ACADEMIC RESEARCH IN EDUCATIONAL SCIENCES VOLUME 2 | ISSUE 3 | 2021
ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

А. Ж. Сейтов
PhD, кафедры «Математика» Чирчикского государственного педагогического института Ташкентской области.

Б. Р. Ханимкулов
Старший преподаватель, кафедры «Математика» Чирчикского государственного педагогического института Ташкентской области

М. Гаипов
Старший преподаватель, кафедры «Математика» Чирчикского государственного педагогического института Ташкентской области

О. Хамидуллаева
Студент Чирчикского государственного педагогического института Ташкентской области

Н. К. Мурадов
Студент Чирчикского государственного педагогического института Ташкентской области

АННОТАЦИЯ

В Республики Узбекистан 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 крупных 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.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

ВВЕДЕНИЕ

В статье разработаны численные алгоритмы оптимального управления сложных водохозяйственных систем, таких как магистральные каналы с каскадами насосных станций, на основе структурного представления и определены типовые блоки отдельных водохозяйственных объектов.

Участок канала. Запишем характеристическую форму уравнений в виде системы матричных уравнений [1,2]

$$\mathbf{S}_i \frac{\partial \mathbf{Q}_i}{\partial t} + \mathbf{\Lambda_i S_i} \frac{\partial \mathbf{Q}_i}{\partial x_i} = \mathbf{F}_i(\mathbf{Q}_i, K_i), \qquad (2.14)$$

где

$$\mathbf{S}_i = \begin{bmatrix} 1 & -B_i(v_i + c_i) \\ 1 & -B_i(v_i - c_i) \end{bmatrix}; \qquad \mathbf{Q}_i = \begin{bmatrix} Q_i \\ z_i \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{\Lambda}_i = \begin{bmatrix} v_i - c_i & 0 \\ 0 & v_i + c_i \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{F}_i = -B_i i_i v_i^{\,2} - g\omega_i \frac{Q_i|Q_i|}{K_i} - (v_i \mp c_i) q_i.$$

Начальные условия записываются в виде

$$Q_i(x_i, t_0) = Q_{i0}(x_i), \qquad z_i(x_i, t_0) = z_{i0}(x_i),$$
$$0 \le x_i \le \ell_i, \qquad k = 1,\ldots,6, \qquad (2.15)$$

где Qi0 (xi) и zi0 (xi) – известные функции; t0 – начальный момент времени.

В качестве граничных условий принимаем выражения для расхода воды более общей формы [3,4]

$$Q_1(0,\ t) = G_{i1}\left(z_{об}(t),\ z_1(0,t),\ u_1(t)\right),$$
$$Q_1(l_1,\ t) = G_{i2}\left(z_1(l_1,t),\ z_{нб}(t),\ u_1(t)\right), \qquad (2.16)$$

где G_{1i} и G_{2i} - монотонные дифференцируемые функции по совокупности аргументов. Здесь $u_1(t)$ и $u_2(t)$ – управляющие воздействия, которые могут быть векторными величинами. Например, если на границе участка канала расположено многопролетное гидротехническое сооружение или насосная станция, состоящей из множества насосных агрегатов то управляющие воздействия являются площади открытых отверстий гидротехнических сооружений или количество работающих насосных агрегатов и углы разворота лопастей осевого насоса.

Для численного решения краевых задач (2.14)-(2.16) используем метод конечных разностей.

В области $\Omega = \{0 \le x \le e,\ 0 \le t \le T\}$ введем сетку [5]

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

с шагами h по x и τ по T.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

МЕТОДОЛОГИЯ

Аппроксимируя систему уравнений (2.3) с помощью абсолютно устойчивой неявной разностной схемы, имеющей второй порядок аппроксимации по x и первый порядок аппроксимации по t, получим [6]

$$\mathbf{S}_i^k \frac{\mathbf{Q}_i^{k+1} - \mathbf{Q}_i^k}{\tau} + (\mathbf{\Lambda S})_i^k \frac{\mathbf{Q}_{i+1}^{k+1} - \mathbf{Q}_{i-1}^{k+1}}{2h} = \mathbf{F}_n^k + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Q}}\right)_n^k \mathbf{Q}_i^k, \quad n = 1,\ldots,N-1 \quad . \qquad (2.17)$$

