

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/72TVN117.pdf>

Статья опубликована 27.02.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Снежко В.Л., Бенин Д.М. Влияние дефлекторов и разделительных стенок на диапазон и точность работы гидродинамических стабилизаторов расхода // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/72TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 62-522.2

Снежко Вера Леонидовна

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва¹
Заведующая кафедрой «Информационных технологий в строительстве»
Доктор технических наук, профессор
Действительный член Российской академии естествознания
E-mail: VL_Snejko@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=696880

Бенин Дмитрий Михайлович

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва
Доцент кафедры «Информационных технологий в строительстве»
Кандидат технических наук
E-mail: dmitrij552@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=708496

**Влияние дефлекторов и разделительных стенок
на диапазон и точность работы гидродинамических
стабилизаторов расхода**

Аннотация. Ресурсосбережение является одной из основных задач интенсификации сельскохозяйственного производства. Для снижения водоемкости орошаемого земледелия перспективным является внедрение автоматизации водоподачи на каналах мелиоративных систем. Приведены конструктивные особенности гидродинамических регуляторов расхода и основные принципы их работы. Сооружения осуществляют нормированное управление водораспределением, управляющим сигналом служит уровень воды в верхнем бьефе. На основании экспериментальных и теоретических исследований получены зависимости для расчета пределов стабилизации по напорам конструкций с короткими диффузорами при высоких степенях расширения. Оценено влияние дефлекторов и разделительных стенок, установленных в пределах проточной части диффузора, на пределы стабилизации и точность водоподачи.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения; автоматизация; трубчатые водовыпуски; гидравлические сопротивления

¹ 127550, Россия, г. Москва, ул. Б. Академическая, дом 44

Сельское хозяйство сегодня является одной из наиболее водоемких отраслей экономики. Известно, что для выращивания тонны пшеницы необходимо затратить тысячу тонн воды. Без развития мелиоративного комплекса во многих регионах невозможно гарантированное производство продукции растениеводства, связанное с обеспечением продовольственной безопасности страны [10]. Интенсивное развитие орошаемого земледелия подразумевает сокращение водоемкости производства сельскохозяйственных культур за счет внедрения новых технологий водопользования и экономии оросительной воды, в том числе путем сокращения непроизводительных потерь [3]. Потери воды из оросительных каналов в настоящее время могут составлять до 50% от общего объема воды, поступающего из источника орошения на сельскохозяйственные поля. Автоматизация водоподачи сетевых мелиоративных сооружений является одним из путей решения этой проблемы [4]. Наиболее перспективным является применение средств автоматизации, использующих гидравлические свойства потоков и особенности течения через водопропускные сооружения на оросительных каналах. Автоматизированное управление процессом водоподачи может осуществляться с помощью устройств, регулирующих уровни воды и перепады уровней в каналах, и устройств, регулирующих расходы воды [8, стр. 9]. Как правило, автоматические устройства привязываются к водопропускным сооружениям [7].

В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева сформирована научная школа, целью которой являются комплексные исследования в области автоматизации низконапорных водопропускных сооружений, в том числе трубчатых водовыпусков на каналах оросительных систем. Разработанные водовыпуски, называемые гидродинамическими стабилизаторами расхода, могут быть использованы для автоматизации водоподачи как отдельно расположенных гидротехнических сооружений, так и для каскадного управления распределением воды в каналах оросительной системы [1]. Неотъемлемой частью гидродинамического водовыпуска является расширяющийся выходной участок, выполненный в виде плоского или пирамидального диффузора. Исследования авторов показали, что наиболее высокие стабилизирующие характеристики можно получить в конструкциях с высокой степенью расширения выходного участка [2]. Для того чтобы избежать сбойности течения в пределах проточной части диффузоров с высокой степенью расширения и углами расширения, превышающими оптимальные, авторами предложено использование специальных устройств, называемых противосбойными. На гидравлических моделях доказана эффективность устройства как двух разделительных стенок, так и трех рядов дефлекторов в конструкциях гидроавтоматов со степенью расширения выходного участка равной четырем [6].

Целью исследований стало изучение связи стабилизирующей способности водовыпусков с формой исполнения их проточной части, в частности, видом противосбойных устройств, располагаемых в пределах выходного диффузорного участка.

Материалом исследований стали результаты модельных испытаний гидродинамических водовыпусков, полученные авторами в лаборатории гидравлики Российского государственного аграрного университета.

