать в виде

$$Z_{ni}^{k+1} = \sum_{j=0}^{N} \sum_{m=1}^{2} G_{nmij}^k \cdot w_{mj}^k, \quad n = 1,\ 2, \quad i = 0,\ldots,n, \quad k = 0,\ 1,\ldots \tag{25}$$

Здесь $Z_{ni}^{k+1}$ *и* $w_{mj}^k$ *n, m=1, 2;* $i, j = 1,\ldots, n$ при фиксированном *k* являются прямоугольными матрицами размерностью *2xn.*

Выражение (25) удобно написать в тензорной форме

$$Q_{ni}^{k+1} = G_{nmij}^k \cdot w_{mj}^k, \quad n = 1,\ 2, \quad i = 0,\ldots,N, \quad k = 0,\ 1,\ldots, \tag{26}$$

т.е. отпущен знак суммы и суммирование производится по парным индексам.

Для вычисления матрицы G необходимо вычислить обратную к матрице A. Одним из эффективных способов вычисления $G_{ij,}$ элемента матрицы G, является матричная прогонка, учитывающая трехдиагональную структуру системы уравнений (22).

Таким образом, получен единый алгоритм для моделирования участков канала с помощью системы дифференциальных уравнений неустановившегося движения воды.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

**ПК -746+62÷923+02:** $Q_0$=78м$^3$/с; $H_0$=4,48 м; g=9,8м/с$^2$; y=1/6; $l$=12,2км; $i$ =0,00007; $B_0$=35,44м; $\upsilon_0$=0,83м/с; КПД=0,9.

