

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 532.5:532.533:627.844

Коэффициент расхода инжекционного водовыпуска-регулятора

Вера Леонидовна Снежко¹, Даниил Дмитриевич Кобозев²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, vl_snejko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-0563>

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, kobozev.daniil@yandex.ru

Аннотация. Цель: теоретическое и экспериментальное определение коэффициента расхода инжекционного водовыпуска, коэффициентов гидравлических сопротивлений сооружения в процессе регулирования и при работе в режиме водовыпуска без поступления инжектируемого потока. **Материалы и методы.** Материалом исследований стали данные экспериментального изучения работы физической модели инжекционного регулятора в гидравлическом лотке. Модель была выполнена в линейном масштабе 1:10 из органического стекла. Для обработки результатов эксперимента использованы методы математической статистики и теории ошибок. Расчетные теоретические зависимости были получены с использованием методов теории струйных насосов и механики жидкости, для сопоставления результатов применялись общенаучные методы исследований – анализ и синтез. **Результаты.** Результаты теоретических исследований позволили получить расчетные зависимости для определения коэффициента расхода инжекционного регулятора при работе в режиме водовыпуска и в процессе регулирования. Теоретические зависимости верифицированы экспериментальными данными. **Выводы.** Установлена достаточная сходимость данных, полученных теоретическим и экспериментальным путем. Зарегистрирована программа для ЭВМ, реализующая гидравлические расчеты инжекционного водовыпуска-регулятора.

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

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 27 октября 2023 г.).

Для цитирования: Снежко В. Л., Кобозев Д. Д. Коэффициент расхода инжекционного водовыпуска-регулятора // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 263–276.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

Flow coefficient of injection water outlet-regulator

Vera L. Snezhko¹, Daniil D. Kobozev²

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, vl_snejko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-0563>

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, kobozev.daniil@yandex.ru

Abstract. Purpose: theoretical and experimental determination of the flow coefficient of the injection water outlet, the coefficients of hydraulic resistance of the structure during the control process and during operating in the water outlet mode without the injected flow entry. **Materials and methods.** The material for research was data of an experimental study of the operation of a physical model of an injection regulator in a hydraulic chute. The model was made in a linear scale of 1:10 from organic glass. To process the experimental results, mathematical statistics and error theory methods were used. The calculated theoretical dependencies were obtained using methods of the theory of ejector pumps and fluid mechanics; to compare the results the general scientific research methods – analysis and synthesis – were used. **Results.** The results of theoretical studies made it possible to obtain calculated dependencies for determining the flow coefficient of the injection regulator when operating in water outlet mode and during the regulation process. Theoretical dependencies are verified by experimental data. **Conclusions.** A sufficient convergence of data obtained theoretically and experimentally has been stated. A computer program implementing hydraulic calculations of an injection water outlet-regulator has been registered.

Keywords: hydraulic structures, water outlets, flow regulators, injection, hydraulic resistance

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 27, 2023).

