

УДК 532.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В  
РЕЧНЫХ РУСЛАХ И МАШИННЫХ КАНАЛАХ АМУ-ЗАНГ**

*Худайкулов Совет Ишонкулович*  
*проф. Научно-исследовательский институт ирригации и водных*  
*проблем*

*Шербаев Муроджон Рахимджанович*  
*докторант Научно-исследовательского института ирригации и*  
*водных проблем.*

*Сейтов Айбек Жумабаевич*  
*Докторант Научно-исследовательского института ирригации и*  
*водных проблем.*

*Қодиров Дилмурод Тохирович*  
*докторант Научно-исследовательского института ирригации и*  
*водных проблем.*

*Шукуров Юнус Умарович*  
*начальник управления эксплуатации Аму-Бухарского машинного*  
*канала.*

*Аннотация:* В статье рассматривается метод оптимального распределения вод по трассам канала «Занг» откуда впитывает воду водохранилище «Учкизил», часть воды берется из «Амударьи» насосными станциями. Настоящей статьи рассматривается задача оптимального распределения воды в оросительной сети и является одним из актуальных задач для нашего региона и требует математического моделирования распределения воды между потребителями с учетом забор воды для орошения, фильтрация, испарение и. т. д. – т.е. потеря вдоль трассы каналов. Рассмотрим задачу на примере Реки Сурхандарьи в распределения

воды для водохранилищ «Учкизил» при подъёме воды насосными станциями в гидроузел «Занг» Амударьи.

**Ключевые слова:** дискретная раздача, фильтрация, расход раздачи, дифференциальное уравнение, коррективы количества движения, потерь энергии на турбулентное трение между слоями

## MODELING OF OPTIMAL WATER DISTRIBUTION IN RIVER BEDS AND MACHINE CHANNELS AMU-ZANG

*Khudaykulov Savet Ishonulovich*

*prof. Research Institute of Irrigation and Water Problems*

*Sherbaev Murodzhon Rakhimdzhonovich*

*doctoral student at the Research Institute of Irrigation and Water Problems.*

*Seytov Aibek Zhumabaevich*

*Doctoral student at the Research Institute of Irrigation and Water Problems.*

*Kodirov Dilmurod Tohirovich*

*doctoral student at the Research Institute of Irrigation and Water Problems.*

*Shukurov Yunus Umarovich*

*head of the operation department of the Amu-Bukhara machine channel.*

**Abstract:** *The article discusses the method of optimal distribution of water along the routes of the Zang canal from where the Uchkizil reservoir absorbs water, part of the water is taken from the Amu Darya by pumping stations. This article considers the problem of optimal distribution of water in the irrigation network and is one of the urgent tasks for our region and requires mathematical*

*modeling of the distribution of water between consumers, taking into account the intake of water for irrigation, filtration, evaporation, etc. etc. - i.e. loss along the canal route. Let us consider the problem on the example of the Surkhandarya River in the distribution of water for the Uchkizil reservoirs during the rise of water by pumping stations to the Zang hydroelectric complex of the Amu Darya.*

**Keywords:** *discrete dispensing, filtration, dispensing flow rate, differential equation, momentum corrections, energy losses due to turbulent friction between layers*

**Основная часть.** Данную задачу моделируем в предположение, что канал имеет дискретной раздачи (оттоки) к потребителям и вдоль канала непрерывно происходит фильтрация (рис.1.), Канал разделен на  $n$  участков, в каждом из которых вода расходуется либо только на фильтрацию, либо на фильтрацию и раздачи. При этом решение на конце  $n$ -го участка будет граничным условием  $(n+1)$ -го участка. Расход раздачи обозначим через  $Q_{om}^{(k)}$ . На участках, где раздачи отсутствует:

$$(k = 2n+1, n=0,1,2\dots), \quad Q_{om}^{(k)} = 0,$$

приравняем нулю. Для решения этой задачи используем дифференциальное уравнение вида [4,10]:

$$\frac{\alpha}{g} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{d\alpha}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\alpha' u^2}{2g} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} = i_0 - \frac{\bar{u}^2}{C^2 R} - \frac{\alpha_1 (\bar{u} - \bar{V}_1) d\bar{Q}_1}{g\bar{Q}} + \frac{\alpha_2 (\bar{u} - \bar{V}_2) d\bar{Q}_2}{g\bar{Q}} \quad (1)$$

Уравнение (1) является дифференциальным уравнением одномерного турбулентного движения реального потока с переменным расходом вдоль пути). Впервые оно было выведено Г. А. Петровым и К.Ш. Латиповым [1,5,7]. В дальнейшем для простоты записи черточку в скоростях опускаем.