Предлагаемые авторами статьи стабилизаторы расхода реализуют технологическую схему нормированного водораспределения, называемую управлением «сверху вниз». Цель установки стабилизатора расхода на головном участке канала младшего порядка - подача постоянного расхода ниже створа перегораживающего сооружения при любом уровне воды в верхнем бьефе. В основу работы системы регулирования положен принцип Ползунова. Это принцип управления по отклонению, при котором происходит сравнение уровня регулирующего верхнего бьефа с расчетным уровнем (в данном случае минимальным), и при отклонении в большую сторону запускается процесс стабилизации (рисунок 1). Конструкция,

методика гидравлического расчета и апробация работы водовыпуска-регулятора выполнены авторами.

Поступающий через управляющую башню поток q , сливаясь с транзитным потоком Q , вызывает дополнительные гидравлические сопротивления, снижающие пропускную способность водовыпуска по заданному закону. Предельное положение верхнего бьефа, до которого стабилизатор способен подавать постоянный расход, определяется по зависимости, полученной авторами:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\zeta_{n.c.} \cdot (1 + m)^2 + m[(2 + m)\zeta_{\partial} + (1 + m) \cdot \Delta\alpha]}{\zeta_{m.c.} + \zeta_{\partial}} - 1 \quad (1)$$

где: $\zeta_{n.c.}$ - коэффициент сопротивления транзитного потока на прямой проход;

m - относительный управляющий расход, $m = \frac{q}{Q}$;

ζ_{∂} - коэффициент сопротивления диффузора при выходе потока в объем нижнего бьефа;

$\Delta\alpha$ - разница между коэффициентами Кориолиса транзитного и управляющего потока в месте слияния;

$\zeta_{m.c.}$ - коэффициент сопротивления транзитного потока до камеры слияния;

ζ_{∂} - коэффициент сопротивления диффузора.

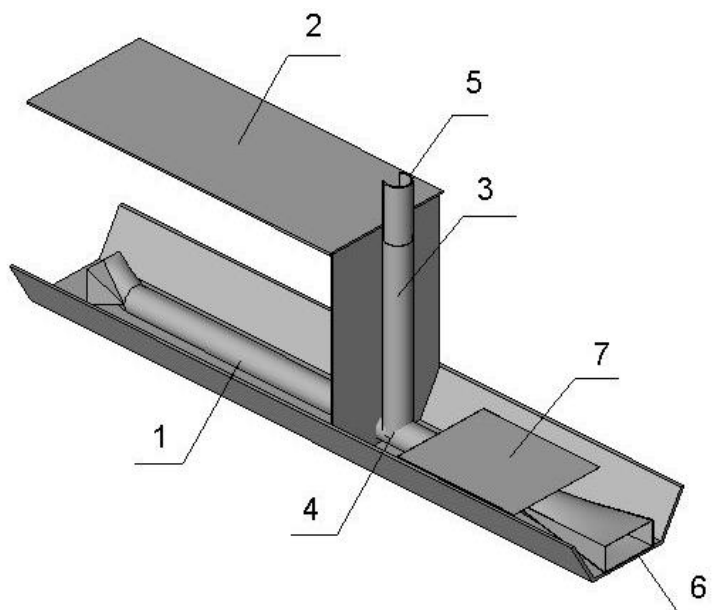


Рисунок 1. Конструктивная схема стабилизатора расхода: 1 - транзитная часть водовыпуска; 2 - управляющий бьеф; 3 - башня; 4 - камера слияния; 5 - водослив для подачи управляющего потока; 6 - плоский диффузор; 7 - уровень воды в отводящем канале (разработано авторами)

Автоматическое управление происходит на основании информации об уровне регулирующего бьефа, который подает сигнал о начале процесса управления и сам формирует управляющее воздействие. Система является ациклической, работает с замкнутой цепью воздействия и при прекращении роста верхнего бьефа приходит в новое равновесное состояние. Закон изменения управляющего воздействия является функцией приращения уровня

регулирующего бьефа ΔH , в которой величина управляющего потока q связана с длиной водосливного фронта b , высотой слоя перелива через водослив и необходимым снижением пропускной способности транзитного водовода. Точность системы, использующей принцип гидродинамического регулирования, обеспечивается отсутствием преобразователей сигнала управления и исполнительных механизмов.