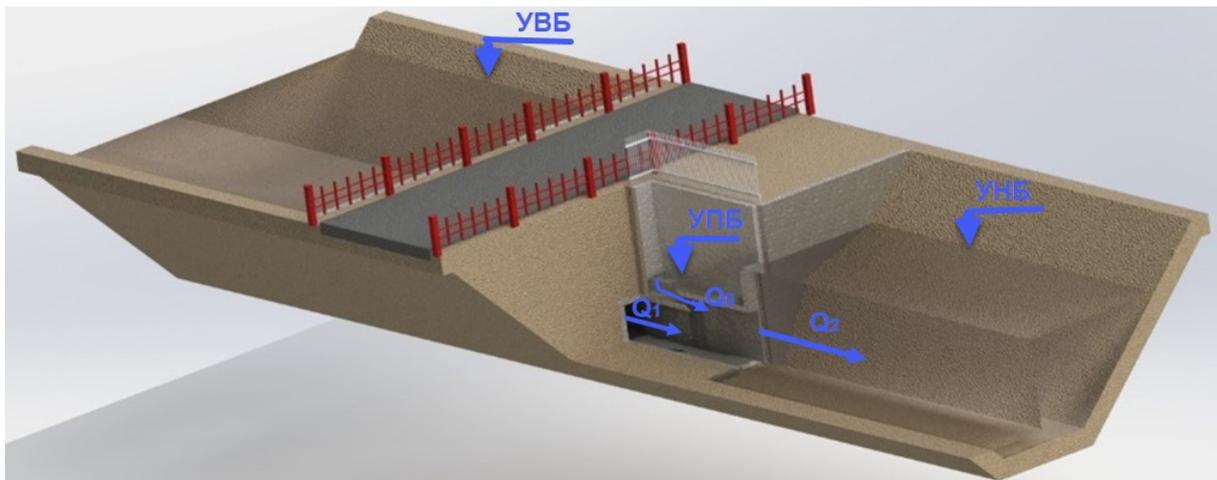
For citation: Snezhko V. L., Kobozev D. D. Flow coefficient of injection water outlet-regulator. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):263–276. (In Russ.).

Введение. Для автоматизации водоподдачи на каналах оросительных систем в настоящее время используются различные водопропускные гидротехнические сооружения. При возможности подвода источника энергоснабжения к створу регуляторов за рубежом часто применяются подвижные электромеханические затворы [1]. В отечественной практике сооружения этого типа устанавливаются, как правило, на крупных и средних оросительных каналах, а также на головных водозаборах. При большой площади орошаемого массива створы водовыпусков, установленных на малых каналах, значительно удалены друг от друга и экономически не выгодно подключать створ каждого из регуляторов к сети электроснабжения. В таких случаях целесообразным является использование регуляторов гидравлического действия. Гидроавтоматы затворного типа в настоящее время нашли широкое применение в России и за рубежом. Это могут быть радиальные затворы [2], стабилизаторы уровня воды для трубчатых водовы-

пусков [3], стабилизаторы расхода воды для каналов [4], регуляторы уровня для внутривозвратной сети [5]. Широкий спектр гидроавтоматов, используемых на оросительных системах Республики Узбекистан, представлен в работе М. Г. Кадировой [6]. Специфика водопотребления при орошении риса способствовала развитию средств автоматизации чековых водовыпусков с использованием тарельчатых затворов [7] либо щитовых затворов [8].

По принципу действия средства гидроавтоматики можно разделить на сооружения, регулирующие функцию в которых выполняют затворы различной модификации, сифоны, регуляторы, изменяющие площадь истечения на выходных участках сооружений, и водовыпуски, использующие для регулирования эффект инжекции [9]. Особенностью инжекционных регуляторов расхода является циркуляция излишков водоподдачи между объемом нижнего бьефа и камерой смешения трубчатого водовыпуска.

Инжекционный регулятор представляет собой напорный трубчатый водовыпуск, расположенный под перегораживающим сооружением на канале (рисунок 1). В концевом сечении трубы устроено сопло, затем следует камера смешения, над которой расположен регулирующий объем. В случае максимального водопотребления уровень в отводящем канале (уровень нижнего бьефа, УНБ) минимален и соответствует отметке порога водослива, установленного в выходном сечении регулятора. При снижении водопотребления на величину Q_0 УНБ увеличивается. Вода, переливающаяся через порог, образует в регулирующем объеме промежуточный бьеф (УПБ). Поток с расходом Q_1 , поступающий по трубчатому водовыпуску из верхнего бьефа, сжимается соплом и инжектирует из промежуточного бьефа поток с расходом Q_0 . В результате в нижний бьеф поступает расход Q_2 , равный сумме инжектирующего Q_1 и инжектируемого Q_0 расходов, но фактически со стороны верхнего бьефа поступает только расход Q_1 .



