

Оригинальная статья

УДК 626.8:631.459.2

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-85-90>

СРАВНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННОГО ПОЛОТНА BENOTEX SK И ГЕОМАТА ЭНКАМАТ A20, ЗАПОЛНЕННОГО ЩЕБНЕМ С БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫМ ВЯЖУЩИМ

Х. Алабар^{1✉}, Н.В. Ханов², Т.Ю. Жукова³, А.В. Еремеев⁴, Д.А. Алексеев⁵

^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; г. Москва, Российская Федерация

¹ hananalabar180@gmail.com

² khanov@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-5764-4734

³ t.zhukova@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-9654-3039

⁴ a.eremeev@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-5826-0935

⁵ daniil.alekseev@rgau-msha.ru; ORCID:0009-0009-1890-3471

Аннотация. Цель исследований – определение коэффициента шероховатости покрытия, выполненного из бетонного полотна BeNotex SK, и сравнение полученного коэффициента с коэффициентом шероховатости геомата Энкамат A20, заполненного щебнем и битум-полимером. Водная эрозия представляет серьезную угрозу для гидротехнических сооружений, постепенно разрушая их. В связи с этим в наши дни разработка и применение эффективных защитных покрытий для откосов этих сооружений приобретают особую актуальность. В рамках исследований были получены и обработаны результаты, позволившие определить среднее значение коэффициента шероховатости для двух исследуемых покрытий. Результаты показали, что оба покрытия, как BeNotex SK, так и Энкамат A20, обладают хорошими характеристиками шероховатости. Это открывает широкие возможности для их применения в реальных условиях. В результате сравнения коэффициентов шероховатости представленных покрытий с другими популярными, применяемыми в гидротехническом строительстве, можно сделать вывод о возможности их применения на реальном объекте вместо покрытий с аналогичными коэффициентами шероховатости.

Исследование выполнено в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025 г.).

Ключевые слова: водная эрозия, покрытие, полотно бетонное BeNotex SK, геомат, битум, коэффициент шероховатости

Формат цитирования: Алабар Х., Ханов Н.В., Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Алексеев Д.А. Сравнение гидравлических характеристик бетонного полотна Benotex SK и геомата Энкамат A20, заполненного щебнем с битумно-полимерным вяжущим. Природообустройство. 2026;Т.19(3):85-90. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-85-90>

Scientific article

COMPARISON OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF BENOTEX SK CONCRETE SHEET AND ENKAMAT A20 GEOMAT FILLED WITH CRUSHED STONE WITH BITUMEN-POLYMER BINDER

H. Alabar^{1✉}, N.V. Khanov², T.Yu. Zhukova³, A.V. Ereemeev⁴, A.D. Alekseev⁵

^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakova; Moscow, Russian Federation

¹ hananalabar180@gmail.com

² khanov@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-5764-4734

³ t.zhukova@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-9654-3039

⁴ a.eremeev@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-5826-0935

⁵ daniil.alekseev@rgau-msha.ru; ORCID:0009-0009-1890-3471

Abstract. The purpose of the research was to determine the roughness coefficient of a coating made of BeNotex SK concrete and compare the obtained coefficient with the roughness coefficient of the Encamate A20 geomat filled with crushed stone and bitumen polymer. Water erosion poses a serious threat to hydraulic

structures, gradually destroying them. In this regard, nowadays the development and application of effective protective coatings for the slopes of these structures are becoming particularly relevant. As part of the research, the results were obtained and processed, which made it possible to determine the average value of the roughness coefficient for the two coatings studied. The results showed that both BeNotex SK and Encamate A20 coatings have good roughness characteristics. This opens up great opportunities for their application in real conditions. As a result of comparing the roughness coefficients of the presented coatings with other popular ones used in hydraulic engineering, it can be concluded that they can be used on a real object instead of coatings with similar roughness coefficients.

The study was carried out as part of the project to create and develop the Engineering Center at the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (agreement No. 075-15-2025-543 dated June 16, 2025).