В этом уравнении  $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$  ; - коррективы количества движения, учитывающие лишь неоднородность для осредненных скоростей:  $\alpha'$  -

полный корректив кинетической энергии потока, учитывающий неоднородность поля осредненных скоростей и кинетическую энергию пульсаций. Потеря напора по длине канала определяется следующим выражением: [7]:

$$dh_f = i'_f dx = \frac{Q}{K_M^2} dx = \frac{Q}{K_M^2} f(x) dx \quad (2)$$

Полный уклон  $i'_f$ , гидравлического сопротивления в случае турбулентного движения с переменным расходом вдоль пути зависит от потерь энергии на турбулентное трение между слоями осредненного движения и от интенсивности изменения расхода  $\frac{dQ_\lambda}{dt}$ , ( $\lambda = 1, 2$ ).

Где  $\bar{Q}$  функция  $\frac{dQ_\lambda}{dt}$ , переменная вдоль потока;  $K_M$  -модуль расхода;  $dh_f$  -потери напора на сопротивление, обусловленное преимущественно изменением живых сечений по длине и выраженное через потери напора на трение в естественных и искусственных водотоках.

Из анализа [3,5] полученных для потерь напора выражений были выведены некоторые формулы для уклона трения. Наиболее простой является формула [7]

$$i'_f = i_f + \frac{\alpha(u-V)}{g\bar{Q}} u \frac{dQ}{dx} \quad (3)$$

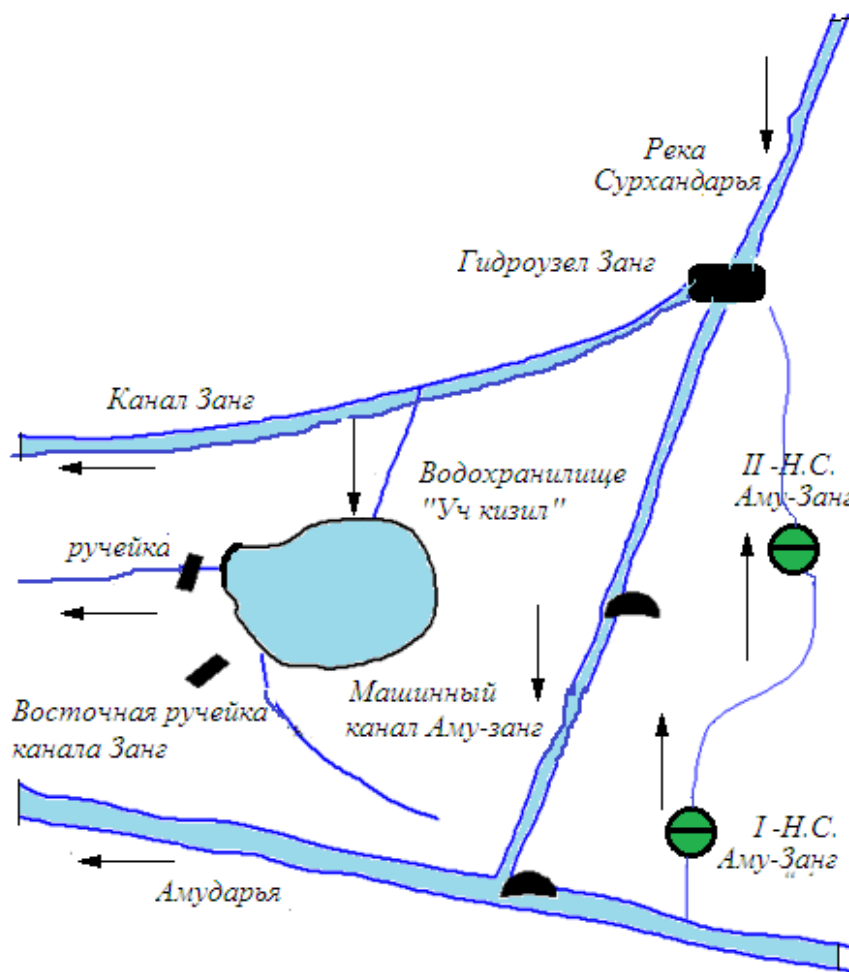


Рис.1.Схема водохранилища Учкизил и машинного канала Аму-Занг.

Согласно, (3) формуле, потере напора при движении жидкости с переменным и постоянным расходами отличаются на некоторую величину, определяемую вторым членом правой части. При практических расчётах для уклона трения используется приближенная формула:

$$i'_f = \frac{Q}{K_M^2} f(x) = \frac{u^2}{C^2 R} \quad (4)$$

Ордината уровня свободной поверхности равна

$$y = h + z, \quad \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} - i_0. \quad (5)$$

