

УДК 532.5.013.2

UDC 532.5.013.2

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТУПИКОВЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**FEATURES OF THE CALCULATION OF DEAD-END CHANNELS FOR THE CASE OF AUTOMATED IRRIGATION SYSTEM**

Ткачев Александр Александрович

Tkachev Aleksandr Aleksandrovich

д.т.н., доцент

Doctor of Technical Science, associate professor

SPIN-код 4732-0239, gts_i_sm.nimi@mail.ruRSCI SPIN-code 4732-0239, gts_i_sm.nimi@mail.ru

Зарубин Валерий Валерьевич

Zarubin Valerij Valerjevich

аспирант

postgraduate student

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова Донской ГАУ, Новочеркасск, Россия**Novocherkassk Engineering Meliorative Institute named after A.K. Kortunov, Novocherkassk, Russia*

В работе рассматривается метод гидравлического расчета тупиковых каналов с применением численных решений дифференциальных уравнений движения воды. Тупиковые каналы представляют интерес для проведения имитационных исследований, поскольку могут быть использованы для моделирования процессов водоучета и водораспределения во внутренней межхозяйственной сети. С целью повышения качества управления подачи воды потребителям в узлах водовыдела на многих оросительных системах создаются дополнительные емкости в виде бассейнов регулирования. Применяемый способ активного управления водораспределением предполагает задействовать имеющиеся емкости оросительных каналов с использованием авторегуляторов на перегораживающих сооружениях. При полном отключении водопотребителей объемы воды в бьефах оросительного канала перераспределяются таким образом, чтобы обеспечить командование территорией в узлах водовыдела в любой момент времени. Такой результат можно получить путем автоматического контроля за изменением уровня в отдельных бьефах канала с тем, чтобы перераспределять резервные объемы в отдельных бьефах. Поиск и выбор необходимого закона работы автоматических регуляторов может решить следующие задачи: эффективно реализовать технологические процессы регулирования и управления водоподачей в заданных узлах; максимально эффективно использовать объемы бьефов в каналах, предотвращая угрозу переполнения каналов; минимизировать потери оросительной воды на сброс

In this article we consider the method of hydraulic calculation of dead-end channels with the numerical solutions of differential equations of motion of water. Dead-end channels are of interest for carrying out simulation studies, because they may be used for the simulation of water accounting and water distribution in the domestic inter-farm network. In order to improve management of water supply to consumers in the water distribution sites, in many irrigation systems there is an additional capacity in the form of a regulation pool. The applied method of active control of light distribution is expected to use the existing capacity of irrigation canals with automatic regulators to block the plants. When there is a complete disconnection of water consumers, the volumes in pools of water irrigation channel are redistributed to provide the command area in the water distribution nodes at any given time. This result can be achieved by automatic control of the level changes in individual pools of the channel in order to redistribute the volumes to backup pools of individual. Search and selection of the necessary rule of automatic controls can achieve the following objectives: to implement effective processes and management of water supply regulation in the specified node; maximize the use of volume tail water channels, preventing the threat of overflow channels; minimize the loss of irrigation water discharge

Ключевые слова: НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ, ТУПИКОВЫЕ КАНАЛЫ, ЗАКОН АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДОПОДАЧИ И ВОДООТВЕДЕНИЯ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК,

Keywords: UNSTEADY FLOW OF WATER, DEAD-END CHANNELS, RULE OF AUTOMATIC REGULATION OF WATER SUPPLY AND SANITATION, DIFFERENTIAL EQUATIONS CHARACTERISTICS, OFF WATER DISTRIBUTION FACILITIES

ПЕРЕГОРАЖИВАЮЩИЕ И
ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**Введение**

Важным структурным элементом автоматизированных оросительных систем являются саморегулирующиеся каналы. В расчете тупиковых каналах существуют свои особенности, поскольку регулирование водоподачи с использованием автоматических регуляторов по уровню воды по верхнему бьефу сооружений можно реализовать с учетом отражения волновых процессов. При этом необходимо использовать подход, при котором объем потребляемой оросительной воды соответствует объему, поступающему в тупиковый оросительный канал. На автоматизированных оросительных системах данный подход реализуется с использованием математических моделей и методов имитационного моделирования технологических процессов водоподачи и водоотведения в условиях неустановившегося движения воды [1-3]. Лучший результат будет достигнут в случае автоматизации всего технологического процесса водоподачи - от водозабора до полива путем внедрения соответствующих технических средств на объектах регулирования водоподачи.