УВБ – уровень верхнего бьефа; УПБ – уровень промежуточного бьефа;
УНБ – уровень нижнего бьефа; Q_1 – расход в верхнем бьефе;
 Q_0 – расход в промежуточном бьефе; Q_2 – расход в нижнем бьефе

UVB – upstream level; UPB – intermediate pool level; UNB – downstream level;
 Q_1 – upstream flow rate; Q_0 – intermediate pool flow rate; Q_2 – downstream flow rate

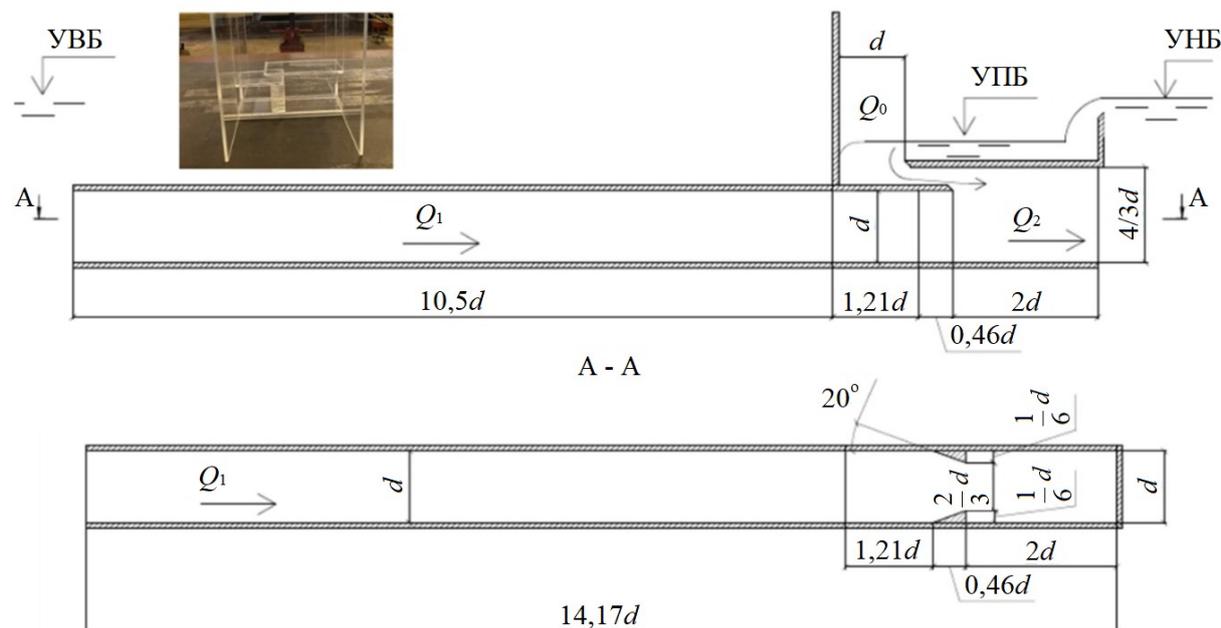
Рисунок 1 – Схема инжекционного регулятора-водовыпуска на канале
Figure 1 – Diagram of the injection regulator-water outlet on the channel

В процессе регулирования инжекционным водовыпуском используется перепад напоров между верхним и нижним бьефами, поэтому эффективность работы сооружения напрямую связана с гидравлическими потерями, возникающими в пределах его проточного тракта. Чем полнее используется перепад давлений в створе перегораживающего сооружения, тем выше скорость инжектирующего потока и восстановление давления в конечном участке камеры смешения.

Цель исследований – теоретическое и экспериментальное определение коэффициента расхода инжекционного водовыпуска и коэффициентов гидравлических сопротивлений в процессе регулирования и при его отсутствии.

Материал и методы. Материал исследований представлен данными экспериментального изучения работы физической модели инжекционного регулятора в гидравлическом лотке. Для обработки результатов эксперимента использованы методы математической статистики и теории ошибок. Расчетные зависимости были получены с использованием методов теории

струйных насосов и механики жидкости. Кроме того, применялись такие общенаучные методы исследований, как анализ и синтез. Схема модели приведена на рисунке 2.



