

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 626.82:532

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-123-135

Результаты гидравлических расчетов каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы

Олег Андреевич Баев¹, Виктория Федоровна Талалаева²,
Дарья Викторовна Бакланова³

^{1,2,3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

³d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Аннотация. Цель: гидравлические расчеты действующей водопроводящей сети каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы. **Материалы и методы.** Материалами к выполнению расчетов послужили: документация по эксплуатации Черноземельской обводнительно-оросительной системы, результаты натурных обследований каналов и данные инструментальных измерений уровней, скоростей и расходов воды в обследуемых створах распределительных каналов. Натурные исследования выполнены по общепринятым правилам и методикам проведения обследований, гидрометрических измерений и оценки состояния объектов мелиоративного назначения. Гидравлические расчеты каналов выполнены для условий равномерного движения водного потока в их руслах на прямолинейных участках. Расчеты основных элементов живого сечения каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы выполнялись с использованием данных паспортов и результатов натурных обследований этих каналов. **Результаты.** Для контрольных створов на Яшкульском и Гашунском распределительных каналах Черноземельской обводнительно-оросительной системы выполнены расчеты основных элементов живого сечения каналов, построены кривые зависимости расхода и средней скорости водного потока в каналах от глубины их наполнения, определены допустимые (неразмывающие и незаиляющие) скорости движения воды в каналах. **Выводы.** Для створа на Гашунском распределительном канале было установлено, что заиление его русла будет происходить при расходе водного потока $Q < 2,75$ куб. м/с и наполнении канала $h < 1,0$ м. При оценке русла Гашунского канала на подверженность размыву определено, что канал на участке контрольного створа может пропускать заданные расходы, не подвергаясь размыву. Проверка русла Яшкульского распределительного канала в контрольном створе на заиление и размыв показала, что его русло не будет подвергаться размыву в рассмотренном диапазоне скоростей водного потока 0,62–1,14 м/с.

Ключевые слова: оросительный канал, русло, гидравлический расчет, расход, неразмывающая скорость, незаиляющая скорость

Для цитирования: Баев О. А., Талалаева В. Ф., Бакланова Д. В. Результаты гидравлических расчетов каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 123–135. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-123-135>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Results of hydraulic calculations of the Chernozemelskaya irrigation system channels

Oleg A. Baev¹, Viktoria F. Talalaeva², Darya V. Baklanova³

^{1,2,3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

³d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Abstract. Purpose: hydraulic calculations of the current water supply network of the Chernozemelskaya irrigation system channels. **Materials and methods.** The materials for the calculations were: operational records of the Chernozemelskaya irrigation system, the results of field surveys of channels and data from instrumental measurements of water levels, velocities and water discharges in the surveyed discharge section lines of distributary channels. The field work was carried out according to the generally accepted rules and methods of surveys, hydrometric measurements and assessment of the reclamation facilities state. Channel hydraulic calculations were performed for the conditions of constant water flow in their channels on rectilinear sections. Calculations of the main elements of the water cross-section of the Chernozemelskaya irrigation system channels were carried out using passport data and the results of field surveys of these channels. **Results.** Calculations of the main elements of the water cross-section of the channels for the control stations on the Yashkul and Gashun distribution canals of the Chernozemelskaya irrigation system were performed, rating curves of discharge and average water flow velocity in channels from the depth of their filling were constructed; permissible (non-eroding and non-silting) velocities of water flow in the channels were determined. **Conclusions.** It was found for the discharge section line on the Gashun distribution canal, that siltation of the channel will occur at a water flow discharge of $Q < 2.75 \text{ m}^3/\text{s}$ and channel filling of $h < 1.0 \text{ m}$. When assessing the channel of the Gashun canal for the susceptibility to erosion, it was determined that the channel in the control station section can pass the specified discharge without being eroded. Checking the channel of the Yashkul distribution canal in the control section for siltation and erosion showed that its channel will not be eroded in the considered range of water flow velocities from 0.62–1.14 m/s.

Keywords: irrigation channel, channel, hydraulic calculation, discharge, non-eroding velocity, non-silting velocity

For citation: Baev O. A., Talalaeva V. F., Baklanova D. V. Results of hydraulic calculations of the Chernozemelskaya irrigation system channels. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1):123–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-123-135>.

