

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.82:626.823.913

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-260-274

**Экспериментальные исследования коэффициента шероховатости
покрытия из композиционного геомата, заполненного щебнем**

**Татьяна Юрьевна Жукова¹, Нартмир Владимирович Ханов²,
Ольга Николаевна Черных³, Сергей Николаевич Редников⁴**

^{1, 2, 3, 4}Российский государственный аграрный университет – Московская
сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

¹t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

²khanov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5764-4734>

³chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>

⁴rednikov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3435-7166>

Аннотация. Цель: определение коэффициента шероховатости защитного покрытия русла водотока, состоящего из геомата Энкамат марки 7225 с заполнителем из щебня с размером частиц от 6 до 10 мм. **Материалы и методы.** Гидротехнические сооружения подвержены воздействию водной эрозии, поэтому создание защитных покрытий для их откосов в настоящее время является актуальным. Для предотвращения негативных воздействий водной эрозии на грунтовые откосы выполняется ряд мероприятий, в т. ч. укрепление верхнего слоя откоса противоэрозионными одеждами. В настоящее время существует большое количество противоэрозионных материалов, с развитием технологий появились современные геосинтетические материалы. В статье рассмотрены особенности модельной установки для определения гидравлических характеристик противоэрозионного покрытия и описана методика их определения. Рассматривается вопрос целесообразности применения геомата Энкамат марки 7225 с заполнителем из щебня в качестве противоэрозионного средства для укрепления откосов гидротехнических сооружений. **Результаты.** Проанализированы расчетные формулы, на основе которых опытным путем были получены значения коэффициентов шероховатости. Представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение коэффициента шероховатости защитного покрытия при разных расходах и уклонах дна лотка. Выполнен анализ полученных результатов, и выведено среднее значение коэффициента шероховатости. **Выводы.** Проведенные лабораторные исследования, посвященные оценке коэффициента шероховатости для противоэрозионного защитного покрытия из геомата, заполненного щебнем, показали возможности применения инновационного крепления на практике. Даны рекомендации по использованию защитного противоэрозионного покрытия.

Ключевые слова: противоэрозионное покрытие, берегоукрепление, геомат, щебень, водная эрозия, канал

Финансирование: работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928.

Для цитирования: Экспериментальные исследования коэффициента шероховатости покрытия из композиционного геомата, заполненного щебнем / Т. Ю. Жукова, Н. В. Ханов, О. Н. Черных, С. Н. Редников // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 260–274. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-260-274>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Experimental studies of the roughness coefficient
of a composite geomat coating filled with crushed stone**

**Tatyana Yu. Zhukova¹, Nartmir V. Khanov², Olga N. Chernykh³,
Sergey N. Rednikov⁴**

^{1, 2, 3, 4}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

¹t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

²khanov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5764-4734>

³chernih@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2905-446X>

⁴rednikov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3435-7166>

Abstract. Purpose: to determine the roughness coefficient of the protective coating of a watercourse bed, consisting of geomat – Enkamat grade 7225 with crushed stone filler with a particle size of 6 to 10 mm. **Materials and methods.** Hydraulic structures are susceptible to water erosion, so the formation of protective coatings for their slopes is currently relevant. To prevent the negative effects of water erosion on soil slopes, a number of measures are carried out, including reinforcement of the upper layer of the slope with anti-erosion clothing. Currently, there is a large number of erosion-protective cloths but with the development of technology modern geosynthetic materials have appeared. The features of a model installation for determining the hydraulic characteristics of an anti-erosion coating are discussed and the methodology for their determination is described. The feasibility of using geomat – Enkamat grade 7225 with crushed stone filler as an anti-erosion agent for reinforcement of the hydraulic structure slopes are discussed in the article. **Results.** The calculation formulas on the basis of which the values of the roughness coefficients were experimentally obtained were analyzed. The results of experimental studies aimed at determining the roughness coefficient of the protective coating at different flow rates and flume bottom slopes are presented. An analysis of the obtained results was performed and the average value of the roughness coefficient was derived. **Conclusions.** Laboratory studies conducted to assess the roughness coefficient for an erosion protective coating made of geomat filled with crushed stone showed the possibility of using innovative reinforcement in practice. Recommendations for the use of protective anti-erosion coating are given.

Keywords: anti-erosion coating, bank reinforcement, geomat, crushed stone, water erosion, canal

Funding: the work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928.

For citation: Zhukova T. Yu., Khanov N. V., Chernykh O. N., Rednikov S. N. Experimental studies of the roughness coefficient of a composite geomat coating filled with crushed stone. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):260–274. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-260-274>.