Водовыпуски открытых оросителей являются объектами регулирования на внутрихозяйственной оросительной сети, где происходят наибольшие потери воды (до 20% от объема водоподачи). Эти гидротехнические сооружения являются наиболее массовыми, они рассредоточены на большой территории, поэтому использование здесь регуляторов автоматического действия будет эффективнее [4]. Именно поэтому работы, направленные на совершенствование технических средств регулирования водоподачи для открытой внутрихозяйственной сети оросительных систем, представляют собой научный и практический интерес.

Эффективное управление процессами водоподачи, водораспределения и использования воды в узлах водовыдела предусматривает автоматизацию оросительных систем. Автоматизация оросительных систем должна обеспечивать наибольший технико-экономический эффект в процессе эксплуатации мелиоративных систем, максимальное соответствие между водоподачей и водопотреблением. Весь процесс от водозабора до полива необходимо рассматривать как единый и непрерывный [4].

Выбор закона регулирования водоподачи на автоматизированных тупиковых каналах для соответствующих целей может решить следующие задачи: эффективно реализовать технологические процессы регулирования и управления водоподачей в заданных узлах; максимально эффективно использовать объёмы бьефов в каналах, предотвращая угрозу переполнения каналов; минимизировать потери оросительной воды на сброс [2].

Для указанного закона регулирования с использованием авторегуляторов процесс включения водопотребителей может быть как растянутым во времени, так и мгновенным. При этом пропускная способность бьефов тупикового канала соответствует общему расходу водопотребителей. При моделировании динамического режима работы участников забора оросительной воды в тупиковых каналах процесс водоподачи должен автоматически изменяться в диапазоне от максимальных значений при полном включении в до минимальных значений при полном отключении водопотребителей [5].

Математические модели для имитационных исследований процессов регулирования водоподачи и водоотведения рассчитываем согласно уравнений Сен-Венана, записанных в характеристической форме [6-8]:

$$dU + \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega = \left[(\pm q) \sqrt{\frac{g}{B\omega}} + g \left(i_0 - \frac{U^2}{C^2 R} \right) \mp \frac{U}{\omega} q \right] dt ,$$

(1)

$$(U + \sqrt{\frac{g\omega}{B}})(dU + \sqrt{\frac{g}{B\omega}}d\omega) = [(\pm q)\sqrt{\frac{g}{B\omega}} + g(i_0 - \frac{U^2}{C^2R}) \mp \frac{U}{\omega}q]dX ,$$

$$dU - \sqrt{\frac{g}{B\omega}}d\omega = [-(\pm q)\sqrt{\frac{g}{B\omega}} + g(i_0 - \frac{U^2}{C^2R}) \mp \frac{U}{\omega}q]dt ,$$

(2)

$$(U - \sqrt{\frac{g\omega}{B}})(dU - \sqrt{\frac{g}{B\omega}}d\omega) = [(\pm q)\sqrt{\frac{g}{B\omega}} + g(i_0 - \frac{U^2}{C^2R}) \mp \frac{U}{\omega}q]dX ,$$

где U – средняя скорость течения воды в сечении, м/с; H – глубина потока, м; X – пространственная координата, м; t – время, с; ω – площадь поперечного сечения, м²; B – ширина водотока по урезу воды, м; g – ускорение силы тяжести, м/с²; C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с; R – гидравлический радиус м; I_0 – уклон дна водотока; $\pm q$ – расход притока (оттока) воды от бортов русла, м²/с.

Знак (+) отвечает расходу притока воды к бортам русла, знак (–) отвечает, соответственно, расходу оттока воды от бортов русла. Первые уравнения относятся к прямой характеристике, вторые уравнения – к обратной характеристике.

С целью повышения качества управления подачи воды потребителям в узлах водовыдела на многих оросительных системах создаются дополнительные емкости в виде бассейнов регулирования, в которых происходит накопление расчетного объема воды и последующая сработка его в заданное время, что позволяет обеспечить забор воды насосной станцией в ночное время по низким тарифам и снижать непроизводительные сбросы воды в магистральном канале.