Введение. Гидравлические расчеты каналов мелиоративных систем необходимы для обеспечения эффективной их работы и оптимального использования водных ресурсов [1–5]. Расчет включает анализ гидродинамических процессов и определение гидравлических параметров, в результате определяются оптимальные размеры и форма канала [6, 7], чтобы обеспе-

чить требуемый расход воды, минимизировать потери давления и предотвратить возможные проблемы, такие как эрозия дна и берегов канала [8].

На каналах оросительных систем наибольший интерес представляют гидравлические расчеты по определению скоростных характеристик [9–12], а также расчеты коэффициентов шероховатости русел при различных условиях, они рассмотрены в работах отечественных [13–18] и зарубежных [19, 20] ученых.

В условиях ограниченности водных ресурсов в Республике Калмыкия восстановление изношенных оросительных систем, расположенных на территории региона, и сокращение площадей подтопленных и засоленных земель – приоритетная направленность сохранения и развития сельскохозяйственного производства, особенно в засушливых южных районах республики, где выращивание сельскохозяйственных культур возможно только при условии их орошения [4].

Так, по данным службы эксплуатации, коэффициент полезного действия (КПД) Черноземельской обводнительно-оросительной системы (ООС) не превышает 0,66, а выполненные натурные обследования показали необходимость повышения технического уровня каналов и сооружений данной системы посредством реализации восстановительных и противофильтрационных мероприятий.

Целью настоящих исследований являлось проведение гидравлических расчетов для действующей водопроводящей сети каналов Черноземельской ООС.

Материалы и методы. Материалами к выполнению расчетов послужили: исходная документация по эксплуатации Черноземельской ООС (проектные материалы, паспорта каналов, акты обследования и пр.), результаты натурных обследований каналов данной системы (в июне 2023 г.), и в частности данные инструментальных измерений уровней, скоростей

и расходов воды в обследуемых створах Яшкульского и Гашунского распределительных каналов (РК).

Натурные исследования и обработка их результатов были выполнены по общепринятым правилам и методикам проведения обследований, гидрометрических измерений и оценки технического состояния объектов мелиоративного назначения. Гидравлические расчеты каналов выполнены для условий равномерного движения водного потока в их руслах на прямолинейных участках.

Результаты и обсуждение. Имея количественные данные технико-эксплуатационной карты мелиоративной системы и результаты, полученные в ходе натурных обследований, выполнили приближенные расчеты основных элементов живого сечения Гашунского и Яшкульского РК Черномоземельской ООС с учетом положений СП 100.13330.2016¹. Результаты расчетов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Расчет кривых зависимостей $Q(h)$ и $v_{cp}(h)$ для Гашунского распределительного канала

Table 1 – Calculation of the dependence curves $Q(h)$ and $v_{av}(h)$ for the Gashun distribution canal

| Параметр | Значение параметра при разных уровнях | | | | | |
|---|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Земляное русло | | | | | |
| Элемент потока | | | | | | |
| Уклон потока i_0 , промилле | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Ширина по дну b , м | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Заложение откосов m | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| Ширина B , м | 8,22 | 10,5 | 11,25 | 13,2 | 14,4 | 15 |
| Площадь поперечного сечения ω , м ² | 5,26 | 12,38 | 15,09 | 23,04 | 28,56 | 31,5 |
| Смоченный периметр χ , м | 8,67 | 11,4 | 12,3 | 14,64 | 16,08 | 16,82 |
| Гидравлический радиус R , м | 0,61 | 1,09 | 1,23 | 1,57 | 1,78 | 1,87 |
| Средняя глубина h_{cp} , м | 0,64 | 1,18 | 1,34 | 1,75 | 1,98 | 2,1 |
| Коэффициент шероховатости n | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с | 30,66 | 33,82 | 34,51 | 36,60 | 36,70 | 37,01 |

¹Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016 (с изм. № 1): утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. М.: Стандартинформ, 2017. 231 с.

