

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.6:556.541:004.94

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-105-110

## ЧИСЛЕННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ

**ТАЛЫЗОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**, старший научный сотрудник

talyzov@vniigim.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова; 125550, г. Москва, Б. Академическая, 44, стр. 2. Россия

*Цель исследования – изучение режимов работы водопропускных сооружений, входящих в состав гидромелиоративной системы, с помощью численного компьютерного моделирования в среде HEC-RAS. В работе описаны основные этапы обработки исходных данных, подготовки модели, выполнения моделирования и анализ полученных результатов. Исследован вопрос программного описания правил управления водопропускным сооружением – управляемым затвором, расположенным на канале трапецидального сечения, и выполняющим функцию регулирования уровней воды. Созданные правила работы сооружения предполагают изменение положения затвора в зависимости от уровней воды в верхнем и нижнем бьефах, чем обеспечивается регулирование. Для полученной модели канала с водопропускным сооружением были проведены расчеты при неустановившемся режиме течения воды в канале, исследована реакция сооружения на изменение пропускаемого расхода воды, проанализирован полученный ход уровней в верхнем и нижнем бьефах. На основании результатов моделирования сделаны выводы о применимости данного метода исследования для решения задач, связанных с оптимизацией режимов эксплуатации гидромелиоративных систем.*

**Ключевые слова:** гидромелиоративная система, канал, гидравлика, геоинформационная система, орошение, регулирование, управление

**Формат цитирования:** Талызов А.А. Численное компьютерное моделирование работы водопропускных сооружений гидромелиоративной системы // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 105-110. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-105-110.

© Талызов А.А., 2021

Original article

## NUMERICAL COMPUTER SIMULATION OF THE OPERATION OF CULVERTS OF A HYDRO-RECLAMATION SYSTEM

**TALYZOV ALEKSEJ ALEKSEEVICH**, a senior researcher

talyzov@vniigim.ru

All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov; 125550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44 korp. 2. Russia

*The aim of this research was to study the operating modes of water-passing structures that are part of the irrigation and drainage system using numerical computer modeling in the HEC-RAS environment. The paper describes the main stages of processing the source data, preparing a model, performing modeling and analyzing the results. The problem of the program description of the rules for managing a water-passing structure – a controlled gate located on a trapezoidal channel and performing the function of regulating water levels is investigated. The created rules for the operation of the structure imply a change in the position of the gate depending on the water levels in the upper and lower reaches, which ensures regulation. For the resulting model of a channel with a controlled gate, calculations were carried out for a non-steady flow of water, the response of the structure to a change in the flow rate of water was investigated, and the obtained values of water levels in the upper and lower reaches was analyzed. Based on the simulation results, conclusions were drawn about the applicability of this research method for solving problems related to the optimization of operating modes of irrigation and drainage systems.*

**Keywords:** irrigation and drainage system, channel, hydraulics, geographic information system, irrigation, regulation, management

**Format of citation:** Talyzin A.A. Numerical computer simulation of the operation of culverts of a hydro-reclamation system // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 5. – S. 105-110. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-105-110.

**Введение.** Компьютерные модели, описывающие движение водного потока в естественных руслах, каналах, различных водопропускных сооружениях нашли широкое применение при решении задач водопользования. Применительно к гидромелиоративным системам моделирование движения водного потока в каналах позволяет решить широкий спектр задач, связанных с динамическим распределением воды, прогнозированием аварийных ситуаций, обеспечением надежной подачи воды потребителю. Распределение водных потоков осуществляется с помощью сооружений, содержащих затворы, степень открытия которых изменяется в зависимости от желаемой пропускной способности сооружения. Система компьютерного гидродинамического моделирования HEC-RAS обладает набором инструментов, позволяющих имитировать работу насосных станций и водопропускных сооружений. При этом реакция управляющих элементов сооружения на то или иное событие задается с помощью специального языка программирования.

**Материалы и методы.** В статье рассмотрены аспекты построения компьютерной математической модели фрагмента гидромелиоративной системы, состоящего из двух отрезков канала (подводящий и отводящий)

и управляемого сооружения – вертикального затвора. Водопропускное сооружение выполняет задачу поддержания необходимого уровня воды в нижнем бьефе при различных пропускных расходах (изменяющемся потреблении).

