

05.23.16 Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

УДК 532.5:532.533:627.844

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-47-53

**ИНЖЕКЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РАСХОДА
БЕЗ ДИФFUЗОРНЫХ ВЫХОДНЫХ УЧАСТКОВ**

БЕНИН ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ, канд. техн.наук, доцент

dbenin@rgau-msha.ru

КОБОЗЕВ ДАНИИЛ ДМИТРИЕВИЧ, ассистент

kobozev.daniil@yandex.ru

СНЕЖКО ВЕРА ЛЕОНИДОВНА , д-р техн.наук, профессор, заведующий кафедрой

vl_snejko@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия

В работе приведены результаты теоретического и экспериментального обоснования применения инжекционных регуляторов расхода с новой формой проточной части. Отличительной особенностью сооружений является полное изменение концевой части регулятора. Выходное сечение транзитного водовыпуска вынесено в нижний бьеф и имеет диафрагму со срезанными по потоку краями и частичным боковым поджатием потока. Диффузор на концевом участке отсутствует, выход потока в объем нижнего бьефа происходит непосредственно из призматической камеры смешения, которая имеет постоянную площадь. Разработан метод теоретического расчета гидравлических параметров инжекционных регуляторов расхода с диафрагмой без диффузорных выходных участков. Доказаны справедливость использования теоретических зависимостей для определения гидравлических характеристик сооружения и эффективность предлагаемых изменений формы проточной части. Инжекционные регуляторы без диффузорных участков способны забирать из нижнего бьефа до 30% излишков подаваемого расхода и обеспечивать его циркуляцию между выходным участком водовыпуска и камерой смешения. Увеличение регулирующей способности по сравнению с существующими конструкциями инжекционных водовыпусков связано с оптимизацией конструкции диафрагмы, длины камеры смешения и формы исполнения ее входного участка.

Ключевые слова: ирригация, гидротехнические сооружения, водовыпуски, регуляторы расхода, инжекция, гидравлические сопротивления

Формат цитирования: Бенин Д.М., Кобозев Д.Д., Снежко В.Л. Инжекционные регуляторы расхода без диффузорных выходных участков // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-47-53.

© Бенин Д.М., Кобозев Д.Д., Снежко В.Л., 2022

Original article

**INJECTION FLOW REGULATORS WITHOUT DIFFUSER
OUTPUT AREAS**

BENIN DMITRY MIKHAILOVICH, candidate of technical sciences, associate professor

dbenin@rgau-msha.ru

KOBOZEV DANIIL DMITRIEVICH, assistant

kobozev.daniil@yandex.ru

SNEZHKO VERA LEONIDOVNA ✉, *doctor of technical sciences, professor, head of the department*
vl_snejko@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, B. Academicheskaya, 44, Russia

The paper presents the results of theoretical and experimental substantiation of the use of injection flow regulators with a new form of flow part. A distinctive feature of the structures is a complete change in the end section of the regulator. The output cross-section of the transit water outlet is placed in the downstream and has a diaphragm with edges cut down the stream and partial lateral flow clamping. There is no diffuser at the end section, the output of the flow into the volume of the downstream takes place directly from the prismatic mixing chamber, which has a constant area. A method for theoretical calculation of hydraulic parameters of injection flow regulators with a diaphragm without diffuser output areas has been developed. The validity of the use of theoretical dependencies to determine the hydraulic characteristics of the structure and the effectiveness of the proposed changes in the form of the flowing part have been proven. Injection regulators without diffusers are capable of taking up to 30% of the excess from the downstream flow and ensuring its circulation between the outlet section of the outlet and the mixing chamber. The increase in the regulating capacity compared to existing designs of injection water outlets is due to the optimization of the diaphragm design.

Keywords: irrigation, hydraulic structures, outlets, flow regulators, injection, hydraulic resistances

Format of citation: Benin D.M., Kobozev D.D., Snezhko V.L. Injection flow regulators without diffuser output areas // *Prirodoobustrojstvo*. – 2022. – № 1. – С. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-47-53.