**Таблица 2 – Расчет кривых зависимостей $Q(h)$ и $v_{cp}(h)$
 для Яшкульского распределительного канала**
**Table 2 – Calculation of the dependence curves $Q(h)$ and $v_{av}(h)$
 for the Yashkul distribution canal**

| Параметр | Значение параметра при разных уровнях | | | | | |
|---|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Уклон потока i_0 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Ширина по дну b , м | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Заложение откосов m | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| Ширина B , м | 4,8 | 5,4 | 6 | 6,6 | 7,5 | 8,7 |
| Площадь поперечного сечения ω , м ² | 2,34 | 3,36 | 4,5 | 5,76 | 7,88 | 11,12 |
| Смоченный периметр χ , м | 5,16 | 5,88 | 6,61 | 7,33 | 8,41 | 9,85 |
| Гидравлический радиус R , м | 0,45 | 0,57 | 0,68 | 0,79 | 0,94 | 1,13 |
| Средняя глубина h_{cp} , м | 0,49 | 0,62 | 0,75 | 0,87 | 1,05 | 1,28 |
| Коэффициент шероховатости n | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с | 29,21 | 30,36 | 31,26 | 32,02 | 32,97 | 34,02 |

На графиках (рисунок 1) представлены кривые $Q(h)$ и $v(h)$ для рассматриваемого морфоствора 1 на ПК 160 + 00 Гашунского РК.

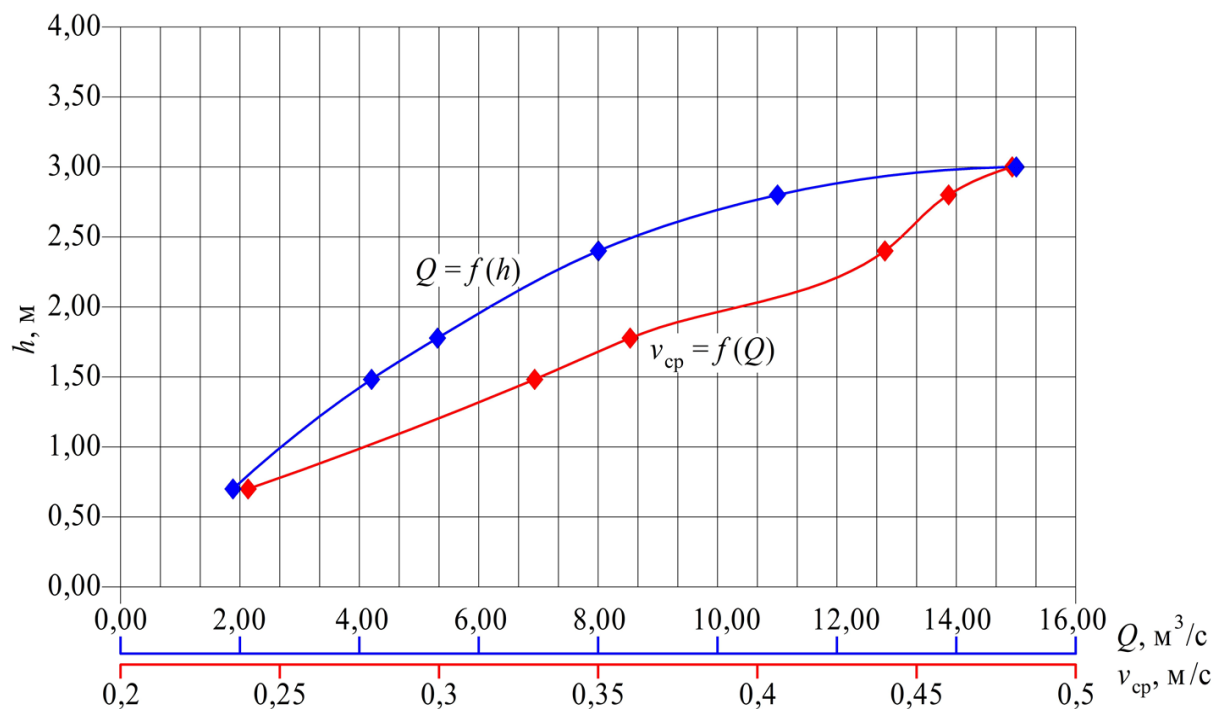


Рисунок 1 – Кривые зависимости расходов (Q) и средней скорости (v_{cp}) от уровней (h) воды в морфостворе 1 на ПК 160 + 00 Гашунского распределительного канала

Figure 1 – Dependence curves of water discharge (Q) and average speed (v_{av}) on water levels (h) in morphological section 1 at picket 160 + 00 of the Gashun distribution canal

На графиках (рисунок 2) представлены кривые $Q(h)$ и $v(h)$ для исследуемого морфоствора на Яшкульском РК.