УВБ – уровень верхнего бьефа; УПБ – уровень промежуточного бьефа;
 УНБ – уровень нижнего бьефа; Q_1 – расход в верхнем бьефе; Q_0 – расход
 в промежуточном бьефе; Q_2 – расход в нижнем бьефе; d – диаметр трубы
 UVB – upstream level; UPB – intermediate pool level; UNB – downstream level;
 Q_1 – upstream flow rate; Q_0 – intermediate pool flow rate;
 Q_2 – downstream flow rate; d – pipe diameter

Рисунок 2 – Модель инжекционного регулятора-водовыпуска
Figure 2 – Model of injection regulator-water outlet

Модель была выполнена из органического стекла, эквивалентная гидравлическая шероховатость которого составляла 0,03 мм. При пересчете на натурное сооружение в масштабе 1:10 моделировалась работа водопропускного сооружения, выполненного из бетона, причем линейный масштаб распространялся и на шероховатость материала стенок сооружения. Общий объем эксперимента составлял порядка 100 опытов, разделенных на серии. Число Рейнольдса в сечении сопла превышало 200000, следовательно, экспериментальные данные были получены в автомоделльной области.

Результаты. Теоретическое определение коэффициента расхода инжекционного регулятора было выполнено при отсутствии инжектируемого потока (т. е. работе в режиме водовыпуска) и при наличии инжектируемого потока, что соответствовало работе в режиме регулирования. В первом случае коэффициент расхода остается постоянным, во втором случае является функцией сливающихся в камере смешения расходов.

При отсутствии инъекции со стороны нижнего бьефа коэффициент расхода водовыпуска, отнесенный к площади выходного сечения, определяется по формуле:

$$\mu_{\text{вых}} = \left(\alpha_{\text{вых}} + \zeta_{\Delta\text{тр}} \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\Delta\text{кам}} + \zeta_{\text{вх}} \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{соп}} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + \zeta_{\text{внр}} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right)^{-0,5}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{вых}}$ – коэффициент Кориолиса в выходном сечении;

$\zeta_{\Delta\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трения в трубе:

$$\zeta_{\Delta\text{тр}} = \lambda \frac{L_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}\varepsilon}},$$

где λ – коэффициент Дарси:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр}\varepsilon}} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25},$$

где $d_{\text{тр}\varepsilon}$ – гидравлически эквивалентный диаметр трубы площадью $\omega_{\text{тр}}$, м²,

$$d_{\text{тр}\varepsilon} = 1,128 \sqrt{\omega_{\text{тр}}};$$

Re – число Рейнольдса;

$L_{\text{тр}}$ – длина трубчатой части водовыпуска до сопла, м;

$\zeta_{\Delta\text{кам}}$ – коэффициент сопротивления на трение в камере смешения:

$$\zeta_{\Delta\text{кам}} = \lambda \frac{L_{\text{кам}}}{d_{2\varepsilon}},$$

где $L_{\text{кам}}$ – длина камеры смешения, м;

$d_{2\text{э}} = 1,128\sqrt{\omega_2}$ – гидравлически эквивалентный диаметр камеры смешения площадью ω_2 , м²;

$\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления при входе в трубу водовыпуска;

$\zeta_{\text{сопл}}$ – коэффициент сопротивления сопла:

$$\zeta_{\text{сопл}} = \zeta' \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_{\text{тр}}} \right)^{0,75},$$

где ζ' – коэффициент, зависящий от формы исполнения входной кромки сопла;

ω_1 – площадь сопла, м²;

$\zeta_{\text{внр}}$ – коэффициент потерь при внезапном расширении потока во входном сечении камеры смешения, $\zeta_{\text{внр}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2$.