Введение. Отличительными особенностями распределения воды в оросительных системах являются непрерывный водозабор и дискретное (прерывистое) водопотребление. Это связано как с гидрометеорологическими условиями, так и с применяемыми технологиями полива [1]. Установленные на оросительных каналах водораспределительные сооружения IV класса ответственности в большинстве случаев представляют собой одноочковые трубчатые регуляторы при дорожных переездах. Головные водовыпуски обеспечивают подачу ниже створа, перегораживающего сооружения расхода в пределах $1 \text{ м}^3/\text{с}$, который должен соответствовать водозабору одновременно работающих на оросительной сети дождевальных машин [2]. Сооружения выполнены из бетонных или железобетонных труб диаметром $0,6 \dots 1,0 \text{ м}$, работают в напорном (затопленном) режиме при перепаде глубин $0,05 \dots 2,0 \text{ м}$. В нижнем бьефе головных трубчатых водовыпусков для гашения энергии потока и предотвращения размывов канала устраивается водобойный колодец. Для регулирования пропускной способности часто применяются плоские затворы с ручным управлением. Основной проблемой управления водораспределением на оросительной сети при использовании таких сооружений является своевременное снижение водоподдачи при внезапной остановке дождевальных машин. В случае задержки маневрирования затворами возможны переполнение каналов и возникновение непроизводительных сбросов воды. Аккумуляция потенциальных излишков водоподдачи с целью их дальнейшего использования для орошения

повысит коэффициент полезного действия оросительных систем.

Автоматизация может осуществляться гидравлическими, электрическими, электронными средствами или их комбинацией [3, 4]. Протяженность оросительных каналов и рассредоточенность сетевых гидротехнических сооружений, к которым относятся регуляторы, при использовании электромеханического способа управления влекут за собой возникновение как текущих затрат, связанных с использованием электроэнергии, так и возможных капитальных затрат, связанных с ее подводом к сооружениям. Это является одной из причин, сдерживающих внедрение энергозависимого способа регулирования [5]. В России и за рубежом на оросительных каналах начиная с 30-х гг. прошлого столетия стали использоваться затворы гидравлического действия: гидроавтомат В.Д. Журина [6], ряд устройств Я.В. Бочкарева и его научной школы, затворы Vlugter [7], Neyrtec [8] и т.д.

Одним из направлений автоматизации водопропускных гидротехнических сооружений стало использование гидродинамического регулирования, при котором принцип истечения из-под щита [9] заменялся слиянием двух напорных потоков [10]. Рассмотрение взаимодействия потоков в регуляторах этого типа как инжекционного процесса позволило разработать более простые и точные методы гидравлического расчета и определить новые направления совершенствования конструкций регуляторов [11]. Недостатком существующих сооружений являлось наличие диффузорного (расширяющегося) выходного участка. Целью исследований

стало теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования в инъекционных регуляторах труб постоянного сечения. В число задач исследований входили:

- разработка метода теоретического расчета гидравлических параметров инъекционного регулятора;

- разработка формы проточной части сооружения с выходным участком нового типа;

- экспериментальное изучение работы регулятора на физической модели в зеркальном гидравлическом лотке.

Материалы и методы исследований.

Для разработки метода гидравлического расчета регуляторов были использованы основные уравнения технической механики жидкостей – в частности, основные положения теории водоструйных

насосов, базирующиеся на применении закона сохранения импульсов к смешивающимся потокам. Расчетная схема приведена на рисунке 1.

По трубе водовыпуска расход Q_1 поступает из верхнего бьефа с отметкой $\downarrow УВБ$ в нижний бьеф с отметкой $\downarrow УНБ_{min}$. При снижении водопотребления в нижнем бьефе отметка его поднимается до $\downarrow УНБ_{max}$. Через водослив в регулируемую емкость поступает поток, который формирует некоторый горизонт воды с отметкой $\downarrow УВ$. В конце трубы сделано сужение в виде сопла площадью прохода F_1 . Через отверстие вода из промежуточного бьефа подсасывается транзитным потоком. В результате камеру смешения площадью F_2 поступает расход Q_2 , равный сумме транзитного расхода Q_1 и расхода из промежуточного бьефа Q_0 .