Для произвольного  $k$  – участка уравнение (1) имеет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha^{(k)}}{g} \frac{\partial u_k}{\partial t} + \frac{u_k}{g} \frac{\partial \alpha^{(k)}}{\partial x_k} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{\alpha'^{(k)} u_k^2}{2g} \right) + \frac{\partial h_k}{\partial x_k} = \\ & = i_0^{(k)} - \frac{u_k^0}{C_k^2 R_k} + \frac{\alpha_1^{(k)} (u_k - V_\phi^{(k)}) dQ_\phi^{(k)}}{Q_k \frac{\partial x_k}{\partial t}} + \frac{\alpha_2^{(k)} \delta'_k (u_k - V_k) dQ_{om}^{(k)}}{Q_k \frac{\partial t}{\partial x_k}} \end{aligned} \quad (6)$$

При для произвольного  $k$  – участка при  $\alpha^{(k)} \approx \alpha_1^{(k)} \approx \alpha_2^{(k)} \approx \alpha'^{(k)} = const.$  имеем уравнение (1).

В случае медленно изменяющегося движения потока на практике принимается приближенно  $\alpha \approx \alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \alpha' = const.$  Однако и общем случае для них существует ряд выражений, например полуэмпирические формулы для  $\alpha$  [1,3,5]:

$$\alpha = \frac{(1+k_1)^2 (1+k_2)^2}{(1+2k_1)(1+2k_2)}$$

где

$$k_1 = \frac{\sqrt{g}}{\varkappa C}, \quad k_2 = 2k_1 \left( 1 - \frac{b}{\chi} \right), \quad \varkappa = \frac{1,5\sqrt{g}}{C} + 0,314 - \text{ параметр Кармана; и}$$

для

$$\alpha' = 3\alpha - 2 + 1,92 \frac{g}{C^2}$$

При решении уравнение (1) воспользуемся уравнением неразрывности и напомним в форме:

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial t} + \frac{\partial Q_k}{\partial x} = -q_\phi^{(k)} - \delta'_\phi q_{om}^{(k)} \quad (7)$$

где  $q_\phi^{(k)}$  - потери воды на фильтрацию в  $k$ -ом участке, приведенные

к единице длины канала:  $\delta_k = \frac{\delta'_k}{L_k}, \delta'_k = \frac{1+(-1)^k}{2}$  -забор воды на боковой отток,

приведенный к единице длины бокового русла. Если на рассматриваемом участке трассы транзитный расход воды равен  $Q_n$ , то, согласно (7),

$$Q_n = Q_n^{(k)} - \sum_{n=1}^k x_n q_\phi^{(n)} - \sum_{n=1}^k \delta_n q_{om}^{(n)} x_n \quad (8)$$

В коротких каналах, например в ручейках водохранилище «Учкизил» рис.1. или при малом изменении расхода на фильтрацию  $q_{\phi}^{(k)} = 0$