Keywords: water erosion, coating, BeNotex SK concrete sheet, geomat, bitumen, roughness coefficient

For citation: Alabar Kh., Khanov N.V., Zhukova T.Yu., Ereemeev A.V., Alekseev D.A. Comparison of hydraulic characteristics of Benotex SK concrete web and Encamate A20 geomat filled with crushed stone with Bitumen polymer Binder. *Prirodoobustroystvo*. 2026;19(3):85-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-85-90>

Введение. Эрозия представляет собой серьезную проблему, которая негативно сказывается на всем, что связано с водой. Она вредит не только самим гидротехническим сооружениям (таким, как дамбы или плотины), но и прилегающим территориям, а также самому водному объекту. Чаще всего эрозии подвержены склоны сооружений с подмыванием берегов (рис. 1). Это может привести к разрушительным последствиям: потоки воды способны повредить дороги и постройки, расположенные вблизи от берега [1]. В предотвращении разрушений ключевую роль играет правильный выбор защитных материалов

и надежных способов крепления для береговых склонов, насыпей, плотин и дамб.

Прежде всего нужно уделять пристальное внимание тем участкам сооружения, которые теряют свою устойчивость. Именно они могут снизить общую надежность и безопасность всей конструкции, а выбор способа крепления берега будет определяться характером воздействия водного потока, скоростью течения и типом грунта [2].

Инженерные решения открывают широкие возможности для защиты берегов рек и озер от разрушения водным потоком. Одним из ключевых направлений является укрепление откосов. Для этого используются современные защитные материалы и покрытия, которые эффективно противостоят воздействию водного потока. Рассматриваемое бетонное полотно марки BeNotex SK – это композитный материал, который при взаимодействии с водой образует прочный бетонный слой, выполненный в виде рулона [2]. Данный материал можно использовать в гидротехническом и дорожном строительстве (рис. 2).



Рис. 1 а, б. Разрушительное воздействие потока воды на береговые склоны [2]

Fig.1. a, b: Destructive effect of water flow on coastal slopes [2]

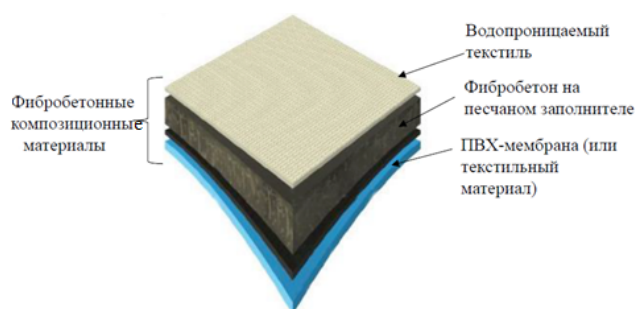


Рис. 2. Полотно бетонное марки BeNotex SK [2]

Fig. 2. BeNotex SK concrete sheet [2]

Композитный материал состоит из верхнего слоя тканого геотекстиля, армирующей 3D-сетки, заполненной сухой бетонной смесью, и нижнего слоя из высокопрочного полипропиленового геотекстиля, пропитанного водонепроницаемой смолой (рис. 3).

При проектировании берегоукреплений для водных объектов ключевым моментом является выбор оптимального конструктивного решения. Для успешного решения этой задачи требуется полное понимание всех расчетных параметров используемых материалов, а также четкое определение функций, которые должна выполнять противоэрозионная защита. Одним из материалов в современной гидротехнике является геомат, представляющий легкую объемную структуру, созданную из полимерных нитей – полиэтилена или полипропилена. Эти нити переплетены между собой совершенно случайным образом, образуя трехмерное волокнистое полотно. Важно отметить, что тип геомата подбирается индивидуально исходя из его предполагаемого использования [3-6]. В данной работе для сравнения рассматривается геомат марки Энкамат А20, заполненный щебнем и битум-полимером (рис. 4).

Энкамат А20 – это композитный геоматериал, разработанный для обеспечения прочности и проницаемости. Толщина данного материала составляет около 22 мм, он состоит из щебня

и подложки в виде геомата, связанного битумно-полимерным вяжущим [6]. Коэффициент шероховатости данного геомата был ранее исследован на той же гидравлической установке и составляет 0,0162. Для дальнейшего сравнения коэффициентов облицовок будет использоваться данный коэффициент, рассчитанный по формуле Маннинга.

Исследования были посвящены гидравлическим процессам бетонного полотна марки BeNotex SK, а также сравнению коэффициентов шероховатости защитных облицовок, используемых для защиты русла водотока.

Представленные покрытия крепятся при помощи анкеров Г-образной либо П-образной форм из арматуры диаметром 6...8 мм. Анкеры устанавливают по краям и на стыке для фиксации края покрытия при монтаже.