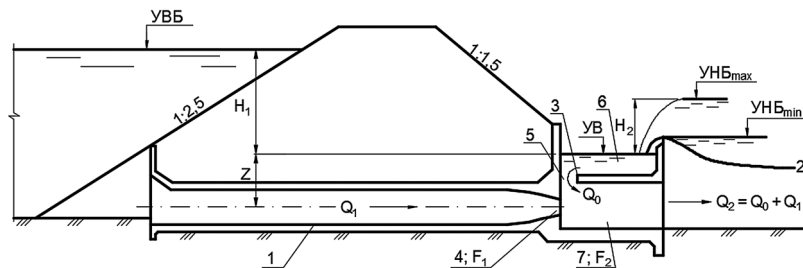


Рис. 1. Расчетная схема регулятора расхода с выходным участком постоянной площади:

1 – труба водовыпуска; 2 – водослив; 3 – регулирующая емкость; 4 – сопло; 5 – отверстие; 6 – промежуточный бьеф; 7 – камера смешения

Fig. 1. Design scheme of the flow regulator with a permanent output area:

1 – outlet pipe; 2 – spillway; 3 – regulating capacitance; 4 – nozzle; 5 – hole; 6 – intermediate bief; 7 – mixing chamber

Сечение на выходе из сопла обозначено как 1-1; сечение, близкое к выходу из камеры смешения, обозначено как 2-2. Расстояние от оси трубы (или сопла) до уровня воды в регулирующей емкости обозначено через Z .

В камере смешения между сечениями 1-1 и 2-2 секундный импульс сил давления (действующий вдоль оси потока) равен приращению количества движения жидкости. Если выразить расходы через скорости сливающихся потоков $Q_1 = F_1 \cdot g_1$ и $Q_0 = F_0 \cdot g_0$, где g_1 – скорость инжектирующего потока, g_0 – скорость инжектируемого потока, получим:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = g_2 \cdot \left(\frac{F_1 \cdot g_1^2 + F_0 \cdot g_0^2}{F_1 \cdot g_1 + F_0 \cdot g_0} - g_2 \right). \quad (1)$$

Предположим, что давление P_1 на входе в камеру смешения одинаково для обоих сливающихся потоков Q_1 и Q_0 (они практически параллельны и имеют малую кривизну). Если пренебречь потерями на входе в камеру смешения, то давление P_1 одинаково для обоих

потоков Q_1 и Q_0 . Уравнение Бернулли будет иметь вид:

$$Z = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{g_0^2}{2g} \quad \text{и} \quad Z = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{g_1^2}{2g} - H_1,$$

что равносильно $\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{g_1^2}{2} - g \cdot (H_1 - H_2)$. (2)

Уравнение неразрывности для скорости на выходе из камеры смешения представлено как

$$g_2 = \frac{Q_1 + Q_0}{F_2} = \frac{F_1 \cdot g_1 + F_0 \cdot g_0}{F_2}. \quad (3)$$

После введения констант, зависящих от исполнения проточной части регулятора и уровней воды в верхнем и нижнем бьефах:

$$A = \left[\frac{F_1}{F_2} + \frac{F_0}{F_2} - \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 - \left(\frac{F_0}{F_2} \right)^2 - \frac{1}{2} \right]; \quad B = 2 \cdot \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{F_0}{F_2},$$

$$C = gH_2 + gH_1 \cdot \left(2 \cdot \frac{F_0}{F_2} - 2 \cdot \left(\frac{F_0}{F_2} \right)^2 - 1 \right), -$$

получаем иррациональное уравнение для скорости инжектирующего потока Q_1 :

$$A \cdot Q_1^2 - B \cdot Q_1 \cdot \sqrt{Q_1^2 - 2gH_1} = C. \quad (4)$$

Биквадратное уравнение (4) было сведено к квадратному уравнению и решено аналитически. Используются только положительные корни. В результате получены теоретические зависимости для каждого из сливающихся в регуляторе расходов:

$$Q_1 = F_1 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H_1 \cdot B^2 - 2 \cdot A \cdot C + \sqrt{(2 \cdot A \cdot C - 2 \cdot g \cdot H_1 \cdot B^2)^2 + 4 \cdot C^2 \cdot (B^2 - A^2)}}{2 \cdot (B^2 - A^2)}}, \quad (5)$$

$$Q_0 = F_0 \sqrt{Q_1^2 - 2 \cdot g \cdot H_1}, \quad (6)$$

где Q_0 – инжектируемый расход; Q_1 – инжектирующий расход; H_1 – напор между верхним бьефом и уровнем воды в регулирующей емкости; $Q_1 = Q_1 / F_1$.