При расчете коэффициента расхода водовыпуска по сечению сопла площадью ω_1 формула имеет вид:

$$\mu_{\text{сопл}} = \left(\alpha_{\text{вых}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 + \zeta_{\Delta\text{тр}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\Delta\text{кам}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 + \zeta_{\text{вх}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{сопл}} + \zeta_{\text{внр}} \right)^{-0,5}.$$

Для модельного водовыпуска теоретические значения коэффициента расхода, отнесенные к выходному сечению и сечению сопла, равны соответственно:

$$\mu_{\text{вых}} = \left(1,1 + 0,226 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + 0,031 + 0,5 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + 0,04 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + 0,25 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right)^{-0,5} =$$

$$= 0,53,$$

$$\mu_{\text{сопл}} = \left(1,1 + 0,226 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + 0,031 + 0,5 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + 0,04 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + 0,25 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right)^{-0,5} =$$

$$= 1,06.$$

Экспериментальное значение коэффициента расхода, отнесенного к выходному сечению, с вероятностью 95 % составило $0,53 \pm 0,02$.

Гидравлические потери, возникающие при регулировании, были получены авторами при выводе теоретических зависимостей для определения расходов инжектирующего и инжектируемого потоков при любом положении УПБ, меньшем, чем УНБ [10]. Зависимости для средней скорости инжектирующего потока v_1 и инжектируемого потока, v_0 , м/с:

$$v_1 = \left(\frac{2gH_1B^2 - 2AC + \sqrt{(2AC - 2gH_1B^2)^2 + 4(B^2\zeta_{v1} - A^2)C^2}}{2(B^2\zeta_{v1} - A^2)} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

$$v_0 = \left(\frac{\zeta_{v1}v_1^2 - 2gH_1}{\zeta_{v0}} \right)^{0,5}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_1 – напор между верхним и промежуточным бьефами, $H_1 = \downarrow\text{УВБ} - \downarrow\text{УПБ}$, м;

H_2 – напор между нижним и промежуточным бьефами, $H_2 = \downarrow\text{УНБ} - \downarrow\text{УПБ}$, м;

ζ_{v1} – приведенный коэффициент гидравлических сопротивлений инжектирующего потока до камеры смешения:

$$\zeta_{v1} = \zeta_{\text{вх}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{дл}v1} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{тр}}} \right)^2 + \zeta_{\text{соп}} + 1,$$

где $\zeta_{\text{дл}v1}$ – коэффициент сопротивления трения в трубе водовыпуска;

ζ_{v0} – приведенный коэффициент гидравлических сопротивлений инжектируемого потока до камеры смешения:

$$\zeta_{v0} = \zeta_{\text{вх}0} \left(\frac{\omega_0}{\omega_{\text{отв}}} \right)^2 + \zeta_{\text{внр}0} + 1,$$

где $\zeta_{вх0}$ – коэффициент сопротивления при входе из промежуточного бьефа в отверстие в верхней стенке площадью $\omega_{отв}$;

ω_0 – площадь инжектируемого потока во входном сечении камеры смешения, m^2 , $\omega_0 = \omega_2 - \omega_1$;

$\zeta_{внр0}$ – коэффициент внезапного расширения инжектируемого потока в одной плоскости при входе в камеру смешения;

A, B, C – константы, зависящие от формы исполнения проточной части и высотного положения бьефов:

$$A = f(\omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{v1}, \zeta_{v0}, \zeta_{длv2}),$$

$$B = f(\omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{длv2}),$$

$$C = f(H_1, H_2, \omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{v0}, \zeta_{длv2}),$$

где $\zeta_{длv2}$ – коэффициент потерь на трение в камере смешения.

Коэффициенты потерь на трение по длине $\zeta_{длv1}$, $\zeta_{длv2}$ зависят от числа Рейнольдса, поэтому решение уравнений (2) и (3) требует итераций. Для расчетов разработана и зарегистрирована компьютерная программа [11]. Она позволяет не только определить величину инжектируемого и инжектирующего расходов, но и выполнить привязку сооружения к уровням воды в бьефах из условия требуемого заглубления входного сечения камеры смешения, входного и выходного сечений регулятора. Важность оптимальной компоновки водовыпусков на открытых водотоках отмечена в работе Э. М. Мамбетова, С. С. Сатаркулова [12].