Цель исследований: определение коэффициента шероховатости покрытия, выполненного из бетонного полотна BeNotex SK, и сравнение полученного коэффициента с коэффициентом шероховатости геомата Энкамат А20, заполненного щебнем и битум-полимером.

Материалы и методы исследований. Исследование защитных покрытий проводилось на экспериментальной площадке кафедры гидротехнических сооружений. Был использован трапецевидный гидравлический лоток с одной вертикальной и одной наклонной (1:1) сторонами (рис. 5). Установка позволяла регулировать уклон дна и расход воды. Эксперименты проводились при равномерном режиме течения с расходами Q от 84,33 до 168,78 л/с и уклонами дна i от 0,01 до 0,05. Участок лотка, где проводилось исследование, имел длину 6 м.

Гидравлические исследования покрытий выполнялись в мерных створах лабораторной



Рис. 3 а, б. Использование покрытия «Полотно бетонное марки BeNotex SK» для укрепления каналов, дорожных кюветов [2]

Fig. 3. Use of BeNotex SK concrete sheet coating: a – b – for strengthening canals, road ditches [2]

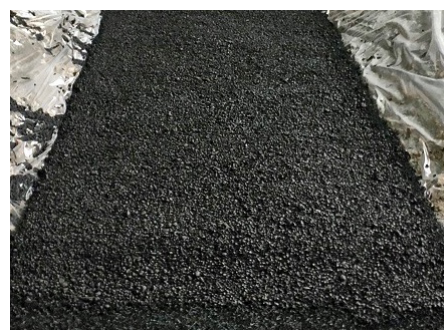


Рис. 4. Противоэрозионный материал – геомат марки Энкамат А20, заполненный щебнем и битум-полимером (фото авторов)

Fig. 4. Anti-erosion material geomat of the Enkamat A20 brand, filled with crushed stone and bitumen polymer (photo by the authors)

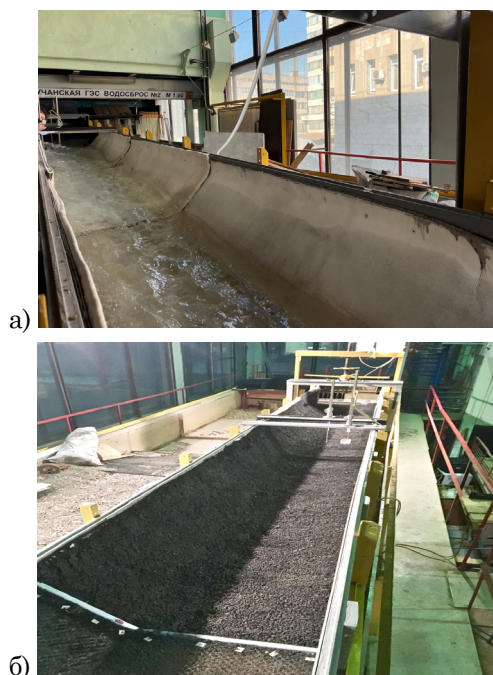


Рис. 5. Экспериментальный участок канала:
а – бетонное полотно марки BeNotex SK;
б – геомат марки Энкамат А20, заполненный
щебнем и битум-полимером (фото авторов)

Fig. 5. Experimental section of the canal:

а – concrete sheet BeNotex SK;
б – Enkamat A20 geomat filled with crushed stone
and bitumen polymer (photo by the authors)

установки. Своры разбивались на вертикальные и горизонтальные линии, в местах пересечения которых производились замеры скоростей потока при помощи трубки Пито. Методика выполнения расчета представлена на блок-схеме гидравлического расчета каналов (рис. 6).

Результаты и их обсуждение. Расчет коэффициента шероховатости выполнялся по формулам Павловского ($n_{\text{п}}$), Маннинга ($n_{\text{м}}$) и Гангиле-Куттера ($n_{\text{г-к}}$) [6-12]. Результаты расчета коэффициента по трем основным зависимостям n для бетонного полотна марки BeNotex SK представлены в таблице. Коэффициенты шероховатости бетонного полотна марки BeNotex SK позволят более корректно выбрать тип покрытия для проектируемого канала или сооружения.

В ходе исследований были получены значения коэффициентов шероховатости « n ». Для анализа полученных результатов сравнение данных коэффициентов выполнялось также и с другими аналогичными облицовками. Сравнение полученных значений представлено на графике (рис. 7).