Сравнение полученных зависимостей с уравнениями, позволяющими определить расходы регуляторов с диффузорным выходным участком [12], показало различия в формулах вычисления констант A , B и C при сохранении общего вида уравнений (5) и (6).

Для проверки полученных теоретических зависимостей (5) и (6) в зеркальном гидравлическом лотке были выполнены экспериментальные исследования модели регулятора, приведенной на рисунке 2.

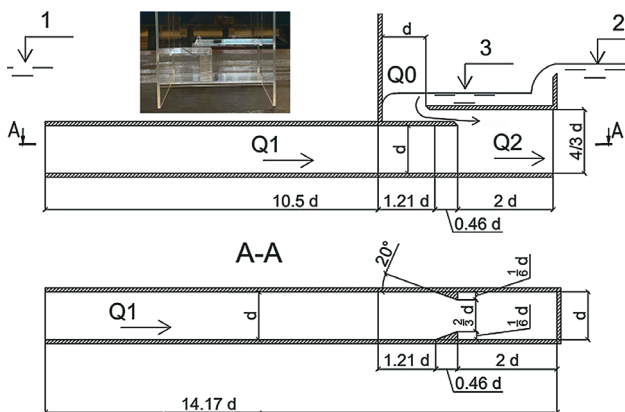


Рис. 2. Модель регулятора:

- 1 – уровень воды в верхнем бьефе;
- 2 – уровень воды в нижнем бьефе;
- 3 – уровень воды в промежуточном бьефе

Fig. 2. Regulator model:

- 1 – water level in the upstream;
- 2 – water level in the downstream;
- 3 – water level in the intermediate reach

Проточная часть регулятора впервые не имела на концевом участке диффузора,

а выходное сечение трубы водовыпуска было оборудовано симметричной диафрагмой, стесняющей его стороны боковых стенок на 1/3 площади поперечного сечения (рис. 2). Выходное сечение с диафрагмой впервые вынесено в сторону нижнего бьефа и заведено под крышку регулирующей емкости на 0,46d с вертикальным зазором 0,3d. Это сделано с целью обеспечения параллельного течения инжектируемого и инжектирующего потоков на входе в камеру смешения (по аналогии с инжекционными насосами). Длина камеры смешения составляет 2d. Площадь камеры смешения была постоянной и составляла 2 площади сопла ($F_2 = 2F_0$). Это отношение соответствует нижней границе области оптимальных значений, приводимых для водоструйных насосов [13]. Дальнейшее увеличение длины камеры смешения было нецелесообразно ввиду значительного вынесения в нижний бьеф хвостовой части регулятора.

Модель была выполнена в масштабе 1:10 из органического стекла с гидравлически эквивалентной шероховатостью $D_s = 0.03$ мм, испытана в зеркальном лотке, в котором ранее изучались гидравлические характеристики регуляторов с диффузором [11]. Концевая часть была присоединена к водопропускной трубе тех же длины и диаметра. Это обеспечило возможность дальнейшего сопоставления полученных результатов. Числа Рейнольдса лежали в пределах автомодельной области и составляли $Re = 1,2 \cdot 10^5 \dots 1,3 \cdot 10^5$. Суммарная неисключенная относительная погрешность прямых и косвенно измеряемых в эксперименте величин не превышала 5%.