Пропускная способность сооружения при регулировании определяется как:

$$Q_2 = \mu_2 \omega_2 \sqrt{2gH},$$

где Q_2 – суммарный расход в выходном сечении камеры смешения, m^3/c ;

μ_2 – коэффициент расхода;

H – напор, $H = H_1 - H_2$.

По уравнению неразрывности $Q_2 = Q_1 + Q_0$, или $Q_2 = v_1\omega_1 + v_0\omega_0$.

Тогда коэффициент расхода регулятора можно определить по зависимости:

$$\mu_2 = \frac{1}{\sqrt{2gH}} \left[\frac{\omega_1}{\omega_2} v_1 + \frac{\omega_0}{\omega_2} v_0 \right], \quad (4)$$

в которой скорости сливающихся в регуляторе потоков вычисляются по формулам (2) и (3).

Теоретические зависимости для коэффициентов расхода инжекционного регулятора (1) и (4) были получены впервые и наиболее полно учитывают гидравлические сопротивления в пределах проточного тракта сооружения.

Экспериментальное значение μ_2 было определено в каждой из серий опытов. В зависимости от положения бьефов коэффициент расхода принимал различные значения. Ниже створа регулятора в канал поступает только инжектирующий поток с расходом Q_1 , поэтому коэффициент расхода при регулировании удобнее анализировать в относительных величинах. Относительный коэффициент расхода регулятора определяется по формуле:

$$\mu'_2 = \frac{\mu_2}{\mu_{\text{смпл}}}.$$

На рисунке 3 приведено сравнение теоретических и экспериментальных значений относительного коэффициента расхода. Экспериментальные точки и построенная теоретическая кривая показали достаточную сходимость, чем подтвердили правомерность использования расчетных формул, включающих гидравлические сопротивления в пределах проточной части сооружения.

Рост доли инжектирующего расхода Q_1 от 70 до 97 % от расхода Q_2 , проходящего в выходном сечении камеры смешения, приводит к сниже-

нию относительного коэффициента расхода регулятора в среднем на 17 %. Другими словами, регулятор способен осуществлять циркуляцию излишков водоподдачи с коэффициентом расхода, составляющим 60–50 % от коэффициента расхода водовыпуска, при отсутствии процесса регулирования. Доля излишков водоподдачи, циркулирующая между нижним бьефом и выходным сечением камеры смешения, может достигать до 30 % от суммарного расхода регулятора.

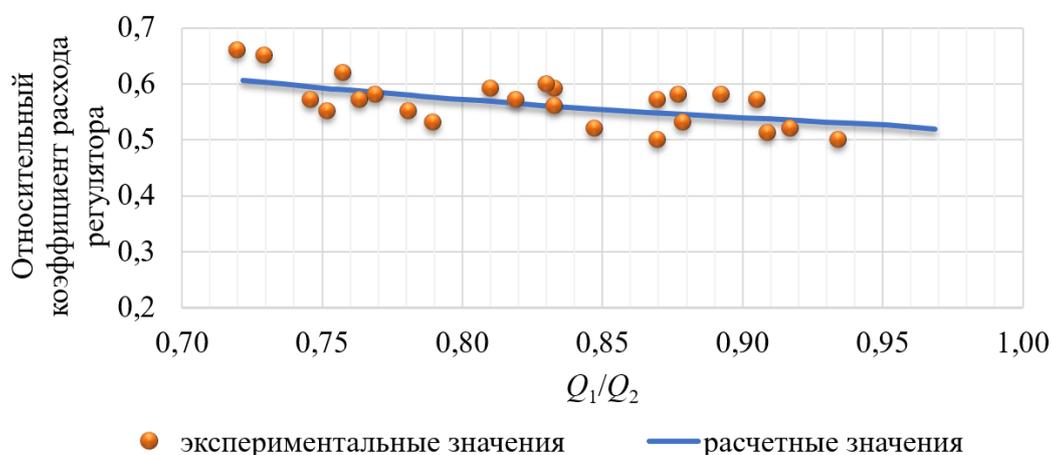


Рисунок 3 – Относительный коэффициент расхода инъекционного регулятора

Figure 3 – Relative flow coefficient of the injection regulator

Выводы. Результаты теоретических исследований позволили получить расчетные зависимости для определения коэффициента расхода инъекционного регулятора при работе в режиме водовыпуска и в процессе регулирования.