Проведенные исследования и сравнение бетонного полотна марки BeNotex SK показали возможность применения его в практике мелиоративного строительства. При сравнении

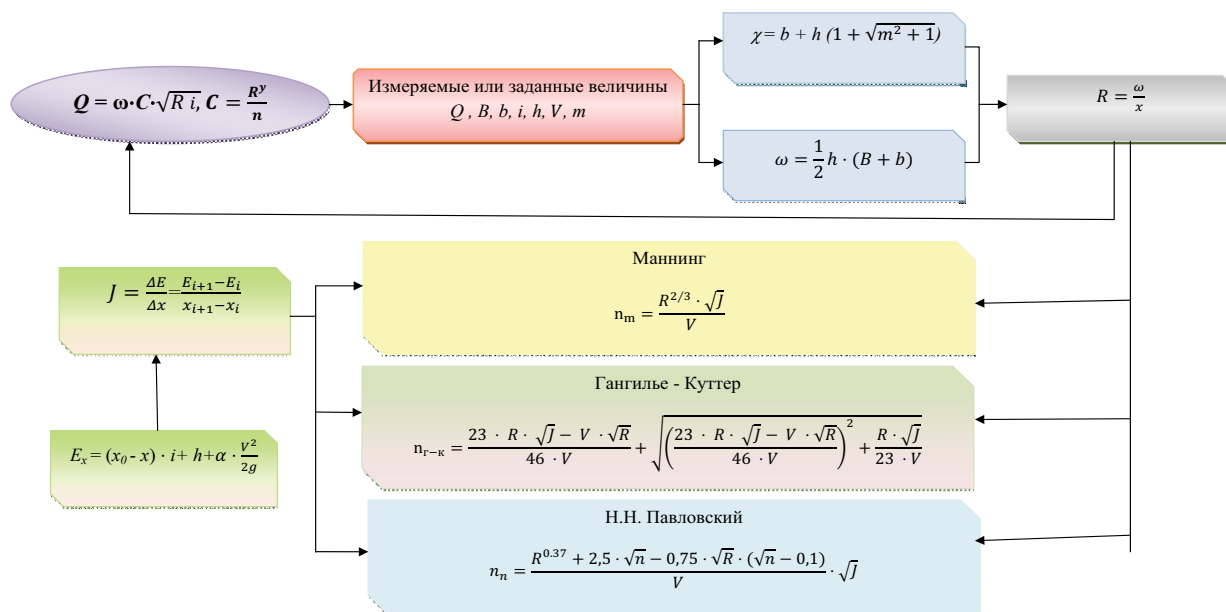


Рис. 6. Блок-схема гидравлического расчета каналов и участков русел водотоков

Fig. 6. Block diagram of hydraulic calculation of canals and sections of watercourse canals

Таблица 1. Коэффициенты шероховатости n для бетонного полотна марки BeNotex SK

Table 1. Roughness coefficients n for BeNotex SK concrete sheet

Покрывтие / Coating	Параметр / Parameter	$n_{\text{ср}}$	n_{min}	n_{max}
Бетонное полотно марки BeNotex SK / BeNotex SK concrete sheet	$n_{\text{п}}$	0,0160	0,0156	0,0165
	$n_{\text{м}}$	0,0163	0,0160	0,0169
	$n_{\text{г-к}}$	0,0157	0,0153	0,0162