Моделирование выполнялось в среде HEC River Analysis System – HEC-RAS [1, 2]. Была подготовлена модель канала трапециевидального сечения, разбитого на два бьефа водопропускным сооружением – управляемым плоским затвором (рис. 1). Согласно классификации [3] данный затвор является внутрисистемным мелиоративным регулирующим сооружением, а рассматриваемая задача заключается в автоматизации управления затвором с целью поддержания постоянного уровня воды.

Подготовка модели состояла из трех основных этапов:

- 1) создание набора поперечных сечений, описывающего геометрию канала;
- 2) определение местоположения управляющего сооружения и задание его характеристик;
- 3) задание правил управления сооружением.

Набор поперечных сечений был создан с помощью специально разработанной для этого программы Channel Generator (chgen) [4, 5].

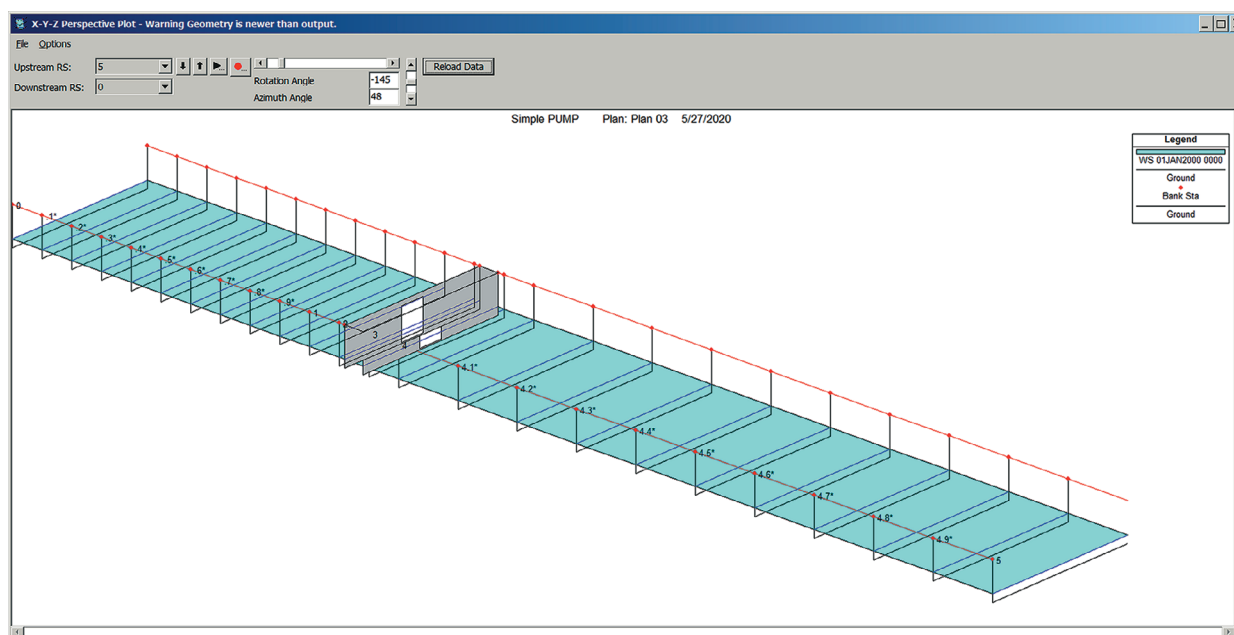


Рис. 1. Модель канала с управляемым сооружением  
Fig. 1. Model of the channel with a controlled structure

Геометрические характеристики водопропускного сооружения: ширина, высота, расположение затвора – задаются в специальном редакторе HEC-RAS. Затвор может быть как прямоугольным,

так и произвольной формы. В первом случае он описывается тремя параметрами (высота, ширина, отметка нижнего порога затвора), во втором случае – набором координат X, Y (рис. 2).