Для верификации расчетных зависимостей физическая модель регулятора была установлена в лотке гидравлической лаборатории и выполнено экспериментальное изучение ее работы при различном положении бьефов. Данные расчетов сопоставлены с экспериментальными данными, выявлена их достаточная сходимость, сделан вывод о возможности применения полученных формул для гидравлического расчета инъекционного регулятора. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, реализующей гидравлические расчеты.

Список источников

1. Performance of an automatic discharge regulator for irrigation channels / L. G. H. do Amaral, M. M. Ramos, D. D. da Silva, P. R. Cecon, L. C. da Freitas // *Engenharia Agricola*. 2010. 30(6). P. 1165–1177. DOI: 10.1590/S0100-69162010000600017.
2. Menon J., Mudgal B. V. Experimental determination of contraction coefficient and velocity coefficient for radial gates with elliptical lips // *Sadhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences*. 2018. 43(4). 61. DOI: 10.1007/s12046-018-0818-x.
3. Шкуланов Е. И., Лобанов Г. Л. Исследования стабилизаторов уровня воды для оросительных систем // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2011. № 3(03). 12 с. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=452> (дата обращения: 01.10.2023).
4. Муканов Т. А. Водовыпуск-стабилизатор расхода воды из каналов с бурным режимом течения // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2021. № 1(57). С. 179–184.
5. Пахомов А. А., Колобанова Н. А. Автоматизированное управление процессом водоподдачи с использованием гидравлических средств регулирования // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2013. № 4(12). С. 168–178. URL: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=665> (дата обращения: 01.10.2023).
6. Kadirova M. G. Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies // *E3S Web of Conferences*. 2021. 264. 03039. DOI: 10.1051/e3sconf/202126403039.
7. Аксенов Г. В., Ольховой С. А. Исследования расходной характеристики автоматизированного чекового водовыпуска с тарельчатым затвором // *Рисоводство*. 2012. № 20. С. 67–71.
8. Автоматические регуляторы для оснащения гидротехнических сооружений при орошении риса / А. С. Овчинников, Р. З. Киселёва, К. М. Мелихов, А. А. Киселёв // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 1(65). С. 342–351. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33.
9. Кобозев Д. Д., Снежко В. Л. Сравнение гидравлических характеристик инжекционных регуляторов с различной формой исполнения выходного участка // *Гидротехническое строительство*. 2023. № 2. С. 29–33.
10. Кобозев Д. Д., Снежко В. Л. Учет гидравлических потерь при определении пропускной способности инжекционных регуляторов расхода // *Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: сб. тез. докл. VI Всерос. науч.-практ. семинара*. М., 2023. С. 176–177.
11. Программа расчета заглубления бездиффузорного инжекционного регулятора расхода: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023668252 / Кобозев Д. Д. Заявка № 2023666993; заявл. 15.08.23; опублик. 24.08.23.
12. Мамбетов Э. М., Сатаркулов С. С. К вопросу совершенствования компоновок водовыпусков из открытых водотоков // *Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова*. 2020. № 2(68). С. 314–318. DOI: 10.35803/1694-5298.2020.2.314-318.

References

1. Do Amaral L.G.H., Ramos M.M., da Silva D.D., Cecon P.R., da Freitas L.C., 2010. Performance of an automatic discharge regulator for irrigation channels. *Engenharia Agricola*, 30(6), pp. 1165-1177, DOI: 10.1590/S0100-69162010000600017.
2. Menon J., Mudgal B.V., 2018. Experimental determination of contraction coefficient and velocity coefficient for radial gates with elliptical lips. *Sadhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 43(4), 61, DOI: 10.1007/s12046-018-0818-x.