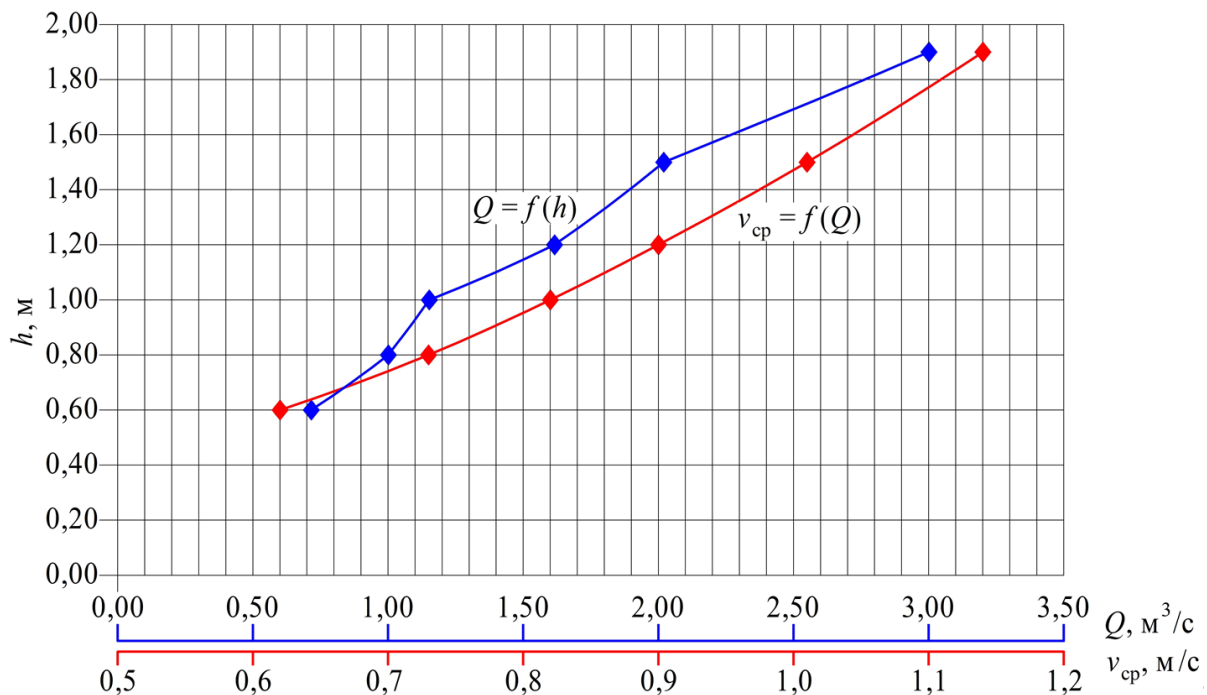


Рисунок 2 – Кривые зависимости расходов (Q) и средней скорости (v_{cp}) от уровней (h) воды в морфостворе 1 Яшкульского распределительного канала

Figure 2 – Dependence curves of water discharge (Q) and average speed (v_{av}) on water levels (h) in morphological section 1 of the Yashkul distribution canal

В задачи гидравлического расчета каналов Черноземельской ООС также входило определение максимальной допустимой скорости течения (неразмывающей) $v_{доп}$, м/с, и минимальной допустимой скорости (незаиляющей) v_s , м/с.

В канале должно обеспечиваться следующее условие (по положениям СП 100.13330.2016):

$$v_s < v_{cp} < v_{доп}.$$

Под минимальной допустимой (незаиляющей) скоростью понимают скорость, при которой из водного потока не выпадают транспортируемые им взвешенные частицы, т. е. частицы будут заиливать русло при скорости потока $v_{cp} < v_s$ [1, 6].