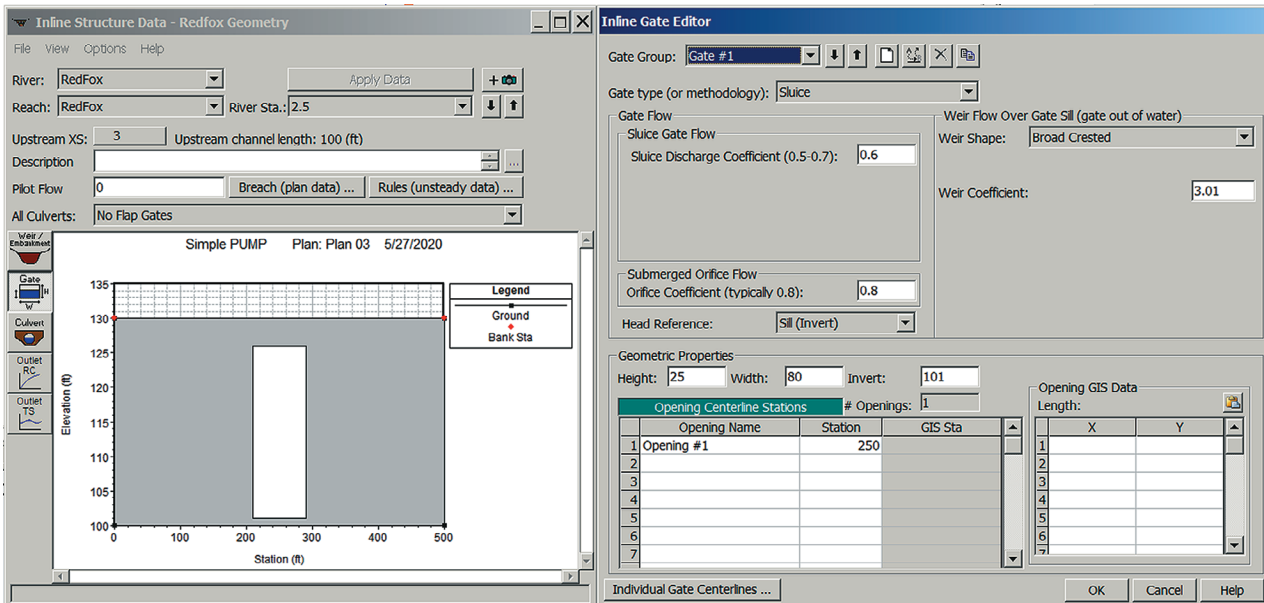


Рис. 2. Описание геометрии затвора водопропускного сооружения:

Height – высота; Width – ширина; Invert – отметка основания

Fig. 2. Description of the geometry of the culvert gate of the structure

Функционирование затвора сооружения было описано с помощью специальной программы, текст которой с комментариями приведен

в таблице. Язык описания правил в HEC-RAS во многом является схожим с распространенным языком программирования Pascal [6].

Таблица

### Программное описание моделируемого режима работы водопропускного сооружения

Table

#### Program description of the simulated mode of operation of the culvert

Код управления / Control code	Комментарий / Comment
'WSEL_US'=Cross Sections: WS Elevation(RedFox, Redfox, 3, Value at current time step)	Получаем значения уровня воды нижнем бьефе сооружения в текущий момент модельного времени <i>We obtain the values of the water level downstream of the structure at the current moment of the model time</i>
'WSEL_DS'=Cross Sections: WS Elevation(RedFox, Redfox, 1, Value at current time step)	Получаем значения уровня воды верхнем бьефе сооружения в текущий момент модельного времени <i>We obtain the water level values upstream of the structure at the current moment of the model time</i>
if ('WSEL_DS' > 106.6) Then Gate.Opening(Gate #1) = 0	Если превышен уровень нижнего бьефа 106,6 выполняется полное закрытие затвора <i>If the downstream level of 106.6 is exceeded, the gate is fully closed.</i>
ElseIf ('WSEL_DS' < 106.5) And ('WSEL_US' > 'WSEL_DS' + 0.2) Then Gate.Opening(Gate #1) = 10	Иначе, если уровень нижнего бьефа ниже 106,5 и уровень В.Б. превышает его на 0,2 м, выполняется открытие затвора <i>Otherwise, if the downstream level is below 106.5 and the B.B. level exceeds it by 0.2 m, the gate is opened</i>
End If	

Для полученной модели было выполнено моделирование движения воды в различных режимах с учетом реакции программно-управляемого сооружения на параметры пропускаемого водного потока. Некоторые полученные характеристики (расчетные уровни

воды при различных положениях затвора) показаны на рисунках 3а-3б. Реакция сооружения на изменение расхода воды в канале соответствовала ожидаемой, в нижнем бьефе поддерживался заданный уровень воды при различных расходах.