Реализуемый стабилизаторами принцип статического регулирования подразумевает возможность отличия расхода, подаваемого водовыпуском, от некоторой расчетной постоянной величины Q_0 . В теории автоматического управления ее принято называть статической ошибкой или остаточной неравномерностью. Точность стабилизации должна задаваться на стадии проектирования сооружения путем целенаправленного подбора параметров подачи расхода управления, в первую очередь, длины водосливного фронта в стенке управляющей башни. Для определения этих величин требуется рассмотрение уравнений:

$$\frac{q}{Q_0} = k \cdot \left(\frac{\Delta H}{H_0} \right)^{3/2} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta H}{H} = f \left(\frac{Q}{Q_0} \right) \quad (3)$$

где: q - расход, поступающий через управляющий водослив;

Q_0 - расчетный расход водовыпуска при отсутствии процесса стабилизации;

H_0 - напор на сооружение при минимальном уровне управляющего бьефа;

k - коэффициент формы;

ΔH - приращение управляющего бьефа, формирующее сигнал и расход управления;

H - напор на сооружение, равный перепаду уровней воды в бьефах;

Q - расход, подаваемый транзитной частью водовыпуска.

Уравнение (2) соответствует закону поступления управляющего потока через водослив, уравнение (3) является законом подачи управляющего потока. Коэффициент формы k является постоянной величиной, подбираемой проектировщиком из условия:

$$k = \frac{m_0}{\mu_0} \cdot \frac{bH_0}{\omega} = const \quad (4)$$

где: m_0 - коэффициент расхода водослива с учетом скорости подхода;

μ_0 - коэффициент расхода водовыпуска без стабилизации;

b - ширина водосливного фронта в стенке башни;

ω - площадь транзитного водовода.

Закон подачи управляющего потока из условий стабилизации связан с формой низового участка сооружения, исполняемой в виде короткого диффузора с высокой степенью расширения и снабженного устройствами, препятствующими возникновению сбойности течения - разделительными стенками либо несколькими рядами дефлекторов. Вид противосбойных устройств отражается на гидравлическом сопротивлении диффузора ζ_0 и, согласно зависимости (1), оказывает существенное влияние на диапазон стабилизации и на ее

точность. Примеры кривых, построенных по зависимостям (2) и (3) для конструкций стабилизаторов, прошедших гидравлические испытания, приведены на рисунке 2.

Изначально привязка стабилизатора к уровням воды в створе перегораживающего сооружения производится с учетом перепада восстановления, что необходимо учитывать при выходе потока из трубчатого водопропускного сооружения в бьеф, соизмеримый с размерами выходного сечения водовыпуска [9]. В этом случае на величину гидравлического сопротивления диффузора оказывают влияние не только сами противосбойные устройства, но и профиль скоростей в выходном сечении, который они формируют. Чем ближе коэффициент Кориолиса к единице, тем равномернее распределен поток в выходном сечении сооружения. Конструкции, снабженные противосбойными устройствами в виде дефлекторов, имеют меньшее гидравлическое сопротивление и способны производить стабилизацию при росте напора на сооружение более чем в 2 раза. Разделительные стенки менее эффективны, так как гидравлическое сопротивление выходных участков в этом случае на 25% выше.