Однако, используемые в настоящее время гидравлические методы расчета, справедливые для установившегося течения воды, не в состоянии реализовать необходимый уровень управления водоподачей. Применяемый способ активного управления водораспределением предполагает

задействовать перегораживающие сооружения с использованием авторегуляторов и перераспределять объемы воды в бьефах оросительного канала таким образом, чтобы обеспечить командование территорией в узлах водовыдела в любой момент времени, при отключении водопотребителей. Такой результат можно получить путем автоматического контроля за изменением уровня в отдельных бьефах канала с тем, чтобы перераспределять резервные объемы в отдельных бьефах.

В процессе управления водораспределением необходимо учитывать уставку по изменению глубины так, чтобы в каждой точке водозабора в любой момент времени было обеспечено командование уровнем, но при этом исключалась возможность переполнения бьефа канала. С этой целью предполагается использование локальных автоматических регуляторов по верхнему или нижнему бьефам сооружения, которые открытием щитов на перегораживающих сооружениях контролируют изменения уровня или расхода воды в верхнем или нижнем бьефах и имеют возможность перераспределять резервные объемы между отдельными смежными бьефами.

В процессе имитационных исследований под резервной емкостью понимается объем заполненной водой фигуры между последующим и предыдущим расчетными створами в бьефах магистрального канала, который представляет многогранник в виде обелиска или клина. В данном случае высотой обелиска является протяженность канала между соседними расчетными створами. Нижним и верхним основаниями обелиска являются трапеции, расположенные в параллельных плоскостях (рис. 1). Боковыми гранями обелиска являются также трапеции. Если одно из оснований обелиска сливается в прямую линию, такой обелиск называется клином (рис. 2).

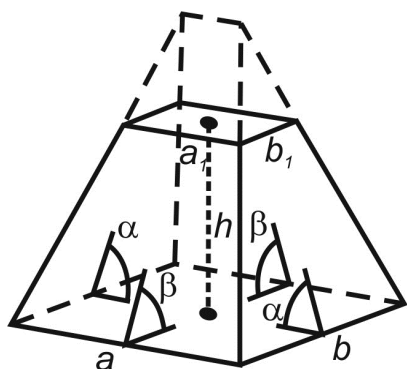


Рисунок 1 – Обелиск. a, b и a₁, b₁ – стороны оснований, h – высота

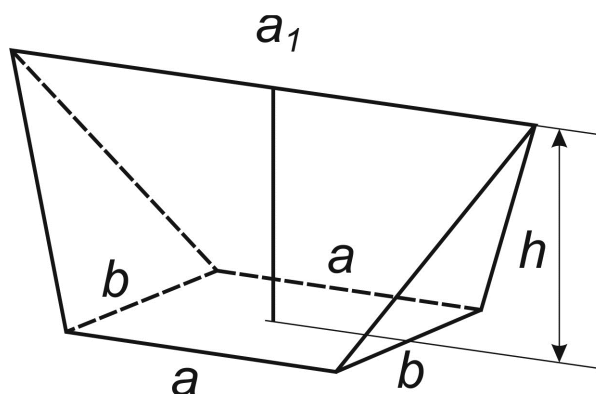


Рисунок 2 – Клин. a, b и a₁ – стороны оснований, h – высота

Объем наполнения или опорожнения многогранника в виде обелиска регулирования резервных емкостей на расчетном участке бьефов магистрального канала определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 W(nb, ns) = & [(xp(nb, ns) + xt(nb, ns) - xp(nb, nsl) - xt(nb, nsl)) / 2] \times \\
 & \times \{ [(2 \cdot b(nb, ns) + b(nb, ns)) \cdot (glp(nb, ns) - glt(nb, ns)) + \\
 & + (2 \cdot b(nb, nsl) + b(nb, ns)) \cdot (glp(nb, nsl) - glt(nb, nsl))] / 6 + \\
 & + 2/3 \cdot m(nb, ns) \cdot [(glp(nb, ns) - glt(nb, ns))^2 - (glp(nb, nsl) - glt(nb, nsl))^2 + \\
 & + (glp(nb, ns) - glt(nb, ns))^2 - (glp(nb, nsl) - glt(nb, nsl))^2 + \\
 & + (glp(nb, ns) - glt(nb, ns)) \cdot (glp(nb, nsl) - glt(nb, nsl))] \} .
 \end{aligned}$$

Здесь: W(nb, ns) – объем наполнения (опорожнения) многогранника в виде обелиска регулирования резервных емкостей на расчетном участке бьефов магистрального канала; nb – номер расчетного бьефа; ns, nsl – номера створов, соответственно последующего и предыдущего; b(nb, ns) – ширина водотока по урезу воды; m(nb, ns) – заложение откоса канала; xp(nb, ns), xt(nb, ns) – координаты расчетных створов на последующем и предыдущем временных расчетных шагах. (Примечание: координаты расчетных створов могут незначительно видоизменяться, так как в методе характеристик координатная сетка является нерегулярной); glp(nb, ns), glt(nb, ns) – глубины воды в расчетных створах канала на последующем и предыдущем временных расчетных шагах.