Выполним оценку канала на незаиление. Вычисляем незаиляющую скорость в исследуемом створе Гашунского РК (на ПК 160 + 00) по формуле, приняв значение гидравлического радиуса $R = R_{\min} = 0,61$ м (по таблице 1):

$$v_s = 0,3 \cdot R^{0,25} = 0,3 \cdot 0,61^{0,25} = 0,27 \text{ м/с.}$$

Выпишем из таблицы 1 значения средних скоростей потока при различных значениях расхода воды в канале:

$$v_{\text{cp}} = 0,36 \text{ м/с,} \quad (1)$$

$$v_{\text{min}} = 0,23 \text{ м/с,} \quad (2)$$

$$v_{\text{max}} = 0,48 \text{ м/с.} \quad (3)$$

Отметим, что v_{cp} и $v_{\text{max}} > v_s$, соответственно, при этих скоростях и соответствующих им уровнях и расходах воды канал на рассматриваемом участке не заиляется.

Однако $v_{\text{min}} = 0,23 \text{ м/с} < v_s = 0,27 \text{ м/с}$, что означает заиление русла канала, т. е. при данной скорости течения частицы наносов, транспортируемые потоком, будут выпадать и заиливать русло.

Дополнительными расчетами в диапазоне изменения расхода Q от 1,89 до 4,2 м³/с и глубины наполнения канала h от 0,74 до 1,5 м установлено, что заиление русла на участке контрольного створа будет происходить при $Q < 2,75 \text{ м}^3/\text{с}$ и $h < 1,0 \text{ м}$, так как при данных значениях средняя скорость водного потока будет меньше минимальной допускаемой (незаиляющей) скорости 0,27 м/с.

Под неразмывающей скоростью водного потока понимают наибольшую скорость, при превышении которой ($v_{\text{cp}} > v_{\text{доп}}$) происходит размыв русла.

Для средних суглинков, в которых проложен Гашунский канал, ориентировочная предельная допустимая скорость по И. И. Агроскину и др.² составляет $v_{\text{доп}} = 1,0 \text{ м/с}$.

²Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. М.; Л.: Энергия, 1964. 352 с.

Как видно из полученных значений скоростей (1)–(3), ни одна из них не превышает допустимую скорость $v_{\text{доп}} = 1,0 \dots 1,2$ м/с, а значит, канал на участке расчетного створа может пропускать заданные расходы, не подвергаясь размыву.

Для Яшкульского РК (на головном участке) при значении гидравлического радиуса $R = R_{\text{min}} = 0,45$ м (по таблице 2) незаиляющая скорость составит:

$$v_s = 0,3 \cdot R^{0,25} = 0,3 \cdot 0,45^{0,25} = 0,25 \text{ м/с.}$$

Значения средних скоростей потока при различных значениях расхода воды в канале колеблются в пределах 0,62–1,14 м/с ($v_{\text{min}} = 0,62$ м/с, $v_{\text{cp}} = 0,82$ м/с, $v_{\text{max}} = 1,14$ м/с). Заметим, что скорости ($v_{\text{min}}; v_{\text{cp}}; v_{\text{max}} > v_s$, это означает, что канал не будет заиляться: $v_{\text{max}} = 1,14$ м/с находится в диапазоне предельной допустимой скорости для среднесуглинистых грунтов $v_{\text{доп}} = 1,0$ м/с. С учетом того, что в настоящее время по Яшкульскому каналу не пропускаются расходы более 1 м³/с, его русло не будет подвергаться размыву.

Выводы

1 Выполнены расчеты основных элементов живого сечения каналов Черноземельской ООС в контрольных створах, построены кривые зависимости расхода и средней скорости водного потока в каналах от глубины их наполнения, определены допускаемые (неразмывающие и незаиляющие) скорости движения воды в выбранных створах на распределительных каналах.

2 Для контрольного створа на ПК 160 + 00 Гашунского канала установлено, что заиление русла канала в расчетном створе будет происходить при расходе водного потока $Q < 2,75$ м³/с и его наполнении $h < 1,0$ м, так как при данных значениях средняя скорость водного потока будет меньше минимальной допускаемой (незаиляющей) скорости, равной 0,27 м/с.

3 При оценке русла Гашунского канала на подверженность размыву определено, что канал на участке контрольного створа может пропускать заданные расходы, не подвергаясь размыву.

4 Проверка русла Яшкульского канала в контрольном створе на заиление и размыв показала, что его русло не подвергается размыву и заилению в рассмотренном диапазоне скоростей водного потока 0,62–1,14 м/с.