Результаты и обсуждение. Коэффициент расхода водовыпуска $\mu_{\text{вод}}$ по сжатому сечению F_1 при работе сооружения без инъекции был определен экспериментально и равен с вероятностью 95% $\mu_{\text{вод}} = 1,12 \pm 0,02$. У конструкций регуляторов с диффузорами значения $\mu_{\text{вод}} = 0,95 \dots 0,99$. Внешение в проточную часть сооружения усовершенствованной диафрагмы и замена диффузора камерой смешения постоянной площади привели к росту гидравлических потерь, но сделали конструкцию более простой. Для расчетного определения коэффициента расхода водовыпуска без регулирования служит формула:

$$\mu_{\text{вод}} = \left[\zeta_{\text{вх}} \cdot \left(\frac{F_1}{F_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{диаф}} \cdot \left(\frac{F_1}{F_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{вн.п}} \cdot \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 + \alpha_{\text{вых}} \cdot \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (7)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления на вход, $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$; $F_{\text{тр}}$ – площадь трубы водовыпуска перед диафрагмой; $\zeta_{\text{диаф}}$ – коэффициент сопротивления диафрагмы, отнесенный к площади $F_{\text{тр}}$, для диафрагмы

со срезанными по потоку краями при центральном угле 40° $\zeta_{\text{диаф}} = 0,73$ [14]; $\zeta_{\text{вн.р}}$ – коэффициент сопротивления при внезапном расширении в одной плоскости, вычисляемый по формуле $\zeta_{\text{вн.р}} = k \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2$ и равный $\zeta_{\text{вн.р}} = 0,24$; $\alpha_{\text{вых}}$ – коэффициент Кориолиса при выходе потока в объем нижнего бьефа, $\alpha_{\text{вых}} = 1,1$.

Полученное по формуле (7) значение коэффициента расхода водовыпуска $\mu_{\text{вод}} = 1,06$. Разница между расчетным и экспериментальными значениями может быть объяснена взаимным влиянием местных сопротивлений. При этом сопло и внезапное расширение не имеют участков стабилизации скоростей потока.

Для проверки полученных теоретических зависимостей экспериментальные значения расходов и напоров при инъекции были сопоставлены со значениями, полученными по уравнениям (5) и (6). Графики связи относительных напоров $\frac{H_1}{H_2}$ с отношением инжектируемого и инжектирующего расходов $\frac{Q_0}{Q_1}$ приведены на рисунке 3.

Теоретические значения и данные эксперимента показали удовлетворительное совпадение. Следовательно, в основу гидравлического расчета инжекционных регуляторов расхода новой конструкции могут быть положены полученные зависимости (5) и (6). Напор на регулятор равен разности напоров $H = H_1 - H_2$, отсчитываемых от горизонта воды в промежуточном бьефе. Дискретному отключению водопотребления соответствуют конкретные значения указанных величин, что позволяет подобрать объем заполнения регулирующей емкости, заключенный в пространстве над камерой смешения и ограниченный отметкой водосливного порога. Приведенная на рисунке 3 кривая всегда будет начинаться с отношения напоров, превышающего единицу $\frac{H_1}{H_2} > 1$, так как в пределах водопроводящего тракта возникают потери напора. Значения $\frac{H_1}{H_2}$, близкие к 1, имеют наименьшее отношение сливающихся расходов и соответствуют практически полному затоплению регулирующей емкости, которого можно избежать при назначении геометрических размеров сооружения.

В процессе регулирования доля инжектируемого расхода Q_0 может составлять до 30% от расхода Q_1 , поступающего из верхнего бьефа в нижний бьеф водовыпуска. Инжектируемый расход циркулирует между нижним бьефом и сжатым сечением регулятора, не поступая в дальнейшем в оросительный канал. Существующие инжекционные регуляторы

с диффузорами на концевом участке имели предельное отношение сливающихся расходов, не превышающее 20% [11, 12]. Внесение усовершенствованной диафрагмы, оптимизация входного участка и длины камеры смешения позволили регулировать пропускную способность при снижении водопотребления на 1/3.

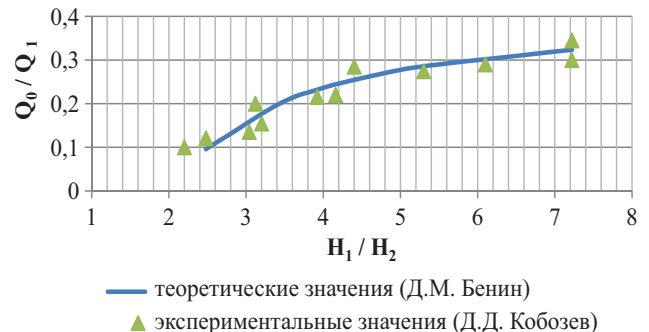


Рис. 3. Теоретические и экспериментальные значения для регулятора с выходным участком постоянной площади
Fig. 3. Theoretical and experimental values for the regulator with an output area of the permanent area

Выводы

В процессе теоретических и экспериментальных исследований поставленные в работе задачи были успешно решены, а именно:

- Разработан метод теоретического расчета гидравлических параметров инжекционных регуляторов расхода с диафрагмой без диффузорных выходных участков.