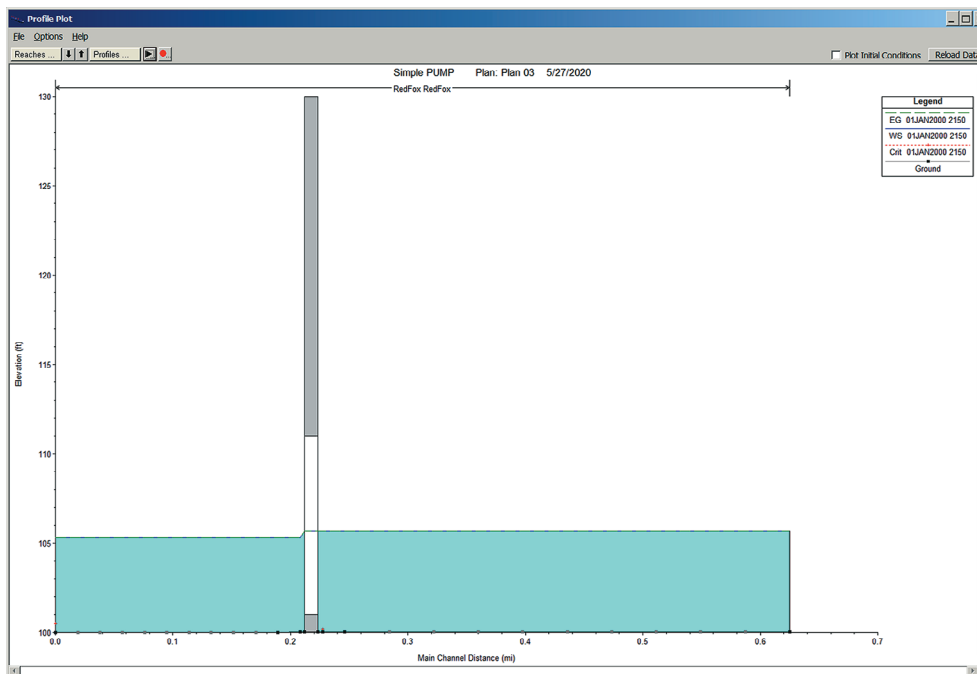


Рис. 3а. Уровни воды при открытом затворе

Fig. 3a. Water levels when the gate is open

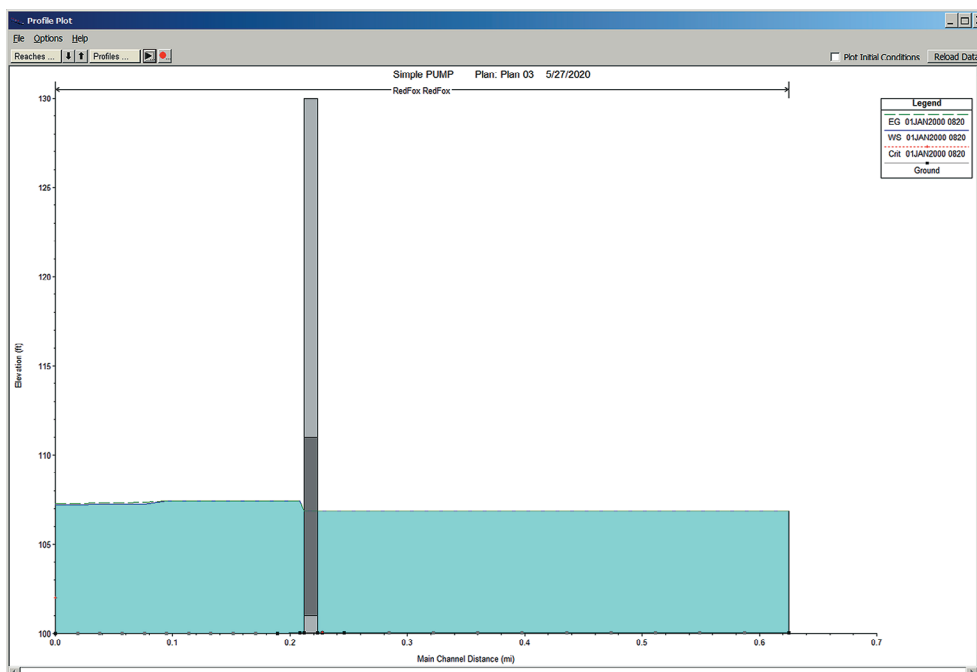


Рис. 3б. Уровни воды при закрытом затворе

Fig. 3b. Water levels when the gate is closed

**Результаты и обсуждение.** Результаты выполненного моделирования могут также быть

представлены в форме как таблиц, так и в графиков (рис. 4), что предоставляет дополнительные

возможности анализа и последующей обработки данных. В таблице отражаются номер исследуемого участка канала, положение точки с поперечным сечением (пикетаж), смоделированный

расход воды, уровень дна канала, смоделированный уровень воды, уклон свободной поверхности воды, скорость течения, площадь сечения водного потока, ширина потока по верху сечения.