Список источников

1. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90–98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98. EDN: CULLVY.

2. Романова А. С., Бандурин М. А., Приходько И. А. Мониторинг технического состояния механического оборудования сооружений водохозяйственного комплекса // Экосистемы. 2023. № 34. С. 133–139. EDN: VXNFDX.

3. Черных О. Н., Ханов Н. В. Водные объекты в АПК и их эксплуатация // Картофель и овощи. 2019. № 11. С. 6–10. DOI: 10.25630/PAV.2019.58.75.001. EDN: EHWXEG.

4. Бакланова Д. В. Анализ проблем функционирования Сарпинской обводнительно-оросительной системы в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 209–222. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1287> (дата обращения: 15.12.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-209-222>. EDN: EPHNSL.

5. Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет. Программа многофакторных исследований ГТС. Проведение натурных работ по комплексному обследованию и геодезическим измерениям / О. Д. Рубин, Н. В. Ханов, С. Е. Лисичкин, А. С. Антонов. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 111 с. EDN: KZGIPE.

6. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147–1162. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162. EDN: OUXBGA.

7. Снежко В. Л. Современные способы обработки данных в исследованиях гидравлических сопротивлений турбулентных потоков // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 1. С. 179–185. EDN: NSZRCT.

8. Бандурин М. А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 1(09). С. 68–79. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=625> (дата обращения: 15.12.2023). EDN: PVWYMF.

9. Ханов Н. В. Гидравлика водосбросов с тангенциальными завихрителями: монография / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Департамент кадровой политики и образования, Моск. гос. ун-т природообустройства, каф. гидравлики. М., 2003. 224 с. EDN: QNKESN.

10 Ткачев А. А., Гурин К. Г. Определение формы движения потока в лотке быстотока Новотроицкого водохранилища при минимальном расходе // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 3. С. 128–142. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-128-142. EDN: SGWOFQ.

11. Брянская Ю. В., Байков В. Н., Волинов М. А. Распределение скоростей и гидравлическое сопротивление при течении в трубах, каналах и речных руслах // Гидротехническое строительство. 2011. № 3. С. 37–39. EDN: NEIAGX.

12. Брянская Ю. В. Выбор плоскости отсчета при измерении распределения скоростей в шероховатых трубах и каналах // Сборник научных работ молодых ученых факультета гидротехнического и специального строительства. Вып. 1. М.: МГСУ, 2000. С. 7–10. EDN: SAQAUP.

13. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Расчет коэффициентов шероховатости русел каналов с неоднородными участками // Природообустройство. 2020. № 3. С. 6–14. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-6-14. EDN: UGUURG.

14. Рылова И. А., Боровков В. С. Эквивалентная шероховатость напорных и безнапорных водоводов // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 181–187. EDN: PZIERZ.

15. Ахмедова Н. Р., Наумов В. А. Влияние изменения коэффициента шероховатости русла на максимальные расчетные уровни малого водотока в заданном створе (на примере р. Нельма) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета [Электронный ресурс]. 2021. № 4(49). URL: <https:journals.dvfu.ru/vis/article/view/74> (дата обращения: 15.12.2023). DOI: 10.24866/2227-6858/2021-4/74-8.

16. Гладков Г. Л. Исследование зернистой шероховатости дна речных русел // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. Т. 12, № 2. С. 336–346. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-336-346. EDN: JFWJDH.

17. Кочкарева А. С., Ахмедова Н. Р. Определение коэффициентов шероховатости при выполнении гидрологических исследований // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7, № 1. С. 17–22. EDN: WLDHEX.

18. Ткачев А. А., Гурин К. Г. Гидравлические расчеты лотка быстроготока Новотроицкого водохранилища // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 145-летию образования «Донлесхоза». Новочеркасск, 2021. С. 104–109.

19. Huang P. C., Lee K. T. Channel hydrological response function considering inflow conditions and hydraulic characteristics // Journal of Hydrology. 2020. Vol. 591. Article number: 125546. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125546.

20. Study of new designs of spillway channels with artificial roughness / E. Rustem, K. Yestaev, M. Abdimomynova, A. Abduvalova, A. Tassybayev // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2021. Vol. 9, № 4. P. 117–133. DOI: 10.21533/pen.v9i4.2303.