Здесь Qik = {Q(xi, tk), z(xi, tk)} – разностная вектор - функция неизвестной переменной, правая часть уравнений (2.14) линеаризована методом квазилинеаризации, разлагая её в ряд Ньютона, оставляя только первые члены аппроксимации в окрестности точки Fnk, после несложных преобразований, получим следующую систему трех диагональных матричных разностных уравнений для внутренних точек сетки [7]

$$\mathbf{P}_n^k \cdot \mathbf{Q}_{n-1}^{k-1} + \mathbf{R}_n^k \cdot \mathbf{Q}_n^{k+1} - \mathbf{P}_n^k \cdot \mathbf{Q}_{n+1}^{k+1} = \mathbf{w}_n^k, \quad n = 1,\ldots,N-1 . \qquad (2.18)$$

Здесь

$$\mathbf{P}_n^k = \frac{\tau}{2h}(\mathbf{\Lambda S})_n^k; \quad \mathbf{R}_n^k = \mathbf{S}_n^k - \tau\left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Q}}\right)_n^k$$

$$\mathbf{Q}_n^{k+1} = \mathbf{Q}(x_n, t_{k+1}); \qquad (2.19)$$

$$\mathbf{w}_n^k = \left[\mathbf{S}_n^k - \tau\left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Q}}\right)_n^k\right]\mathbf{Q}_n^k + \tau\,\mathbf{F}_n^k;$$

Граничные условия для участка канала, ограниченного перегораживающими сооружениями, линеаризуются методом Ньютона на окрестности предыдущего шага по времени, тогда в дискретном виде получим [8]

$$Q_{i0}^{k+1} = Q_{i0}^k + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial u_1}\right)_0^k \left(u_1^{k+1} - u_1^k\right) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z_{вб}}\right)_0^k \left(z_{вб}^{k+1} - z_{вб}^k\right) + \left(\frac{\partial \partial G_{i1}}{\partial z}\right)_0^k \left(z_{i0}^{k+1} - z_{i0}^k\right),$$

$$Q_{iN}^{k+1} = Q_{iN}^k + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial u_2}\right)_0^k \left(u_2^{k+1} - u_2^{k+1}\right) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z}\right)_0^k \left(z_{iN}^{k+1} - z_{iN}^k\right) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z_{нб}}\right)_0^k \left(z_{нб}^{k+1} - z_{нб}^k\right).$$

(2.20)

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

Здесь частные производные $\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial u_1}\right)_0^k$, $\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_{вб}}\right)_0^k$, $\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z}\right)_0^k$, $\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial u_2}\right)_0^k$, $\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z}\right)_0^k$ 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 u1, zвб и zнб.

В случае, если участок канала ограничен перегораживающими сооружениями, то частные производные, с учетом выражений расхода воды, протекающих через сооружения, имеют следующий вид [9]

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

$$\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k = -\mu_{1i} a_{1i}^k b_{1i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{вбi}^k - z_{0i}^k\right)}} \qquad (2.21)$$

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

$$\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_{нбi}}\right)_0^k = -\mu_{2i} a_{2i}^k b_{2i}^k \frac{g}{\sqrt{2g\left(z_{0i}^k - z_{нбi}^k\right)}} \qquad (2.22)$$

Граничные условия (2.20) преобразуем к виду

$$Q_{0i}^{k+1} + \alpha_{0i}^k z_{0i}^{k+1} = \beta_{0i}^{k+1},$$
$$Q_{Ni}^{k+1} + \alpha_{Ni}^{k+1} z_{Ni}^{k+1} = \beta_{Ni}^{k+1}, \qquad (2.23)$$