$\frac{(u_k - V_{\phi}^{(k)}) dQ_{\phi}^{(k)}}{Q_k \partial x_k} = 0$ . В место уравнение (6) можно использовать упрощенное уравнение

$$\frac{\partial u_k}{\partial t} + u_k \frac{u_k}{g} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} + g \frac{\partial h_k}{\partial x_k} = g \left( i_0^{(k)} - \frac{u_k^2}{CR_k} \right) + \frac{\delta'_k (u_k - V_k)}{Q_k} \frac{dQ_{om}^{(k)}}{dt} \quad (9)$$

Уравнение неразрывности (7) также упрощается

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{Q}_k}{\partial x} = -\delta'_k q_{om}^{(k)} \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) могут быть использованы и в отсутствие фильтрации из каналов на пример Сурхандарьи. Однако эти упрощения незначительно облегчают численное решение уравнений.

Для определения потерь воды на фильтрацию из трассы канала  $k$ -го участка неравномерного движения используем формулу Павловского:

$$q_{\phi}^{(k)} = K_1^{(k)} (B_u^{(k)} + 2h^{(k)}) \quad (11)$$

где  $B_u^{(k)}$  - ширина  $k$ -го участка канала по урезу (рис.2);  $K_1^{(k)}$  - коэффициент фильтрации  $k$ -го участка канала. Тогда скорость фильтрации определится как:

$$V_{\phi}^{(k)} = \frac{K_{\phi}^{(k)}}{\chi_k} (B_u^{(k)} + 2h^{(k)}) \quad (12)$$

здесь  $\chi_k$  - смоченный периметр  $k$ -го участка канала. Скорость отделиющихся масс за счет боковых оттоков [5, 6] равна:

$$V_k = V_{om}^{(k)} \cos \bar{\theta}_k, \quad V_{om}^{(k)} = \frac{Q_{om}^{(k)}}{\omega_c^{(k)}} \quad (13)$$

где  $\bar{\theta}_k$  — угол между направлениями скоростей уходящей массы и основного потока;  $\omega_c^{(k)}$  — площадь живого сечения оттекающего потока в  $k$ -м русле, определяемая в случае призматических русел по формуле

$$\omega_c^{(k)} = (b_k + m_k^0 z_k) z_k \quad (14)$$

здесь  $z_k$  высота открытия затвора, которая меняется в пределах  $0 \leq z_k \leq h^{(k)}$ . Из (6) и (14) получаем выражение для расходов за счет фильтрации в единицу времени:

$$\frac{dQ_\phi}{dt} = K_\phi^{(k)} \left[ u_k (B_{iii}^{(k)} + 2h^{(k)}) + 2(m_k + 1)x_k \left( \frac{\partial h^{(k)}}{\partial t} + u_k \frac{\partial h^{(k)}}{\partial x_k} \right) \right] \quad (15)$$

Чтобы вычислить расход на  $k$ -м участке трассы, выразим производные  $\frac{\partial u_k}{\partial t}$

и  $\frac{\partial u_k}{\partial x_k}$  через расход воды. Уравнения (6) умножим на  $\omega_k$  и произведём некоторые преобразования, используя выражения (12) – (15) для призматических каналов.

Уклон свободной поверхности  $k$ -го участка канала  $I$ , определяется по формуле

$$\frac{\partial h^{(k)}}{\partial x_k} \text{ -градиент глубины наполнения; } Q_{om}^{(k)} = \mu_k z_k (b_k^{(0)} + m_k^0 z_k) \sqrt{2gz_k} \text{ -}$$

расход воды на боковых оттоках ( $\frac{M^3}{сек}$ ) (рис.1.), где  $\mu_k$  - коэффициент

расхода, определяемый зависимостью [7]  $\mu_k = 0,62 \left( 1 - 0,12 \frac{z_k}{h^{(k)}} \right)$

$$i_0^{(k)} = I + \frac{\partial h^{(k)}}{\partial x_k}$$



$\frac{\partial h^{(k)}}{\partial x_k}$  -градиент глубины наполнения;  $Q_{om}^{(k)} = \mu_k z_k (b_k^{(0)} + m_k^0 z_k) \sqrt{2gz_k}$  -