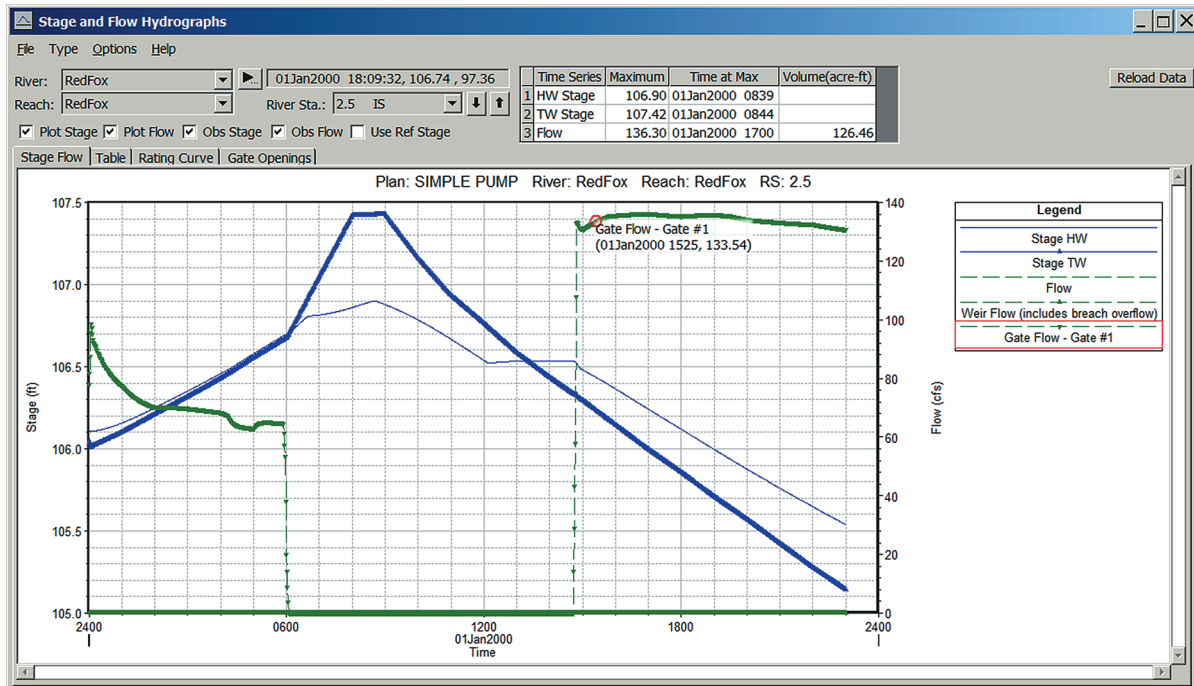


Рис. 4. Полученные расчетные значения уровней и расходов воды: синим цветом жирным – УВБ; синим цветом тонким – УНБ; зеленым цветом – расход через затвор сооружения

Fig. 4. Calculated values of water levels and flow rates obtained: Blue bold – UVB, blue thin – UNB, green – flow through the gate of the structure

Таблицы с результатами расчетов HEC-RAS могут быть экспортированы в стандартные форматы, после чего помещены для хранения и дальнейшей обработки в базу данных, поддерживающих запросы в стандарте SQL [7]. Так будет обеспечено взаимодействие между системой гидравлического моделирования и автоматизированной системой управления ГМС [8-10].

### Выводы

Проведенный эксперимент показал применимость системы моделирования HEC-RAS для исследования режимов функционирования управляемых элементов гидромелиоративных систем. В статье представлены результаты

исследования, основной целью которого являлось изучение возможностей компьютерного моделирования режимов движения воды в каналах гидромелиоративной системы, оборудованных управляемыми водопропускными сооружениями. Описан процесс подготовки такой модели, включающей в себя программное описание правил управления водопропускным сооружением.