где

$$\alpha_{0i}^k = -\left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k; \quad \alpha_{Ni}^k = -\left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z}\right)_0^k;$$

$$\beta_{0i}^{k+1} = Q_{0i}^k + \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial u_{1i}}\right)_0^k \left(u_{1i}^{k+1} - u_{1i}^k\right) + \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_{вбi}}\right)_0^k \left(z_{вбi}^{k+1} - z_{вбi}^k\right) - \left(\frac{\partial G_{1i}}{\partial z_i}\right)_0^k z_{0i}^k,$$

$$\beta_{Ni}^{k+1} = Q_{Ni}^k + \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial u_{2i}}\right)_0^k \left(u_{2i}^{k+1} - u_{2i}^k\right) - \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_i}\right)_0^k z_{Ni}^k + \left(\frac{\partial G_{2i}}{\partial z_{нбi}}\right)_0^k \left(z_{нбi}^{k+1} - z_{нбi}^k\right).$$

Здесь

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

$$Q_{0i}^k = \mu_{1i} a_{1i}^k b_{1i}^k \sqrt{2g\ \left(z_{\text{в}\text{б}i}^k - z_{0i}^k\right)};$$

$$Q_{Ni}^k = \mu_{2i} a_{2i}^k b_{2i}^k \sqrt{2g\ \left(z_{Ni}^k - z_{\text{н}\text{б}i}^k\right)}.$$

Далее, с помощью системы разностных уравнений (2.6) и граничных условий (2.12), получим разностные граничные условия [10]

$$\begin{aligned} &\mathbf{P}_0^k \mathbf{Q}_0^{k+1} + \mathbf{R}_0^k \mathbf{Q}_1^{k+1} = \mathbf{w}_0^k, \\ &\mathbf{R}_N^k \mathbf{Q}_{N-1}^{k+1} - \mathbf{P}_N^k \mathbf{Q}_N^{k+1} = \mathbf{w}_N^k, \end{aligned} \qquad (2.24)$$

где

$$\mathbf{P}_0^k = \begin{bmatrix} b_{110}^k & b_{120}^k \\ 1 & \alpha_0^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_0^k = \begin{bmatrix} c_{110}^k & c_{120}^k \\ c_{210}^k & c_{220}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{w}_0^k = \begin{bmatrix} d_{10}^k \\ \beta_0^{k+1} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}_N^k = \begin{bmatrix} a_{11N}^k & a_{12N}^k \\ a_{21N}^k & a_{22N}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_N^k = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_N^k \\ b_{21N}^k & b_{22N}^k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{w}_N^k = \begin{bmatrix} \beta_N^{k+1} \\ d_{2N}^k \end{bmatrix}.$$

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.

Уравнения (2.18) и (2.24) представляют собой замкнутую трех диагональную систему уравнений. Они записываются следующим образом [11]

$$\begin{aligned} &\mathbf{P}_0^k \mathbf{Q}_0^{k+1} + \mathbf{R}_0^k \mathbf{Q}_1^{k+1} = \mathbf{w}_0^k, \\ &\mathbf{P}_n^k \cdot \mathbf{Q}_{n-1}^{k-1} + \mathbf{R}_n^k \cdot \mathbf{Q}_n^{k+1} - \mathbf{P}_n^k \cdot \mathbf{Q}_{n+1}^{k+1} = \mathbf{w}_n^k, \quad n = 1,\ldots,N-1, \quad k = 0,\ 1,\ldots, \\ &\mathbf{P}_N^k \mathbf{Q}_{N-1}^{k+1} - \mathbf{R}_N^k \mathbf{Q}_N^{k+1} = \mathbf{w}_N^k, \end{aligned} \qquad (2.25)$$

Эту систему уравнений можно записать и в общем виде

$$\sum_{j=0}^{N} \mathbf{A}_{ij}^k \cdot \mathbf{Q}_j^{k+1} = \mathbf{w}_i^k, \quad i = 0,\ldots,N, \quad k = 0,\ 1,\ldots \qquad (2.26)$$

Здесь Aij – элемент матрицы A, сам являющейся матрицей размерностью 2x2.