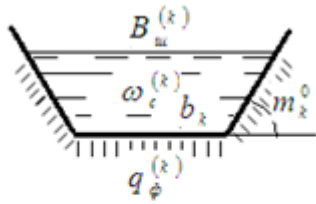


Рис.2. Площадь живого сечения оттекающего потока

расход воды на боковых оттоках ( $\frac{M^3}{сек}$ )

(рис.1.), где  $\mu_k$  — коэффициент расхода, определяемый зависимостью [7]

$$\mu_k = 0,62 \left( 1 - 0,12 \frac{z_k}{h^{(k)}} \right).$$

Распределение боковых расходов

определялось методом случайного поиска и проверялось по критерию

$$0 \leq Q_{om}^{(k)} \leq Q_n^{(k)}$$

где  $Q_n^{(k)}$  — потребность  $k$ -го участка. Выявлено, что полученные результаты совпадают с данными наблюдений и условие сходимости устойчиво выполняется. Конечные величины уточнялись за третьим знаком после запятой, и погрешность практически не превышала 2,5%. Расчеты проводились при следующих исходных данных:  $g = 9,81 \frac{M}{сек^2}$ ,  $H_M^{(1)} = 2M$

$$\beta_k = 1,13472, \theta_k = \frac{\pi}{2}, K_\phi^{(k)} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{M}{сек}, m_k = 1,5, i_0^{(k)} = 10^{-4}, m_0^{(k)} = 0,025.$$

$k$	$L_k, M$	$\omega_k, M^2$	$Q^{(k)}, \frac{M^3}{c}$	$h^{(k)}, M$	$z_k, M$	$q_\phi^{(k)}, \frac{M^3}{c}$	$Q_n^{(k)}, \frac{M^3}{c}$
1	1000	41,48	40,32	1,882	0	0,59	0
2	1,5	40,68	39,05	1,789	0,38	8,9.1 <sup>-</sup>	1,25
3	700	40,47	38,77	1,783	0	0,28	0
4	1,0	39,58	37,51	1,767	0,44	5,81	1,25
5	1120	39,09	36,60	1,749	0	0,91	0
6	0,5	37,95	35,35	1,718	0,54	2,5.1 <sup>-</sup>	1,25
7	1000	37,54	34,79	1,706	0	0,56	0

8	2,5	36,50	33,52	1,675	0,30	1,4.1 <sup>-</sup>	1,25
9	1500	35,66	32,40	1,645	0	1,12	0

Точность и правильность приведенного алгоритма оценивалась сопоставлением машинных данных с данными [1,5,11]. В частности, при  $k=1$  установлена правильность построенного алгоритма расчета. Анализ результатов расчета подтверждает, что алгоритм может быть использован при решении задач оптимального управления распределением водных ресурсов магистрального канала между боковыми отводами при различных дефицитах.

### **Выводы:**

1. Использование решений гидравлики открытых бурных плановых потоков (методы Н. Т. Мелешенко и Ф. И. Франкля) допустимо для весьма приближенных оценок гидравлических характеристик потока в пределах рассмотренной конструкции водосброса с боковым сливом и отбросом потока в русло нижнего бьефа (ВБТ).

2. Использование методов расчета боковых водосливов неприемлемо без дополнительных усовершенствований и разработок для практических расчетов водосброса с боковым сливом и отбросом потока в нижний бьеф.

3. Решена задача оптимального распределения воды между потребителями с учетом забор воды для орошения, фильтрация, испарение и. т. д. – т.е. потеря вдоль трассы каналов

4. Получен аналитическое выражение и составлен алгоритм расчета оптимального управления распределением водных ресурсов магистрального канала.

5. Анализ результатов расчета подтверждает, что алгоритм может быть использован при решении задач оптимального управления распределением

водных ресурсов магистрального канала между боковыми отводами при различных дефицитах.