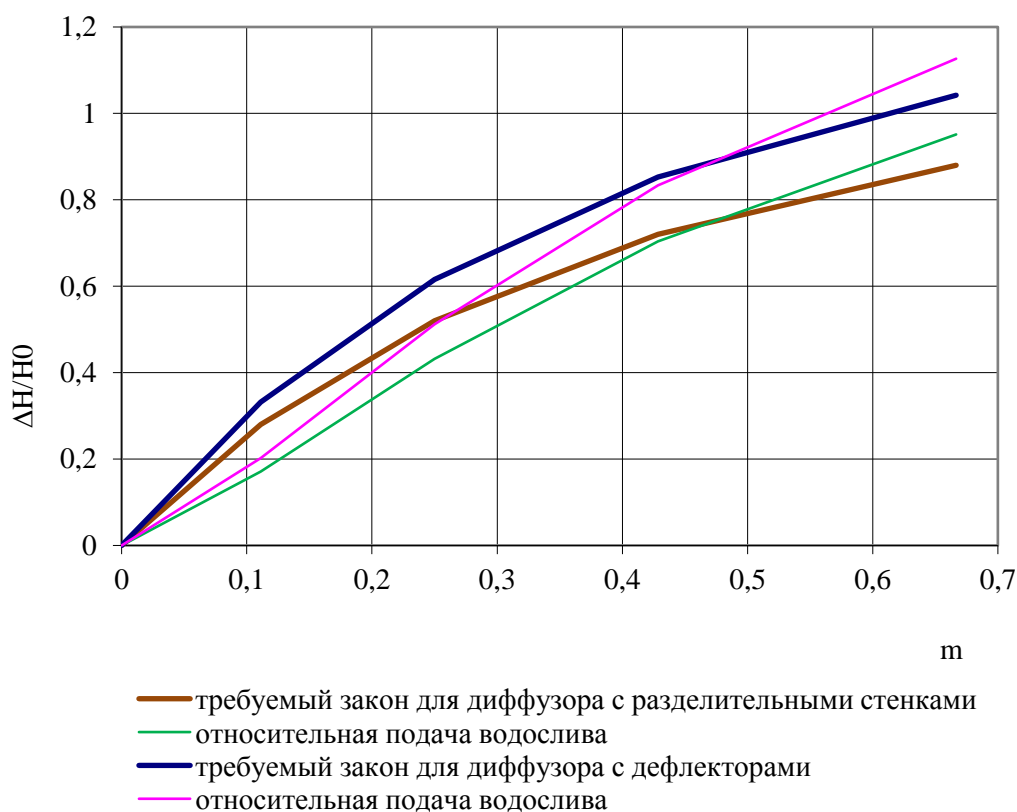


Рисунок 2. Подача управляющего расхода водосливом и требуемый закон стабилизации (авторские исследования)

Очевидно, что вследствие различия степени рассмотренных уравнений (2) и (3), наличие статической ошибки неизбежно. При росте уровня верхнего бьефа на начальном этапе расход, подаваемый стабилизатором, будет неизбежно превышать расчетное значение, затем приближаться к нему, проходить точку нулевой погрешности и затем иметь значение, несколько ниже требуемого. Точка перегиба кривых соответствует моменту выравнивания уровня воды в управляющей башне и нижнем бьефе стабилизатора. В связи с этим в теории гидродинамического регулирования было введено понятие текущей точности стабилизации $\Delta'_{\%}$:

$$\Delta'_{\%} = \left(1 - \frac{Q+q}{Q_0}\right) \cdot 100\% \quad (5)$$

Величина $\Delta'_{\%}$ вычисляется с некоторым шагом в каждой точке роста управляющего бьефа $\left(\frac{\Delta H}{H_0}\right)$. Независимо от формы исполнения проточной части гидродинамических стабилизаторов расхода при подаче управляющего потока с помощью водослива подбором коэффициента формы k можно только смещать текущую точность в большей мере в сторону положительных либо отрицательных значений (рисунок 3).