Выходной сигнал распределенного блока выражается следующим образом:

$$\mathbf{Q}_i^{k+1} = \sum_{j=0}^{N} \mathbf{G}_{ij}^k \cdot \mathbf{w}_j^k, \quad i = 0,\ldots,N, \quad k = 0,\ 1,\ldots \qquad (2.27)$$

где Gij – элемент матрицы G, обратной к матрице A.

Формулу (2.27) можно записать в виде

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

$$Q_{ni}^{k+1} = \sum_{j=0}^{N} \sum_{m=1}^{2} G_{nmij}^{k} \cdot w_{mj}^{k}, \quad n = 1,\ 2, \quad i = 0,...,N,\ \ k = 0,\ 1,... \tag{2.28}$$

Здесь Qnik+1 и wmjk n, m=1, 2; i, j = 1,…, N при фиксированном k являются прямоугольными матрицами размерностью 2xN. Элементы матрицы Gknmij отражают влияние m-го входного сигнала в пространственной точке xi., дискретное представление распределенного блока, соответствующего участку канала приведено на рис. 2.1

Выражение (2.28) удобно написать в тензорной форме

$$Q_{ni}^{k+1} = G_{nmij}^{k} \cdot w_{mj}^{k}, \quad n = 1,\ 2, \quad i = 0,...,N,\ \ k = 0,\ 1,..., \tag{2.29}$$

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

Для вычисления матрицы G необходимо вычислить обратную матрицу к матрице A. Одним из эффективных способов вычисления Gij, элемента матрицы G, является матричная прогонка, учитывающая трехдиагональную структуру системы уравнений (2.25).

При каждом фиксированном j (j = 1,…,N), начиная с последней точки i= N вычисляются прогоночные коэффициенты

$$\begin{aligned}
\mathbf{V}_N^k &= \left(\mathbf{R}_N^k\right)^{-1} \cdot \mathbf{P}_N^k, \\
\mathbf{V}_n^k &= \left(\mathbf{P}_n^k - \mathbf{R}_n^k \cdot \mathbf{V}_{n+1}^k\right)^{-1} \cdot \mathbf{R}_n^k, \\
\mathbf{W}_N^k &= \left(\mathbf{R}_N^k\right)^{-1} \cdot \boldsymbol{\delta}_{N\,j}, \\
\mathbf{W}_n^k &= \left(\mathbf{P}_n^k + \mathbf{R}_n^k \cdot \mathbf{V}_{n+1}^k\right)^{-1} \cdot \left(\boldsymbol{\delta}_{i\,j} + \mathbf{R}_n^k \cdot \mathbf{W}_{n+1}^k\right),
\end{aligned} \tag{2.30}$$

n=N-1, N-2, …, 1,0

Структурная модель участка канала приведена на рис.2.1.

После вычисления Vi и Wi, вычисляем Gij по формуле [12]

$$\begin{aligned}
\mathbf{G}_{1j}^k &= \left(\mathbf{R}_1^k + \mathbf{P}_1^k \mathbf{V}_2^k\right)^{-1} \cdot \left(\boldsymbol{\delta}_{1j} - \mathbf{R}_1^k \cdot \mathbf{W}_2^k\right), \\
\mathbf{G}_{ij}^{k+1} &= \mathbf{V}_i^k \cdot \mathbf{G}_{i-1\,j}^{k+1} + \mathbf{W}_i^k, \qquad i = 1,2,...,N-1,N
\end{aligned} \tag{2.31}$$

где δij = δmn δij , n, m=1, 2; i, j = 1,…, N.

Далее указанная процедура повторяется при другом значении j. Таким образом, вычисленная матрица G запоминается.