- Новая форма исполнения проточной части сооружения позволила упростить конструкцию без роста гидравлических потерь при работе в режиме водовыпуска.

- Экспериментальными исследованиями доказано, что использование диафрагмы со срезанными по потоку краями и частичным боковым поджатием потока не требует внесения коррекции в полученные теоретические зависимости, а вынесение выходного сечения под крышку регулирующей емкости обеспечивает параллельность смешиваемых потоков.

- Инжектируемый регулятором расход составляет 30% от расхода, поступающего по транзитной части водовыпуска из верхнего бьефа в нижний бьеф. Существующие конструкции регуляторов с диффузорами на выходном участке имели отношение сливающихся расходов до 20%. Увеличение регулирующей способности при модернизации проточной части связано с оптимизацией конструкции диафрагмы, длины камеры смешения и формы исполнения ее входного участка.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-15-2020-905 от 16 ноября 2020 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Критерии авторства

При написании статьи теоретические зависимости были получены Д.М. Бениным; конструкция модели, экспериментальные исследования и их статистическая обработка

Библиографический список

1. Зарубин В.В., Ткачев А.А. Методы водораспределения в каналах оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Шумаковские чтения». – Новочеркасск: ООО «Лик», 2017. – С. 229-232.
2. Автоматизация водоподдачи и учет воды на внутрихозяйственной оросительной системе: Монография / А.С. Овчинников, А.А. Пахомов, Н.А. Колобанова и др. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 188 с.
3. Burt Charles & Piao Xianshu. 2004. Advances in PLC-Based Canal Automation. Irrigation and Drainage. 53. 10.1002/ird.106.
4. Duyalski C.P. et al. 1991. Canal Systems Automation Manual. – Vol. 1. U.S. Bureau of Reclamation, Dtnver, CO, USA. – 113 pp.
5. Amaral do, Luís G.H., Afranio A. Righes, Paulo da S. e Souza Filho, Rafael Dalla Costa, Automatic regulator for channel flow control on flooded rice. Agricultural Water Management. – Vol. 75. – Iss. 3. – 2005. – P. 184-193.
6. Журин В.Д. Мелкие водовыпуски // Вестник ирригации. – 1924. – № 8. – С. 12-23.
7. Vlugter H. 1940. Over zelfwerkende peilregelaars bij den Waterstaat in Nederlandsch-Indie. De Ingenier in Ned. – Indie. – № 6: 11.84-11.93.
8. Goussard J. 1987. Neyrtec automatic equipment for irrigation canals. In Planning, Operation, Rehabilitation and Automation of Irrigation Water Delivery Systems, Zimbelman D (ed.). Proceedings of a symposium sponsored by the Irrigation and Drainage Division of ASCE in Portland, Oregon. – P. 121-132.
9. Burt C.M., Angold R., Lehmkuhl M., Styles S. 2001. Flap gate design for automatic upstream canal water level control. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 127(2): 84-91.

The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation within the framework of the agreement No. 075-15-2020-905 of 16.11.2020 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for state support for the creation and development of the world-class scientific center «Agrotechnologies of the Future».

выполнены Д.Д. Кобозевым; В.Л. Снежко подготовлен обзор современного состояния вопроса. Авторы имеют на статью авторское право в пределах выполненных ими исследований и несут ответственность за плагиат.