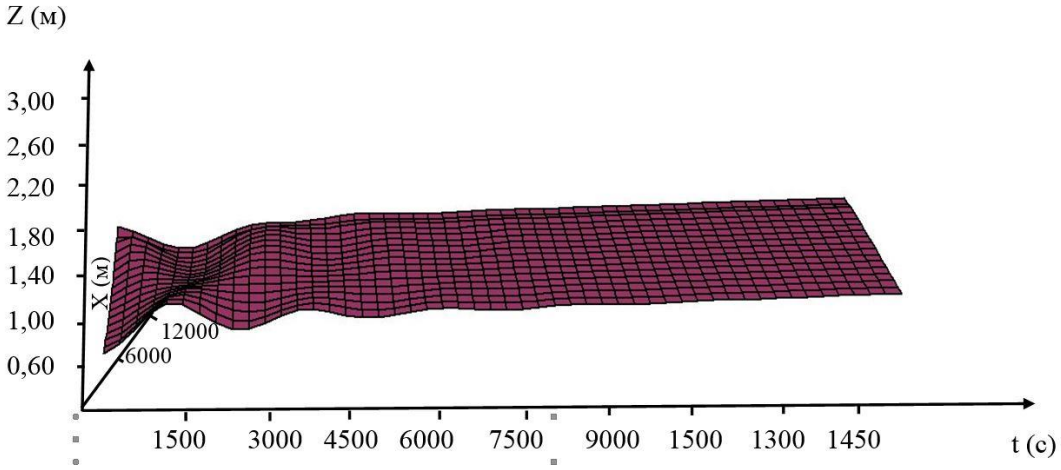



**Рис. 1. Изменение уровней воды во времени и по длине участка Южного Голодностепского магистрального канала**

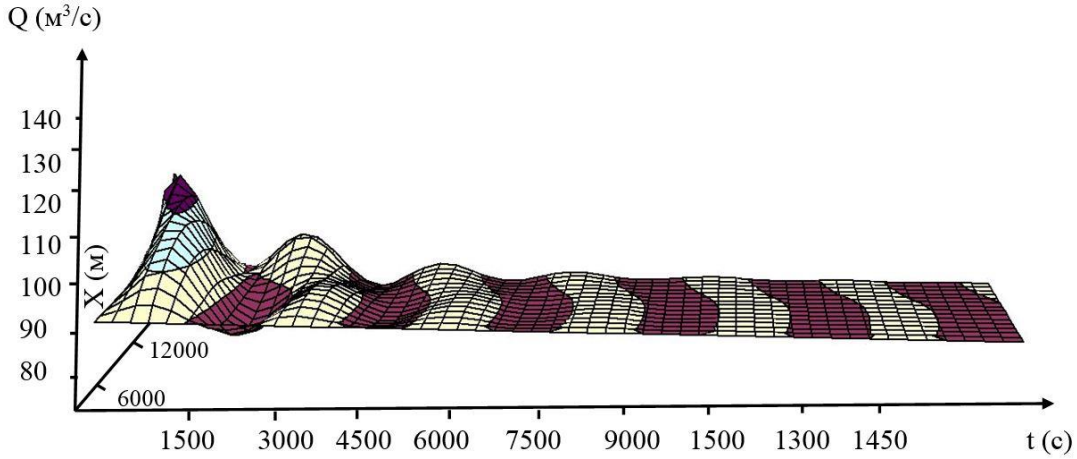



**Рис.2. Изменение расхода воды во времени и по длине участка Южного Голодностепского магистрального канала.**

На рис. 1, 2 приведены результаты численных экспериментов по определению изменения уровня и расхода воды на участке ЮГМК между **ПК** -145÷623+86 -ПК -746+62÷923+02, который равняется 12,2 км.

## ВЫВОД

Из рисунков видно, что, после открытия затворов увеличенный расход в начале участка канала позволяет повысить уровень воды по длине указанного участка ЮГМК. В течение t = 14 698 с (24,4 мин.) уровень воды в конце участке увеличивается на 1,7 м.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

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

## REFERENCES

1. A. Kabulov, I. Normatov, A. Seytov and A. Kudaybergenov, "Optimal Management of Water Resources in Large Main Canals with Cascade Pumping Stations," 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), Vancouver, BC, Canada, 2020, pp. 1-4, DOI: 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216402
2. Sh Rakhimov, A Seytov, B Nazarov and B Buvabekov, “Optimal control of unstable water movement in channels of irrigation systems under conditions of discontinuity of water delivery to consumers” 2020 IOP Conference Series (CONMECHYDRO), Materials Science and Engineering 883 (2020), Tashkent, 2020, pp. 1-4, DOI:10.1088/ /1757-899X/883/1/012065
3. A.V. Kabulov, A.J. Seytov, A.A. Kudaybergenov, “Classification of mathematical models of unsteady water movement in the main canals of irrigation systems” International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 4 , April 2020, ISSN: 2350-0328 India, pp. 13392-13401
4. A. V. Kabulov, A. J. Seytov and A. A. Kudaybergenov, “Mathematical models of the optimal distribution of water in the channels of irrigation systems” 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, pp.14193–14202, IJMPERDJUN20201355, India, 2020.
5. SH. KH. Rakhimov, A. J. Seytov, D. K. Jumamuratov and 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, IJMPERDJUN20201065, India, 2020.
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, ISSN: 2350-0328, pp. 13380- 13391, India, 2020.
7. Salaeva, M., Eshkaraev, K., & Seytov, A. Solving mathematical problems in unusual ways with excellent limits. In European Scientific Conference pp. 254-257. (2020).

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00193

8. Rakhimov Sh.Kh., Begimov I., Gapparov Kh,Sh., Seytov A.J. Теория оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям. Монография. Изд-во ООО «Белгим», Ташкент, 2017 с. 169.
9. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Алгоритмы оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям, //Мелиорация и водное хозяйство РФ, 2016, №6, С. 6-10. (05.00.00; №51)
10. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Математические модели каскада насосных станций Каршинского магистрального канала. Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2017 №5, с.13-20. (05.00.00; №5)
11. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Математические модели водоподачи куюмазарской насосной станции с водохранилищем сезонного регулирования. Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2017 №6, с.22-28. (05.00.00; №5)
12. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Prerequisites for optimal distribution of water in irrigation canal systems// Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, № 9–10, Vienna. 2017. pp. 50-58.