С помощью выражения для w_{jk} в соотношениях (2.14) и (2.23) вычисляются векторы входного сигнала блока. После того как вычислена матрица G и совокупность векторов w_{jk} по формуле (2.27), вычисляется выходной сигнал Q_{nik+1}.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

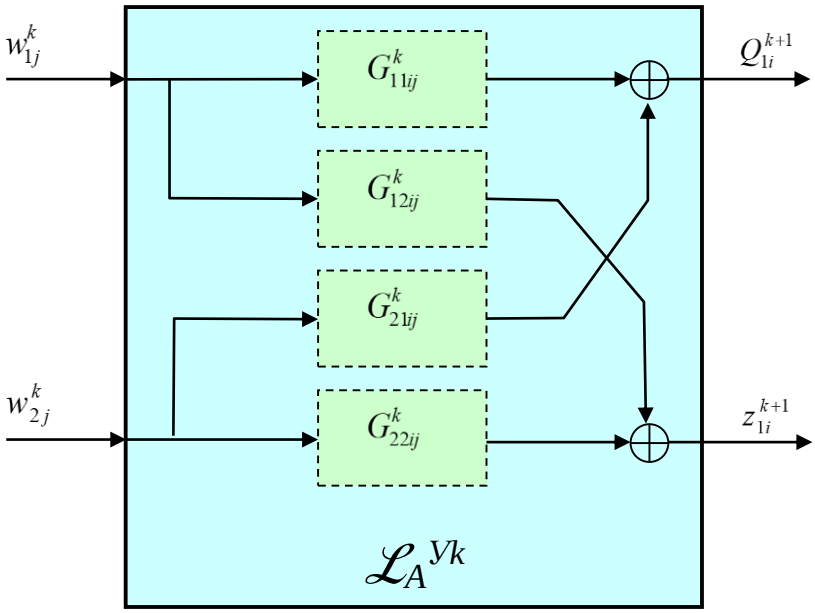


Рис 2.1. Блок, описывающий водохозяйственный объект – участок канала

Из изложенного выше следует, что численный алгоритм решения разностной краевой задачи имеет следующую последовательность:

С помощью формул (2.18) (2.23) и (2.24), с учетом выражений (2.2) и (2.23), вычисляются коэффициенты разностного уравнения (2.25) и входные сигналы блока w_{1j}^{k} и w_{2j}^{k}.

С помощью рекуррентных формул в (2.30) вычисляются прогоночные коэффициенты.

С помощью рекуррентных формул (2.31) вычисляются элементы матрицы дискретного представления.

По соотношениям (2.29) вычисляется выходной сигнал Q_{nik+1}.

Таким образом, получен единый численный алгоритм для оптимального управления режимами работы участков канала с помощью системы дифференциальных уравнений неустановившегося движения воды в канале.

Зная Q_{0n}, z_{0n}, u_{1k}, u_{2k}, q_{nk} и, решая уравнение на основе вышеизложенного алгоритма, можно определить Q_{nk+1}, z_{nk+1} и структурно представить в виде блока с распределенными параметрами.

Здесь wy_{nk+1}= {Q_{0n}, z_{0n}, u_{1k}, u_{2k}, и qnk}, Q_{ynk+1}= {Q_{nk+1}, z_{nk+1}} - последовательность входных и выходных сигналов блока соответствующего участка канала.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

$\mathscr{L}$Ау - алгоритмический оператор участка канала однозначно связывающий последовательность входных сигналов с последовательностью выходных сигналов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выбранных методов алгоритмизации разработаны алгоритмы задач оптимального управления неустановившемся движением воды на участках КМК и процессом водоподачи каскадом крупных насосных станций Каршинского магистрального канала, которые дают возможность решать соответствующие задачи оптимизации, а также на их основе разработаны численные алгоритмы решения задач оптимального управления участком канала, ограниченного двумя насосными станциями, насосных станций и гидротехническими сооружениями на участке Каршинского магистрального канала, которые решают задачи неустановившегося движения воды на участках канала и процесса водоподачи каскада насосных станций Каршинского магистрального 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

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00519

(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).

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)

12. Seitov A.Zh., Khanimkulov B.R., Matematical models and criteriafor water distribution quality in large main irrigation canals. Academic Research in Educational Sciences, 1 (2), 405-415.

13. Сейтов А.Ж., Кутлимурадов А.Р., Тураев Р.Н., Махкамов Э.М., Ханимкулов Б.Р., Оптимальные управления водных ресурсов крупных магистральных каналов с каскадом насосных станций ирригационнных систем. Academic Research in Educational Sciences, 1 (2), 265-273.