### Использованная литература

1. Факторович М. Э. Водосброс с боковым сливом и отбросом потока в нижний бьеф. Известия ВНИИГ, т. 92, 1970.
2. Мелещенко Н. Т. Плановая задача гидравлики открытых водотоков. Известия ВНИИГ, т. 36, 1948.
3. Франкль Ф. И. Теоретический расчет неравномерного бурного течения на быстротоке. Труды физико-математического факультета Киргизского ун-та. Вып. 3. Фрунзе, 1955.
4. Ненько Я. Т. О движении жидкости с переменной вдоль потока массой. Труды Харьковского гидрологического ин-та. Харьков, 1937.
5. Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Махмудов И.Э. «Гидромеханика» Тошкент Ўзбекистон Фанлар академияси “ФАН” нашриёти -2008, 436 б
6. Xudaykulov S.I. “Gidravlika” Durdona nashriyoti. Vuxara -2017. 316bet.
7. Худайкулов С.И., Якшибаев Д.С., Усманов А.Х. угли, Нишонов Ф.К. "Change in concentration of collector waters along the flow length taking into account the difference in densities "Asian Journal of Research № 1-3, 2019, ISSN 2433-202x, journal DOI 10.26739/2433-202x,Japan, Osaka,2019, з.39-43
8. Дульнев В. Б. Установившееся неравномерное движение с переменным расходом в открытых руслах заданной формы. Известия ВНИИГ. т. 62, 1959.
9. Begimov U. I., Khudaykulov S.I., Narmanov O. A. «Formations of Ventilated Caves and Their Influence on the Safety of Engineering Structures» International Journal of Academic Information Systems Research (IJASIR)

ISSN: 2643-9026 Vol. 5 Issue 1, January - 2021, Pages: 105-109. **1,05 импакт фактор**. Impact Factor.

10. N.A. Usmonova, Prof. S.I. Khudaykulov. Spatial caverns in flows with their perturbations impact on the safety of the karkidon reservoir. 3rd Global Congress on Contemporary Science and Advancements Hosted From New York USA [www.econferenceglobe.com](http://www.econferenceglobe.com). TECHMIND-2021, 126-130.

11. Худайкулов С.И., Яхшибоев Д.С. «Моделирование динамики развития стратификационных течений многофазных жидкостей. Издательство «Наврўз» Тошкент -2017. Монография. 136 с

12. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Шербаев М.Р. Математические модели водоподачи Куюмазарской насосной станции с водохранилищем сезонного регулирования// Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики», 2017, №6, С. 13 – 20.

13. Ш. Х. Рахимов, А. Ж. Сейтов, М. Р. Шербаев, Д. Жумамурадов, 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).

14. Қодиров, Д. Т., Кадиров, С. Б., Шербаев, М. Р., Эрманов, Р. А. (2021). Оҳангарон сув омбори тўғониға кўчки жараёнларининг таъсирини таҳлил қилиш // “ACADEMIC RESEARCH IN EDUCATIONAL SCIENCES (ARES)” илмий журналининг 2-том 5-сони. 606-615 б. (<https://doi.org/10.24411/2181-1385-2021-00933>).

15. Қодиров, Д. Т., Кадиров, С. Б., Шербаев, М. Р., Турдибоев, Ё. Я., Рустамов, Ш. Т., Музаффарова, Г. У. (2021). Талимаржон сув омборида олиб борилган дала-тадқиқот кузатув натижалари // “ACADEMIC RESEARCH IN EDUCATIONAL SCIENCES (ARES)” илмий журналининг 2-том 4-сони. 1213-1220 б. (<https://doi.org/10.24411/2181-1385-2021-00721>).

16. Ш.Рахимов, М.Шербоев, Д.Қодиров, Ё.Турдибоев, А.Муталов. - Сув хўжалиги соҳасидаги йирик насос станцияларни автоматика ва бошқариш тизимларини қўллаган холда ишлаш режимларини такомиллатириш (Қуйимозор насос станцияси мисолида) // “Сув хўжалигининг замонавий муаммолари” мавзусидаги анъанавий ХХ - ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий - амалий анжумани мақолалар тўплами. Тошкент. 25-26 май 2021 йил. Б. 427-430.

17. Д.Т. Қодиров, С.Б.Кадиров, М.Р.Шербаев Р.А.Эрманов. ТАЛИМАРЖАН ВОДОХРАНИЛИЩЕ ДЛЯ ДРЕНАЖНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ И ЕГО ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ // Экономика и социум. Россия. 2021 г. Июнь. Ст. 787-793.