Для расчета неустановившихся динамических режимов течения воды в открытых призматических руслах рассматривается регулирование по уровню верхнего бьефа в первом створе канала для варианта регулирования, соответствующего случаю полного мгновенного отключения и затем полного мгновенного включения всех водопотребителей [9-13]. В голове канала одновременно подается заданный расход в соответствии с указанным законом регулирования, а граничные условия определяются расходами потребителей в узлах водовыдела.

Объекты и методы исследования

Для расчета неустановившегося течения воды в каналах разработана математическая имитационная модель, реализованная в виде программного комплекса, основанный на методе характеристик [14]. При проведении имитационных исследований по поиску оптимального размещения регуляторов согласно принятой схемы управления водораспределением использовались натурные данные канала Пригородной оросительной системы г. Краснодар [5].

В качестве математических зависимостей для расчета управляющих воздействий затвором головного перегораживающего сооружения канала рассматриваются законы регулирования дискретного действия. В соответствии с принятыми математическими зависимостями, описывающими процесс контроля и управления осуществляется контроль за режимом работы и управлением затворами перегораживающих сооружений в дискретные моменты времени.

Стационарное состояние при моделировании процесса регулирования водоподачи и водопотребления характеризуется установившимся режимом водопотребления, при этом в качестве граничных условий приняты гидравлические параметры канала по бьефам, соответствующие установившемуся неравномерному течению с расходом

воды в голове канала $Q = 5,1 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубиной воды $h = 2,85 \text{ м}$. В конце 7 бьефа тупикового канала расход воды приближен к нулю, а глубина воды $h = 1,9 \text{ м}$.

Процесс моделирования динамических процессов, характерных для неустановившегося течения воды начинается с момента мгновенного отключения всех водопотребителей (с изменением расхода с $5,1$ до минимально возможного $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$) и характеризуется уменьшением расходов и повышением уровней воды в бьефах канала. При проведении имитационных исследований выявлено максимально возможный период работы бьефов каналов с учетом аккумулирующей возможности при мгновенном полном аварийном отключении водопотребителей, который составляет 10250 с . Затем водоподача в голове канала прекращается объемы воды перераспределяются в бьефах канала. Условиями эксплуатации тупикового оросительного канала определяется временной период сработки накопленных объемов (для условий Пригородной оросительной системы принят $\Delta T = 2600 \text{ с}$), после чего происходит мгновенное включение всех водопотребителей и величины начальных расходов воды в бьефах восстанавливаются. Данный цикл работы тупикового оросительного канала может повторяться заданное количество раз.

На рис. 3 представлен график зависимостей изменения $H=f(t)$ в головных створах 1, 4, 6 и в конечном створе 7 бьефов тупикового оросительного канала с авторегулятором уровня воды по верхнему бьефу сооружений при моделировании мгновенного полного отключения и последовательного мгновенного включения водопотребителей. Процесс имитации динамических процессов, характерных для неустановившегося течения воды начинается с момента мгновенного отключения всех водопотребителей (с изменением расхода с $5,1$ до минимально возможного

0,1 м³/с) и характеризуется повышением уровней воды в бьефах канала, при этом объемы воды в бьефах накапливаются.