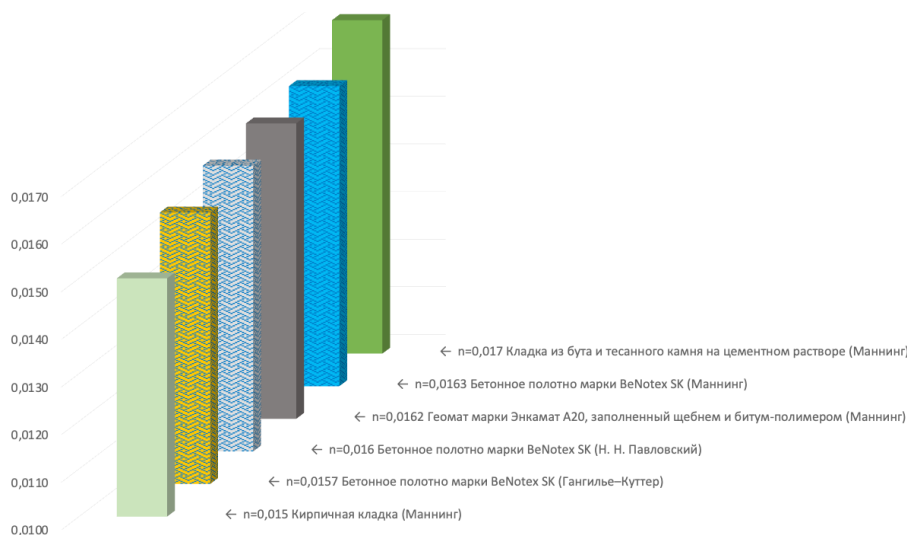


Рис. 7. Сравнение средних значений коэффициентов шероховатости рассматриваемых покрытий
Fig. 7. Comparison of the average values of the roughness coefficients of the coatings under consideration

с покрытиями, исследуемыми на той же гидравлической установке, выяснилось, что наиболее близким значение коэффициента шероховатости было у покрытия, выполненного из геомата, заполненного щебнем и битумно-полимерным вяжущим. Также близки к данному покрытию коэффициенты шероховатости таких облицовок, как кирпичная кладка и кладка из бута и тесанного камня на цементном растворе.

Выводы

Исследование коэффициента шероховатости бетонного полотна марки BeNotex SK

показывает возможность применения данного полотна в практике строительства. В результате сравнения полученного коэффициента шероховатости с другими популярными покрытиями, применяемыми в гидротехническом строительстве, можно сделать вывод о возможности применения данного покрытия вместо покрытий с аналогичными коэффициентами шероховатости. При расчетах с применением бетонного полотна марки BeNotex SK рекомендуется использовать значение коэффициента шероховатости $n = 0,0163$.

Список использованных источников

1. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Еремеев А.В., Козлов К.Д., Фартуков В.А. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией: Монография. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. 253 с. EDN: VPDGTH
2. Ханов Н.В., Черных О.Н., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А., Алабар Х. Результаты исследований гидравлических свойств противозерозионного бетонного полотна марки BeNotex SK // Природообустройство. 2025. № 3. С. 63-68. EDN: WHUUVN
3. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Гидравлические исследования покрытия из геокомпозитного материала // Природообустройство. 2014. № 5. С. 80-86
4. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Козлов Д.В., Ханов Н.В. Модельные гидравлические исследования для определения коэффициента шероховатости материала Энкамат А20 // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 6-12. EDN: VUCGMX
5. Гурьев А.П., Козлов Д.В., Ханов Н.В., Фартуков В.А., Новиченко А.И., Шукин С.Н. Гидравлические исследования противозерозионного покрытия – геомата марки Энкамат А20 // Международная научная конференция «Научное кадровое обеспечение продовольственной безопасности России»: Доклады ТСХА. Изд-во Грин Эра 2, 2015. С. 358-363. EDN: WHUUVN
6. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. 462 с.

References

1. Guryev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A. The use of composite geomats to combat water erosion. Monograph. Moscow: RGAU MCXA, 2020. 253 p. EDN: VPDGTH
2. Khanov N.V., Chernykh O.N., Zhukova T.Yu., Alekseev D.A., Alabar H. The results of research on the hydraulic properties of anti-erosion concrete sheet of the BeNotex SK brand // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 3. P. 63-68. EDN: WHUUVN
3. Kozlov K.D. Hydraulic studies of the coating made of geo-composite material / K.D. Kozlov, A.P. Guryev, N.V. Khanov // Prirodoobustrojstvo. 2014. No. 5. P. 80-86.
4. Kozlov K.D., Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V. Model hydraulic studies to determine the roughness coefficient of the Enkamat A20 material / // Scientific life. 2016. No. 1. P. 6-12. EDN: VUCGMX
5. Guryev A.P. Hydraulic studies of the anti-erosion coating – geomat brand Enkamat A 20 / A.P. Guryev, D.V. Kozlov, N.V. Khanov, V.A. Fartukov, A.I. Novichenko, S.N. Shchukin // International scientific conference "Scientific personnel support for food security in Russia". Reports of the Timiryazev Agricultural Academy. Publisher: Green Era 2, 2015. P. 358-363.
6. Chow V.T. Hydraulics of open channels / V.T. Chow. Moscow: Literat. on building publishing house, 1969. – 462 p.
7. Khatsuria R.M. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators / R.M. Khatsuria -New York.: Marcel Dekker, 2005. 649 p.