Следует отметить потенциал программы HEC-RAS для решения задач управления распределением воды в гидромелиоративных системах, обусловленный возможностью совмещения численного гидродинамического моделирования водного потока и программного описания режимов функционирования внутрисистемных сооружений.

### Библиографический список

1. Смит Д. Система компьютерного моделирования HEC-RAS. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> (дата обращения: 19.01.2021).
2. Brunner G., HEC-RAS. River Analysis System Hydraulic Reference Manual /

### References

1. Smit D. Sistema kompyuternogo modelirovaniya HEC-RAS. [Elektron. resurs] // – Rezhim dostupa: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> (data obrashcheniya 19.01.2021)
2. Brunner G., HEC-RAS. River Analysis System Hydraulic Reference

G. Brunner // U.S. Army Corps of Engineers Institute. – For Water Resources Hydrologic Engineering Center Davis, 2010. – 534 с.

3. **Розанов Н.П.** Гидротехнические сооружения. – М.: Стройиздат, 1978. – 647 с.

4. **Талызов А.А.** Усовершенствованная методика подготовки компьютерной модели гидромелиоративной системы // Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сб. научных трудов. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2020. – С. 401-407.

5. **Талызов А.А., Щербakov А.О.** Моделирование регулирования стока водопроводящей сети гидромелиоративных систем на основе компьютерных технологий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2 (70). – С. 208-212.

6. **Расолько Г.А., Кремень Ю.А.** Теория и практика программирования на языке Pascal: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 447 с.

7. **Гольцман В.** MySQL 5.0. Библиотека программиста. – СПб.: Питер, 2010. – 253 с.

8. **Талызов А.А.** Оптимизация режимов функционирования сооружений оросительной системы с использованием математических моделей // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий: Мат-лы Междун. юбилейной научно-практ. конф.. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. – С. 35-41.

9. **Шидловский С.В.** Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 100 с.

10. **Цыпкин Я.З.** Основы теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977. – 560 с.

Manual / G. Brunner // U.S. Army Corps of Engineers Institute For Water Resources Hydrologic Engineering Center, Davis, 2010. – 534 с.

3. **Rozanov N.P.** Gidrotehnicheskie sooruzheniya. – M.: Strojizdat, 1978. – 647 s.

4. **Talyzov A.A.** Usovershenstvovannaya metodika podgotovki kompyuternogo modeli i gidromeliorativnoj sistemy // Nauchno-metodicheskoe obespechenie razvitiya meliorativno-vodohozyajstvennogo kompleksa. Sb. nauchnyh trudov. – M.: Izd. VNIIGiM, 2020. – S. 401-407.

5. **Talyzov A.A., Shcherbakov A.O.** Modelirovanie regulirovaniya stoka vodoprovodyashchej seti gidromeliorativnyh system na osnove kompyuternyh tehnologij // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. – 2018. – № 2 (70). – S. 208-212.

6. **Rasolko G.A., Kremen Yu.A.** Teoriya i praktika programmirovaniya na yazyke Pascal: ucheb. posobie. – Minsk: Vysshaya shkola, 2015. – 447 s.

7. **Goltsman V.** MySQL 5.0. Biblioteka programmista. – SPb.: Piter; 2010. – 253 s.

8. **Talyzov A.A.** Optimizatsiya rezhimov funktsionirovaniya sooruzhenij orositelnoj sistemy s ispolzovaniem matematicheskikh modelej. // Problemy razvitiya selskohozyajstvennyh melioratsij i vodohozyajstvennogo kompleksa na baze tsifrovyyh tehnologij. Mat-ly mezhdun. yubilejnoj nauchno-prakt. konf. – M: Izd. VNIIGiM, 2019. – S. 35-41.

9. **Shidlovskij S.V.** Avtomatizatsiya tehnologicheskikh protsessov i proizvodstv: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2005. – 100 s.

10. **Tsyppkin Ya.Z.** Osnovy teorii avtomaticheskikh sistem. – M.: Nauka, 1977. – 560 s.

#### Критерии авторства

Талызов А.А. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 25.09.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2021 г.

Принята к публикации 01.11.2021 г.

#### Criteria of authorship

Talyzov A.A. carried out theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript, has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 25.09.2021

Approved after reviewing 18.10.2021

Accepted for publication 01.11.2021