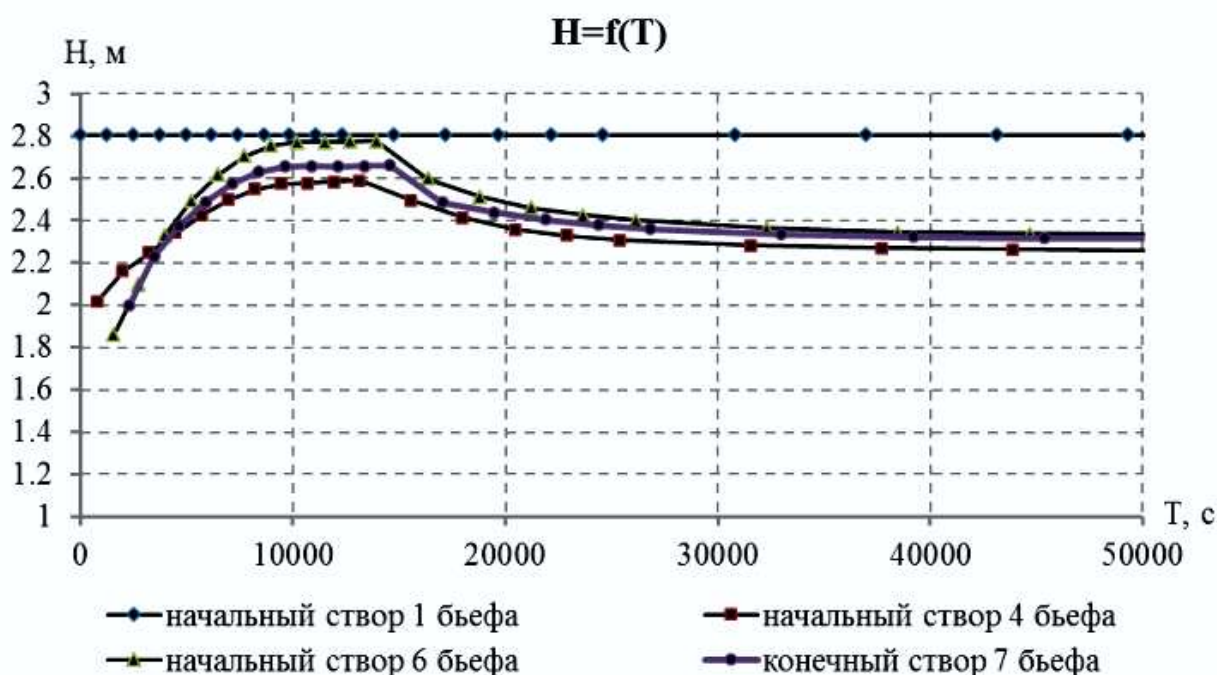


Рисунок 3 – Зависимости изменения глубин воды от времени в начальных створах 1, 4, 6 и в конечном створе 7 бьефов тупикового саморегулирующегося канала при мгновенном полном отключении и при последовательном мгновенном полном включении водопотребителей

На рис. 4 представлена зависимость, которая графически демонстрирует алгоритм работы автоматического регулятора уровня воды по верхнему бьефу сооружений в головном створе канала. Изменения открытия затвора от времени в начальном створе 2 бьефа тупикового саморегулирующегося канала при мгновенном полном отключении и при последовательном мгновенном полном включении водопотребителей соответствуют принятому закону автоматического регулирования уровня воды.