3. Shkulanov E.I., Lobanov G.L., 2011. [Research for water level stabilizers for irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(03), 12 p., available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=452> [accessed 01.10.2023]. (In Russian).

4. Mukanov T.A., 2021. *Vodovypusk-stabilizator raskhoda vody iz kanalov s burnym rezhimom techeniya* [Water outlet-stabilizer of water flow rate from channels with a turbulent flow mode]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Bull. of Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov], no. 1(57), pp. 179-184. (In Russian).

5. Pakhomov A.A., Kolobanova N.A., 2013. [Automated management of water supply process using hydraulic means for control]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(12), pp. 168-178, available: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=665> [accessed 01.10.2023]. (In Russian).

6. Kadirova M.G., 2021. Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies. E3S Web of Conferences, 264, 03039, DOI: 10.1051/e3sconf/202126403039.

7. Aksenov G.V., Olkhovoy S.A., 2012. *Issledovaniya raskhodnoy kharakteristiki avtomatizirovannogo chekovogo vodovypuska s tarel'chatym zatvorom* [Investigation of discharge characteristics of automatic paddy offtake regulator with orchard valve]. *Risovodstvo* [Rice Growing], no. 20, pp. 67-71. (In Russian).

8. Ovchinnikov A.S., Kiseleva R.Z., Melikhov K.M., Kiselev A.A., 2022. *Avtomaticheskie regulatory dlya osnashcheniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy pri oroshenii risa* [Automatic regulators for equipment of hydraulic structures for rice irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(65), pp. 342-351, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33. (In Russian).

9. Kobozev D.D., Snezhko V.L., 2023. *Sravnenie gidravlicheskikh kharakteristik inzhetsionnykh regulyatorov s razlichnoy formoy ispolneniya vykhodnogo uchastka* [Comparison of hydraulic characteristics of injection regulators with different forms of execution of the outlet section]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 2, pp. 29-33. (In Russian).

10. Kobozev D.D., Snezhko V.L., 2023. *Uchet gidravlicheskikh poter' pri opredelenii propusknoy sposobnosti inzhetsionnykh regulyatorov raskhoda* [Accounting of hydraulic losses when determining the discharge capacity of injection flow regulators]. *Sovremennye problemy gidravliki i gidrotekhnicheskogo stroitel'stva: sb. tezisov dokladov VI Vse-rossiyskogo nauchno-prakticheskogo seminara* [Current Problems of Hydraulics and Hydraulic Engineering: Collection of Abstract Reports of the VI All-Russian Scientific-Practical Seminar]. Moscow, pp. 176-177. (In Russian).

11. Kobozev D.D., 2023. *Programma rascheta zaglubleniya bezdiffuzornogo inzhetsionnogo regulyatora raskhoda* [Program for Calculating the Depth of a Diffuserless Injection Flow Regulator]. Certificate of registration of the computer program, no. 2023668252. (In Russian).

12. Mambetov E.M., Satarkulov S.S., 2020. *K voprosu sovershenstvovaniya komponentov vodovypuskov iz otkrytykh vodotokov* [On the issue of water outlets improvement from open circuits]. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arkhitektury im. N. Isanova* [Herald of Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov], no. 2(68), pp. 314-318, DOI: 10.35803/1694-5298.2020.2.314-318. (In Russian).

Информация об авторах

В. Л. Снежко – профессор, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, vl_snejko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-0563>;

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 263–276.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2023. Vol. 91, no. 3. P. 263–276.

Д. Д. Кобозев – ассистент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, kobozev.daniil@yandex.ru.

Information about the authors

V. L. Snezhko – Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, vl_snejko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-0563>;

D. D. Kobozev – Assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, kobozev.daniil@yandex.ru.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 20.10.2023; одобрена после рецензирования 02.11.2023;
принята к публикации 13.11.2023.*

The article was submitted 20.10.2023; approved after reviewing 02.11.2023; accepted for publication 13.11.2023.