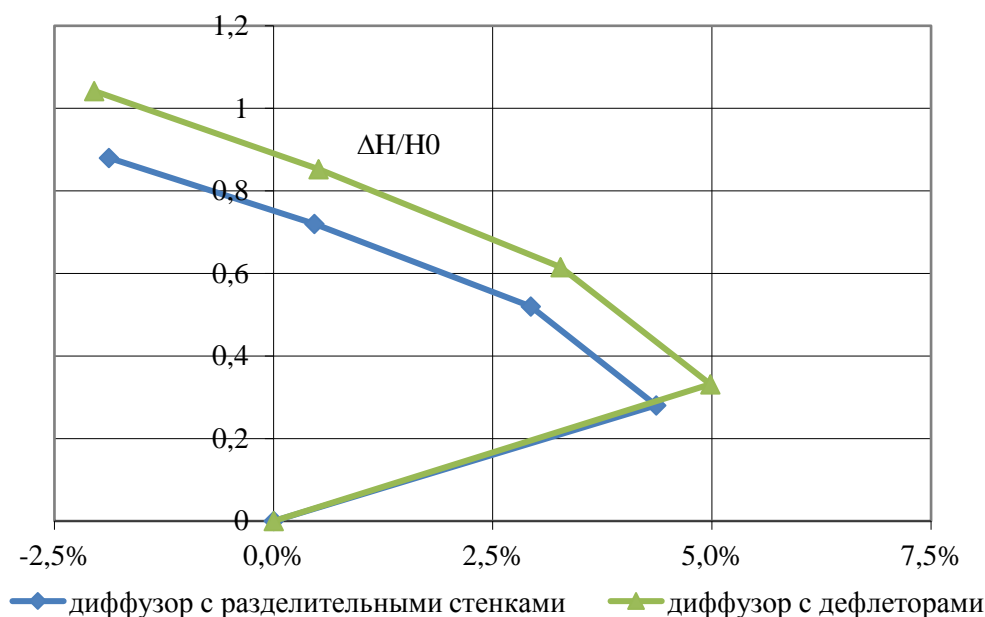


Рисунок 3. Точность стабилизации для конструкций с различными видами противосбойных устройств (предложенных и исследованных авторами)

Под общей точностью стабилизации имеет смысл понимать не некую среднюю точность подачи постоянного расхода, а максимальное отклонение от него, которое не должно превышать заранее заданного значения, как правило, эта величина составляет 5%.

Подбор коэффициента формы k производится из условий минимизации суммы квадратов отклонений между кривыми закона стабилизации и кривыми подачи водослива (рисунок 2). При этом подходе большую часть своей работы стабилизатор завывает требуемые значения водоподачи, но в любой точке размер статической ошибки не превышает 5%. Значение коэффициента формы, полученное методом наименьших квадратов, предлагается называть расчетным. Если при проектировании задать значение коэффициента формы ниже, чем расчетное значение, то кривая точности в верхней части сместится в область положительных значений. Если задать значение коэффициента формы выше, чем расчетное значение, то кривая точности в верхней части сместится в область отрицательных значений. Точка нулевой погрешности в первом случае будет выше, во втором случае ниже расчетной.

С точки зрения гидравлических условий работы сооружения увеличение коэффициента формы напрямую связано с развитием длины водосливного фронта b (формула 4). При увеличении длины водосливного фронта в стенке управляющей башни выше расчетного значения интенсивность подачи управляющего потока вызывает быстрый рост уровня воды в ней и более резкое снижение пропускной способности стабилизатора.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили прийти к следующим выводам. Вид противосбойных устройств, устанавливаемых в пределах диффузорной части сооружения, значительно влияет на величину диапазона стабилизации по напорам. Положение точки нулевой погрешности стабилизации расхода диктуется только принятым коэффициентом формы. Практически всегда можно подобрать значение коэффициента формы, при котором стабилизаторы с разделительными стенками или стабилизаторы с дефлекторами будут иметь одинаковую точку нулевой погрешности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенин Д.М. Конструктивные особенности гидродинамических стабилизаторов расхода / Бенин Д.М., Снежко В.Л. // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2010. Вып. 9. С. 127 - 128.
2. Бенин Д.М., Снежко В.Л. Увеличение диапазона работы гидродинамических водовыпусков-стабилизаторов расхода / Бенин Д.М., Снежко В.Л. // Природообустройство. №2. 2011. С. 85 - 88.
3. Бондаренко В.Л., Лобанов Г.Л., Алиферов А.В. Современные технологии в использовании водных ресурсов в мелиорации / В.Л. Бондаренко, Г.Л. Лобанов, А.В. Алиферов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. №1 (25). С. 231-243. - Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec474-field6.pdf.
4. Бочкарев В.Я. Современные подходы к созданию типовых комплексов автоматизации оросительных систем. / В.Я. Бочкарев // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. №6. С. 16 - 17.
5. Пахомов А.А., Колобанова Н.А. Автоматизированное управление процессом водоподачи с использованием гидравлических средств регулирования / А.А. Пахомов, Н.А. Колобанова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. №4 (12). С. 168 - 178. - Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec219-field6.pdf.
6. Снежко В.Л., Гайсин, А.А. Методы предотвращения сбойных течений в коротких диффузорах с большим углом расширения / А.А. Гайсин, В.Л. Снежко // Научное обозрение. 2014. №8. С. 89-93.
7. Ткачев А.А. Управление водораспределением в каналах с локальным регулированием уровней воды по верхнему бьефу перегораживающих сооружений / А.А. Ткачев // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. №6. С. 24 - 27.
8. Чураев А.А., Юченко Л.В., Вайнберг М.В. и др. Управление процессами водораспределения на оросительных системах. Научный обзор / А.А. Чураев, Л.В. Юченко, М.В. Вайнберг, Е.В. Павелко, Т.А. Погоров // Новочеркасск. 2014. 52 с.
9. Шкуланов Е.И. Исследование перепада восстановления потока в нижнем бьефе трубчатых сооружений / Е.И. Шкуланов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. №2 (06). С. 75 - 85. - Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec107-field6.pdf.
10. Щедрин, В.Н. Мелиорация земель - основа устойчивого развития АПК России / В.Н. Щедрин, Г.Т. Балакай // Вестник аграрной науки Дона. - 2010. №3. С. 98-107.