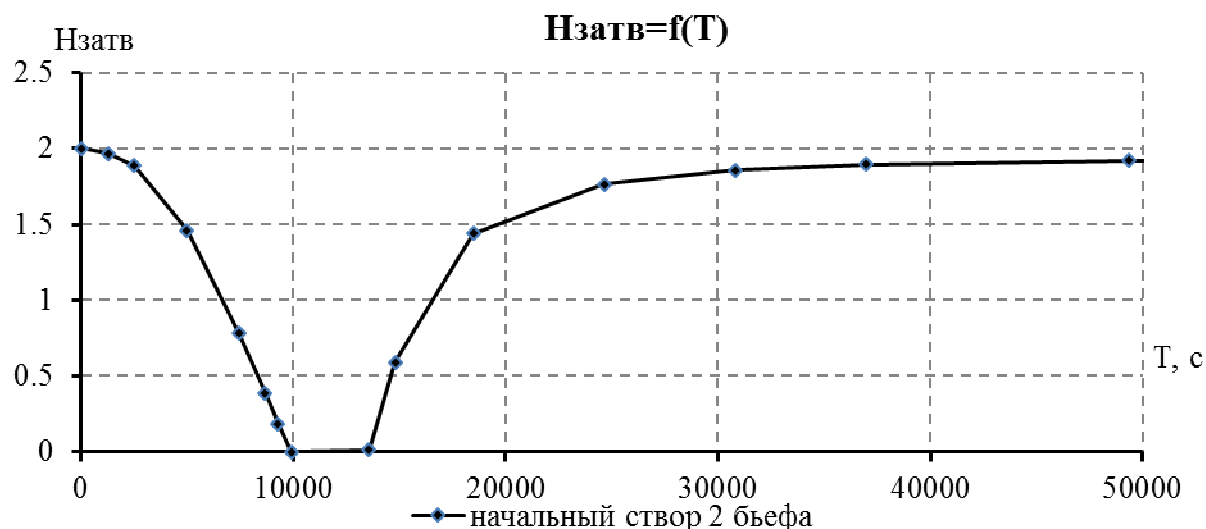


Рисунок 4 – Зависимость изменения открытия затвора от времени в начальном створе 2 бьефа тупикового саморегулирующегося канала при мгновенном полном отключении и при последовательном мгновенном полном включении водопотребителей.

Выводы

На математической модели с использованием полученных решений проведены имитационные исследования по поиску и выбору оптимальных гидравлических и технологических параметров тупиковых саморегулирующихся распределительных каналов оросительных систем с автоматическими регуляторами. Предлагаемый способ имитационных исследований тупиковых каналов позволяет максимально эффективно использовать имеющиеся резервные емкости воды в бьефах. Такой результат достигается усилением контроля за изменением расходов и уровней в бьефах, что позволяет существенно повысить качество работы водозаборного сооружения и точность системы водоучета и водораспределения в целом, а следовательно рационально использовать объемы бьефов в каналах; обеспечивать бесперебойную подачу воды водопотребителям; минимизировать технологические потери воды; предотвращать угрозу перелива воды через дамбы каналов.

Литература

1. Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А., Иваненко А.Ю. Гидравлические аспекты устойчивых водных потоков в неразмываемых и размываемых руслах. Новочеркасск: Изд. ООО «Лик», 2013. 352с.
2. Иваненко Ю.Г. Теоретические принципы и решения специальных задач гидравлики открытых водотоков: учеб. пособие / Ю.Г. Иваненко, А.А. Ткачев. -2-е изд., перераб.. -Новочеркасск, 2013. -203 с.
3. Ткачев А.А. Расчет переходных процессов в бьефах магистрального канала при различных схемах регулирования для способа активного управления водораспределением // Известия ВУЗ. Сев.-Кав. регион. Сер.: Технические науки. № 3. 2011. С. 86-90.
4. Скворцов В.Ф. Совершенствование технических средств регулирования водоподачи для внутриводопольной сети оросительных систем: Автореф. дисс. канд. тех. наук. Волгоград, 2011. С.3-4. URL://dlib.rsl.ru/viewer/01005004727#?page=4
5. Ткачев А.А. Расчет расходов воды в магистральных каналах для неустановившегося режима течения // Гидротехническое строительство. № 3. 2009. С. 42-46.
6. Ткачев А.А. Управление водораспределением в оросительных магистральных каналах // Аграрный научный журнал. № 6. 2010. С. 24-27.
7. Ткачев А.А. Управление водораспределением в каналах с локальным регулированием уровней воды по верхнему бьефу перегораживающих сооружений // Мелиорация и водное хозяйство. № 5. 2008. С. 37-40.
8. Иваненко Ю.Г., Лобанов Г.Л., Ткачев А.А. Алгоритмы для способа водоизмерения при переходных динамических режимах течения воды в руслах полуограниченной протяженности // Мелиорация антропогенных ландшафтов Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ; Новочеркасская мелиоративная академия. Новочеркасск, 1999. С. 9-14.
9. Иваненко Ю.Г. Метод расчета гидравлических параметров земляного канала с установившимся неравномерным течением воды с переменным расходом /Ю.Г. Иваненко// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 78. 2012. С. 250-257. URL: ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/32.pdf.
10. Косиченко Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство. № 3. 2008. С. 67-71.
11. Ruidival dos Santos Filho J. Injective mappings and solvable vector fields of euclidean spaces // Topology and its Applications. 2004. Vol. 136. № 1-3. P. 261-274.
12. Schwab C., Todor R.A., Süli E. Sparse finite element approximation of high-dimensional transport-dominated diffusion problems // Mathematical Modeling and Numerical Analysis. 2008. Vol. 42. № 5. P. 777-819.
13. Kokhanenko V.N., Duvanskaya E.V., Molev M.D., Zanina I.A., Plev A.G. The new approach when solving the equation of the extreme current line in the problem of free spreading of a turbulent flow // International journal of applied engineering research. 2015. Vol. 10. № 4. P. 10033-10040.
14. «Программа моделирования процессов управления водораспределением с использованием локальных регуляторов уровней воды и расходов воды». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613706 от 19 апреля 2012 г. / Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А., Коржов В.И.; заявитель и правообладатель ФГОУ ВПО Новочерк. гос. мелиор. акад.