References

1. Zarubin V.V., Tkachev A.A. Metody vodoraspredeleeniya v kanalah orositelnyh system // Sb.: Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. Puti povysheeniya effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti melioratsij zemel Yuga Rossii. Mat-ly Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. (Shumakovskie chteniya). – Novocherkassk: OOO “Lik”, 2017. – S. 229-232.
2. Avtomatizatsiya vodopodachi i uchet vody na vnutrihozyajstvennoj orositelnoj sisteme: monografiya / A.S. Ovchinnikov, A.A. Pakhomov, N.A. Kolobanova, i dr. – Volgograd: FGBOU VPO Volgogradskij GAU, 2012. – 188 s.
3. Burt, Charles & Piao, Xianshu. (2004). Advances in PLC-Based Canal Automation. Irrigation and Drainage. 53. 10.1002/ird.106.
4. Duyalski C.P., et al. 1991. Canal Systems Automation Manual. Volume 1. U.S. Bureau of Reclamation, Dtnver, CO, USA, 113 pp.
5. Amaral do, Luís G.H., Afranio A. Righes, Paulo da S. e Souza Filho, Rafael Dalla Costa, Automatic regulator for channel flow control on flooded rice, Agricultural Water Management, Volume 75, Issue 3, 2005, Pages 184-193.
6. Zhurin V.D. Melkie vodovypuski // Vestnik irrigatsii. – 1924. – № 8. – S. 12-23.
7. Vlugter H. 1940. Over zelfwerkende peilregelaars bij den Waterstaat in Nederlandsch-Indie. De Ingenier in Ned. – Indie No. 6: 11.84-11.93.
8. Goussard J. 1987. Neyrtec automatic equipment for irrigation canals. In Planning, Operation, Rehabilitation and Automation of Irrigation Water Delivery Systems, Zimbelman D (ed.). Proceedings of a symposium sponsored by the Irrigation and Drainage Division of ASCE in Portland, Oregon; 121-132.
9. Burt C.M., Angold R., Lehmkuhl M., Styles S. 2001. Flap gate design for automatic upstream canal water level control. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 127(2): 84-91.
10. Snezhko V.L. K voprosu avtomatizatsii vodovypusknyh sooruzhenij malyh gidrouzlov //

gation and Drainage Engineering ASCE. – 127(2). – P. 84-91.

10. **Снежко В.Л.** К вопросу автоматизации водовыпускных сооружений малых гидроузлов // Перспективы науки. – 2010. – № 10 (12). – С. 54-58.

11. **Снежко В.Л., Бенин Д.М., Кобозев Д.Д.** Влияние конструктивных особенностей на регулируемую способность инъекционных водовыпусков // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 91-97.

12. **Бенин Д.М., Снежко В.Л., Абдуллаев И.И.** Гидравлические характеристики инъекционных регуляторов расхода // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 86-91.

13. **Reddy Y.R. & Kar S.** Theory and performance of water jet pump, Trans. ASCEJ. Hyd. Div. – 94-5 (1968). – P. 1261-1281.

14. **Идельчик И.Е.** Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия // Гидротехническое строительство. – 1953. – № 5. – С. 31-36.

Критерии авторства

Бенин Д.М., Кобозев Д.Д., Снежко В.Л. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Бенин Д.М., Кобозев Д.Д., Снежко В.Л. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 09.01.2022 г.

Одобрена после рецензирования 21.01.2022 г.

Принята к публикации 14.02.2022 г.

Perspektivy nauki. – 2010. – № 10 (12). – S. 54-58.

11. **Snezhko V.L., Benin D.M., Kobozev D.D.** Vliyanie konstruktivnyh osobennostej na reguliruyushchuyu sposobnost inzhektionsnyh vodovypuskov / Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 5. – S. 91-97. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-91-97.

12. **Benin D.M., Snezhko V.L., Abdullaev I.I.** Gidravlicheskie karakteristiki inzhenernyh regulyatorov raskhoda // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 3. – S. 86-91. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-86-91

13. **Reddy Y.R. & Kar S.**, Theory and performance of water jet pump, Trans. ASCE J. Hyd. Div., 94-5 (1968), 1261-1281.

14. **Idelchik I.E.** Opredelenie koeffitsientov soprotivleniya pri istechenii cherez otverstiya // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 1953. – № 5. – S. 31-36.

Criteria of authorship

Benin D.M., Kobozev D.D., Snezhko V.L. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they carried out a generalization and wrote a manuscript. Benin D.M., Kobozev D.D., Snezhko V.L. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 09.01.2022

Approved after reviewing 21.01.2022

Accepted for publication 14.02.2022