References

1. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2021. *Osobennosti gidravlicheskih i fil'tratsionnykh raschetov osushitel'no-orositel'noy sistemy* [Features of hydraulic and filtration calculations of the drainage and irrigation system]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 90-98, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98, EDN: CULLVY. (In Russian).

2. Romanova A.S., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., 2023. *Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya sooruzheniy vodokhozyaystvennogo kompleksa* [Monitoring of the technical condition of mechanical equipment of water management complex structures]. *Ekosistemy* [Ecosystems], no. 34, pp. 133-139, EDN: VXNFDX. (In Russian).

3. Chernykh O.N., Khanov N.V., 2019. *Vodnye ob"ekty v APK i ikh ekspluatatsiya* [Water bodies in rural areas and their use]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 11, pp. 6-10, DOI: 10.25630/PAV.2019.58.75.001, EDN: EHWXEG. (In Russian).

4. Baklanova D.V., 2022. [Analyzing the problems of functioning of the Sarpinskaya watering and irrigation system in the Republic of Kalmykia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 209-222, available: <https:rosniipm-sm.ru/article?n=1287> [accessed 15.12.2023], <https:doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-209-222>, EDN: EPAHCL. (In Russian).

5. Rubin O.D., Khanov N.V., Lisichkin S.E., Antonov A.S., 2022. *Mnogofaktornye issledovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy so srokom ekspluatatsii bolee 25 let. Programma mnogofaktornykh issledovaniy GTS. Provedenie naturnykh rabot po kompleksnomu obsledovaniyu i geodezicheskim izmereniyam* [Multifactorial Studies of Hydraulic Structures with a Service Life of More than 25 Years. Program of Multifactorial Research of Hydraulic Structures. Conducting Full-Scale Surveys and Geodetic Measurements]. Moscow, RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 111 p., EDN: KZGIPE. (In Russian).
6. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2020. *Gidravlicheskaya effektivnost' orositel'nykh kanalov pri ekspluatatsii* [Hydraulic efficiency of irrigation channels during operation]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], vol. 15, no. 8, pp. 1147-1162, DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162, EDN: OUXBGA. (In Russian).
7. Snezhko V.L., 2011. *Sovremennye sposoby obrabotki dannykh v issledovaniyakh gidravlicheskikh soprotivleniy turbulentnykh potokov* [Modern methods of data processing in studies of hydraulic resistance of turbulent flows]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region], no. 1, pp. 179-185, EDN: NSZRCT. (In Russian).
8. Bandurin M.A., 2013. [Improving methods to carry out operational monitoring and determining the residual life of water conveyance structures]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(09), pp. 68-79, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=625> [accessed 15.12.2023], EDN: PVWYMF. (In Russian).
9. Khanov N.V., 2003. *Gidravlika vodosbrosov s tangentsial'nymi zavikhrityami: monografiya* [Hydraulics of Spillways with Tangential Swirlers: monograph]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Department of Personnel Policy and Education, Moscow State University of Environmental Management, Department of Hydraulics. Moscow, 224 p., EDN: QNKESN. (In Russian).
10. Tkachev A.A., Gurin K.G., 2022. *Opreделение формы dvizheniya potoka v lotke bystrotoka Novotroitskogo vodokhranilishcha pri minimal'nom raskhode* [Determining the flow pattern in the chute flume of the Novotroitskiy reservoir at minimum flow rate]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 3, pp. 128-142, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-128-142, EDN: SGWOFQ. (In Russian).
11. Bryanskaya Yu.V., Baykov V.N., Volynov M.A., 2011. *Raspredelenie skorostey i gidravlichesкое soprotivlenie pri techenii v trubakh, kanalakh i rechnykh ruslakh* [Velocity distribution and hydraulic resistance during flow in pipes, channels and river beds]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 3, pp. 37-39, EDN: NEIAGX. (In Russian).
12. Bryanskaya Yu.V., 2000. *Vybor ploskosti otscheta pri izmerenii raspredeleniya skorostey v sherokhovatykh trubakh i kanalakh* [Selection of reference plane in measurements of velocity distribution inside rough pipes and channels]. *Sbornik nauchnykh rabot molodykh uchenykh fakul'teta gidrotekhnicheskogo i spetsial'nogo stroitel'stva* [Collection of Research Papers of Young Scientists of the Faculty of Hydraulic and Special-Purpose Engineering]. Vol. 1, Moscow, MGSU, pp. 7-10, EDN: SAQAUP. (In Russian).
13. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2020. *Raschet koeffitsientov sherokhovatosti rusel kanalov s neodnorodnymi uchastkami* [Calculation of roughness coefficients for channels with heterogeneous sections]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 6-14, DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-6-14, EDN: UGUURG. (In Russian).
14. Rylova I.A., Borovkov V.S., 2013. *Ekvivalentnaya sherokhovatost' napornykh i beznapornykh vodovodov* [Equivalent roughness of pressure and pressure-free conduits]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], no. 4, pp. 181-187, EDN: PZIERZ. (In Russian).
15. Akhmedova N.R., Naumov V.A., 2021. *Vliyanie izmeneniya koeffitsienta sherokhovatosti rusla na maksimal'nye raschetnye urovni malogo vodotoka v zadannom stvore (na primere*