References

1. Ivanenko Ju.G., Tkachev A.A., Ivanenko A.Ju. *Gidravlicheskie aspekty ustojchivyh vodnyh potokov v nerazmyvaemyh i razmyvaemyh ruslah*. Novochoerkassk: Izd. OOO «Lik», 2013. 352s.
2. Ivanenko Ju.G. *Teoreticheskie principy i reshenija special'nyh zadach gidravliki otkrytyh vodotokov: ucheb. posobie / Ju.G. Ivanenko, A.A. Tkachev. -2-e izd., pererab.. - Novochoerkassk, 2013. -203 s.*
3. Tkachev A.A. *Raschet perehodnyh processov v b'efah magistral'nogo kanala pri razlichnyh shemah regulirovanija dlja sposoba aktivnogo upravlenija vodoraspredeleniem // Izvestija VUZ. Sev.-Kav. region. Ser.: Tehnicheskie nauki. № 3. 2011. S. 86-90.*
4. Skvorcov V.F. *Sovershenstvovanie tehniceskikh sredstv regulirovanija vodopodachi dlja vnutrihozjajstvennoj seti orositel'nyh sistem: Avtoref. diss. kand. teh. nauk. Volgograd, 2011. S.3-4. URL://dlib.rsl.ru/viewer/01005004727#?page=4*
5. Tkachev A.A. *Raschet rashodov vody v magistral'nyh kanalakh dlja neustanovivshegosja rezhima techenija // Hidrotehnicheskoe stroitel'stvo. № 3. 2009. S. 42-46.*
6. Tkachev A.A. *Upravlenie vodoraspredeleniem v orositel'nyh magistral'nyh kanalakh // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. № 6. 2010. S. 24-27.*
7. Tkachev A.A. *Upravlenie vodoraspredeleniem v kanalakh s lokal'nyim regulirovaniem urovnej vody po verhnemu b'efu peregorazhivajushhih sooruzhenij // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. № 5. 2008. S. 37-40.*
8. Ivanenko Ju.G., Lobanov G.L., Tkachev A.A. *Algoritmy dlja sposoba vodoizmerenija pri perehodnyh dinamicheskikh rezhimakh techenija vody v ruslah poluogranichennoj protjazhennosti // Melioracija antropogennyh landshaftov Ministerstvo sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija RF; Novochoerkasskaja meliorativnaja akademija. Novochoerkassk, 1999. S. 9-14.*
9. Ivanenko Ju.G. *Metod rascheta gidravlicheskih parametrov zemljanogo kanala s ustanovivshimsja neravnomernym techeniem vody s peremennym rashodom /Ju.G. Ivanenko// Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. № 78. 2012. S. 250-257. URL: ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/32.pdf.*
10. Kosichenko Ju. M. *Voprosy bezopasnosti i jekspluatacionnoj nadezhnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij meliorativnogo naznachenija / Ju. M. Kosichenko // Prirodoobustrojstvo. № 3. 2008. S. 67-71.*
11. Ruidival dos Santos Filho J. *Injective mappings and solvable vector fields of euclidean spaces // Topology and its Applications. 2004. Vol. 136. № 1-3. P. 261-274.*
12. Schwab C., Todor R.A., Süli E. *Sparse finite element approximation of high-dimensional transport-dominated diffusion problems // Mathematical Modeling and Numerical Analysis. 2008. Vol. 42. № 5. P. 777-819.*
13. Kokhanenko V.N., Duvanskaya E.V., Molev M.D., Zanina I.A., Iliev A.G. *The new approach when solving the equation of the extreme current line in the problem of free spreading of a turbulent flow // International journal of applied engineering research. 2015. Vol. 10. № 4. R. 10033-10040.*
14. «Programma modelirovanija processov upravlenija vodoraspredeleniem s ispol'zovaniem lokal'nyh reguljatorov urovnej vody i rashodov vody». *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2012613706 ot 19 aprelja 2012 g. / Ivanenko Ju.G., Tkachev A.A., Korzhov V.I.; zajavitel' i pravoobladatel' FGOU VPO Novochoerk. gos. melior. akad.*