Snezhko Vera Leonidovna

Russian state agricultural university named after K.A. Timiryazev, Russia, Moscow
E-mail: VL_Snejko@mail.ru

Benin Dmitry Mikhailovich

Russian state agricultural university named after K.A. Timiryazev, Russia, Moscow
E-mail: dmitrij552@mail.ru

The influence of baffles and dividing walls on the range and accuracy of the hydrodynamic stabilizers flow

Abstract. Resource conservation is one of the main objectives of the intensification of agricultural production. To reduce the water intensity of irrigated agriculture is promising to implement the automation of water supply channels and drainage systems. The article describes design features of hydrodynamic flow regulators. Describes the basic principles of their work. Structures produce a normalized distribution management. The control signal is the water level upstream. On the basis of experimental and theoretical studies the authors have obtained the dependences for calculating the stabilization for the pressure for the structures with short diffusers at high degrees of expansion. Estimation of the influence of baffles and separating walls installed within the flowing part of the diffuser, to the limits of the stabilization and accuracy of supply.

Keywords: hydraulic structures; automation; tubular outlet structures; hydraulic resistance

REFERENCES

1. Benin D.M. design features of hydrodynamic stabilizers flow / Benin D.M., Snezhko V.L. // Journal of scientific publications graduate and doctoral students. 2010. Vol. 9. P. 127 - 128.
2. Benin D.M., Snezhko V.L. enlarging the range of the hydrodynamic outlets stabilizers consumption. / Benin D.M., Snezhko V.L. // Environmental Engineering. No. 2. 2011. P. 85 - 88.
3. Bondarenko V.L., G.L. Lobanov, A.V. Alferov Modern technology in the use of water resources in land reclamation / V.L. Bondarenko, G.L. Lobanov, A.V. Alferov // Scientific journal of Russian research Institute of reclamation problems [Electronic resource]. 2017. №1 (25). P. 231-243. - Mode of access: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec474-field6.pdf.
4. Bochkarev V.Y. Modern approaches to the establishment of model complexes of automation of irrigation systems / V.Y. Bochkarev // Melioration and water economy. 2006. No. 6. P. 16 - 17.
5. Pakhomov A.A., Kolobanova N.A. Automated process control of water supply using hydraulic means of control / A.A. Pakhomov, N.A. Kolobanova // Scientific journal of Russian research Institute of reclamation problems [Electronic resource]. 2013. №4 (12). P. 168 - 178. - Mode of access: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec219-field6.pdf.
6. Snezhko V.L., Gaisin, A.A. Methods for the prevention of failed flows in a short diffuser with a large angle of expansion / A.A. Gaisin, V.L. Snizhko // Scientific review. 2014. No. 8. S. 89-93.
7. Tkachev A.A. the Management of water distribution in channels with local regulation of water levels upstream partitioning structures / A.A. Tkachev // Melioration and water economy. 2008. No. 6. P. 24 - 27.
8. Churayev, A., Uchenko L.V., Weinberg, M.V., etc. the Management of water distribution in irrigation systems. Scientific review / A.A. Churayev, L.V., Uchenko, M.V. Weinberg, E.V. Pavelko, T.A. Povorov // Novocherkassk. 2014. 52 p.
9. Chulanov E.I. Investigation of differential recovery of flow in the downstream tubular structures / E.I. Kulanov // Scientific journal of Russian research Institute of reclamation problems [Electronic resource]. 2012. №2 (06). Pp. 75 -85. - Mode of access: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec107-field6.pdf.
10. Shchedrin, V.N. Land reclamation - the basis of sustainable development of agriculture in Russia / V.N. Shchedrin, G.T. Balakay // Bulletin of agricultural science of the don. - 2010. No. 3. P. 98-107.