7. Khatsuria R.M. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.
8. Козырь И.Е., Пикалова И.Ф., Ханов Н.В. Практикум по гидравлике: Учебно-методическое пособие. СПб.: Лань, 2016. 176 с. EDN: WHYTAR
9. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика: Учебник. М.: Энергия, 1964. 352 с.
10. Schippers W. and K. Pon. Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouwwuniversiteit, Wageningen, 1983
11. Hewlett H.W.M., Boorman L.A. and Bramley M.E. Design of reinforced grass waterways, Report 116. CIRIA, London, 1987.
12. Зуйков А.Л., Волгина Л.В. Гидравлика: Учебник для вузов: В 2 т. Т. 2. Напорный и открытые потоки. Гидравлика сооружений. М.: Изд-во МГСУ, 2015. 424 с.

Информация об авторах

Алабар Ханан, аспирант кафедры гидротехнических сооружений; hananalabar180@gmail.com

Нартмир Владимирович Ханов, д-р техн. наук, профессор; заведующий кафедрой гидротехнических сооружений; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Татьяна Юрьевна Жукова, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений; WoS ResearcherID: RIDAAE-5204-2022; Scopus AuthorID: 57433774600; ORCID: 0000-0002-9654-3039; SPIN-код: 5357-4597; AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru

Андрей Викторович Еремеев, канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений; WoS ResearcherID: AAE-5829-2022; Scopus AuthorID: 58103661400; ORCID: 0000-0002-5826-0935; SPIN-код: 6290-9480; AuthorID: 999552; a.eremeev@rgau-msha.ru

Даниил Андреевич Алексеев, преподаватель кафедры гидротехнических сооружений; ORCID: 0009-0009-1890-3471; SPIN-код: 8085-3065; daniil.alekseev@rgau-msha.ru

Вклад авторов

Алабар Ханан – сбор информации, проведение исследований
Н.В. Ханов – разработка программы исследований
Т.Ю. Жукова – анализ и обработка результатов исследований
А.В. Еремеев – выполнение теоретических исследований, на основании которых провели обобщение
Д.А. Алексеев – проведение исследований

Конфликт интересов / Criteria of authorship

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Поступила в редакцию / Received 26.01.2026

Поступила после рецензирования / Received 14.04.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 17.04.2026

8. Kozyr I.E., Pikalova I.F., Khanov N.V. Practical training in hydraulics. Study-method manual. – St. Petersburg, “Lan”, 2016. 176 p. EDN: WHYTAR

9. Agroskin I.I., Dmitriev G.T., Pikalov F.I. Hydraulics. – M.: Energiya, 1964. – 352 p.

10. Schippers W. and K. Pon, Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouwwuniversiteit, Wageningen, 1983.

11. Hewlett H.W. M., Boorman L.A. and M.E. Bramley, Design of reinforced grass waterways, Report 116, CIRIA, London, 1987.

12. Zuikov A.L., Volgina L.V. Hydraulics: a textbook for universities: in 2 volumes. Volume 2: Pressure and open flows. Hydraulics of structures. M.: Publishing house of MGSU, 2015. 424 p.

Information about the authors

Alabar Hanan, post graduate student; hananalabar180@gmail.com

Nartmir V.I. Khanov, DSs (Tech), professor; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-code: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Tatyana Yu. Zhukova, senior lecturer, WoS ResearcherID: RIDAAE-5204-2022; Scopus AuthorID: 57433774600; ORCID: 0000-0002-9654-3039; SPIN-code 5357-4597; AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru

Andrey V. Eremeev, CSs (Tech), associate professor; WoS ResearcherID: AAE-5829-2022; Scopus AuthorID: 58103661400; ORCID: 0000-0002-5826-0935; SPIN-code: 6290-9480; AuthorID: 999552; a.eremeev@rgau-msha.ru

Daniil A. Alekseev, teacher; ORCID: 0009-0009-1890-3471; SPIN-code: 8085-3065; daniil.alekseev@rgau-msha.ru

Contribution of the authors

Alabar Hanan – collecting information, conducting research
Khanov N.V. – development of a research program
Zhukova T.Yu. – analysis and processing of research results
Eremeev A.V. – theoretical research, on the basis of which the generalization was carried out
Alekseev D.A. – conducting research