r. Nel'ma) [Influence of channel roughness factor change on the maximum design levels of a small watercourse in a given river cross (the Nelma River example)]. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta* [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University], no. 4(49), available: <https://journals.dvfu.ru/vis/article/view/74> [accessed 15.12.2023], DOI: 10.24866/2227-6858/2021-4/74-8. (In Russian).

16. Gladkov G.L., 2020. *Issledovanie zernistoy sherokhovatosti dna rechnykh rusel* [Studying the granular roughness of river channel bottom]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* [Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping Russian Federation], vol. 12, no. 2, pp. 336-346, DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-336-346, EDN: JFWJDH. (In Russian).

17. Kochkareva A.S., Akhmedova N.R., 2021. *Opredelenie koeffitsientov sherokhovatosti pri vypolnenii gidrologicheskikh issledovaniy* [Determination of roughness coefficients when performing hydrological studies]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii* [Bulletin of Science and Education of North-West Russia], vol. 7, no. 1, pp. 17-22, EDN: WLDHEX. (In Russian).

18. Tkachev A.A., Gurin K.G., 2021. *Gidravlicheskie raschety lotka bystrotoka Novotroitskogo vodokhranilishcha* [Hydraulic calculations of the high-flow flume of the Novotroitsk reservoir]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 145-letiyu obrazovaniya "Donleskhoza"* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of the All-Russian Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 145th Anniversary of the Formation of Donleskhoz]. Novochoerkassk, pp. 104-109. (In Russian).

19. Huang P.C., Lee K.T., 2020. Channel hydrological response function considering inflow conditions and hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, vol. 591, article number: 125546, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125546.

20. Rustem E., Yestaev K., Abdimomynova M., Abduvalova A., Tassybayev A., 2021. Study of new designs of spillway channels with artificial roughness. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 117-133, DOI: 10.21533/pen.v9i4.2303.

Информация об авторах

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID ID: 0000-0003-0142-4270;

В. Ф. Талалаева – младший научный сотрудник, аспирант, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID ID: 0000-0002-2541-204X;

Д. В. Бакланова – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, d.baklanova@bk.ru, AuthorID: 618663, ORCID ID: 0000-0002-6149-5073.

Information about the authors

O. A. Baev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID ID: 0000-0003-0142-4270;

V. F. Talalaeva – Junior Researcher, Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID ID: 0000-0002-2541-204X;

D. V. Baklanova – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, d.baklanova@bk.ru, AuthorID: 618663, ORCID ID: 0000-0002-6149-5073.

Вклад авторов: О. А. Баев – участие в формировании цели и задач исследования, участие в написании статьи; В. Ф. Талалаева – сбор и анализ данных, подготовка выводов, подготовка статьи; Д. В. Бакланова – подготовка иллюстративного материала, выполнение расчетов, участие в написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: O. A. Baev – participation in the formation of purposes and objectives of the study, participation in writing the article; V. F. Talalaeva – data collection and analysis, preparation of conclusions, preparation of the article; D. V. Baklanova – preparation of illustrative material, performing calculations, participation in writing the 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 19.12.2023; одобрена после рецензирования 25.01.2024; принята к публикации 30.01.2024.

The article was submitted 19.12.2023; approved after reviewing 25.01.2024; accepted for publication 30.01.2024.