Введение. Укрепление откосного участка особенно актуально при сооружении и реновации водоотводных каналов, русел рек, водоемов, водосбросов, плотин, дамб, возведении опор. Мероприятия по берегоукреп-

лению включают в себя комплекс работ, который направлен на защиту прибрежной линии природных и искусственных водных объектов от подмыва, обвала и эрозии берегового склона под воздействием течения воды и волн, а также размыва ливневыми потоками. Неконтролируемый поток воды может оказывать разрушительное воздействие на берега и русла каналов, что способствует их оползанию, размывам, эрозии и другим негативным последствиям. Поток воды может серьезно повредить проходящие рядом дороги или строения, расположенные вдоль берега.

Предотвратить негативный результат воздействия воды на целостность русел водных объектов можно, используя инженерные решения с применением высокотехнологичных геосинтетических материалов [1–3]. Среди таких материалов наибольшее распространение в современной природоохранной гидротехнике получил геомат Энкамат (Enkamat) разной типологии, который представляет собой легкое, объемное, трехмерное волокно из полимерных (полиэтилен, полипропилен) или синтетических материалов. Это сетки, изготовленные термическим методом соединения и переплетенные между собой в хаотичном или определенном порядке. Они гибкие, водо- и воздухонепроницаемые. Такое покрытие из Энкамата марки 7225, представляющее стабильную объемно-волокнистую структуру с подложкой из полиамидных мононитей, при определенных условиях эффективно укрепляя откосы каналов, малых рек и водоемов, заменяет тяжелые каменные конструкции и неэкологичные покрытия из бетона и асфальта (рисунок 1) [4, 5].

Благодаря тому, что геомат изготавливается из полимерного материала, срок службы его достаточен для выполнения долговременной защитной функции [7–9]. Для создания наиболее прочной конструкции, подвергающейся при эксплуатации статическому и динамическому воздействию воздушных и водных масс, следует выполнить апробацию и дать инженерно-техническое обоснование условий применения геомата Энкамат марки 7225, не выявленных ранее. При этом необходимо провести гидрав-

лические исследования с учетом состава не только самого противоэрозийного покрытия из материала Энкамат 7225, но главным образом его твердого мелкозернистого заполнителя, в данном лабораторном исследовании – при конструктивном исполнении его из щебня.



a)



b)



c)



d)

- a, b* – при ренатурировании рек в сочетании с каменной наброской и биологическим типом укрепления (посевом трав);
c, d – для укрепления каналов, дорожных кюветов и сбросных лотков
a, b – in renaturing rivers in combination with rock placement and a biological type of strengthening (sowing grass);
c, d – for strengthening channels, road ditches and waste chutes

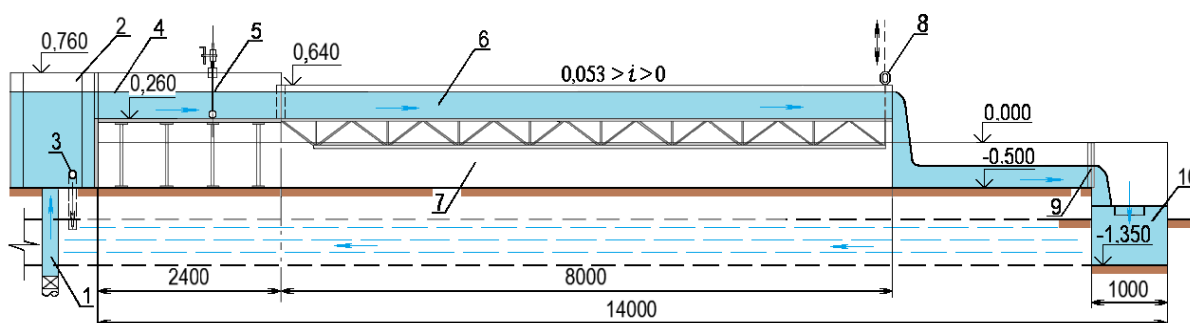
Рисунок 1 – Укрепление откосов водных объектов геоматом (автор фото С. Н. Щукин) [6]

Figure 1 – Reinforcement of the water bodies' slopes with geomat (photo by S. N. Shchukin) [6]

Поэтому целью исследования было определение коэффициента шероховатости защитного покрытия русла водотока, состоящего из геомата Энкамат марки 7225 с заполнителем из щебня с размером частиц от 6 до 10 мм.

Материалы и методы. Исследование было направлено на определение коэффициента шероховатости для покрытия, состоящего из Энка-

мата 7225, заполненного щебнем с размером зерен от 6 до 10 мм. Экспериментальная установка была выполнена в виде лотка трапецеидального поперечного сечения с вертикальным правым ($m = 0$), наклонным левым ($m = 1$) откосами и переменным уклоном дна $i = 0,001...0,017$, общей длиной участка с покрытием 8 м (рисунок 2).



1 – питающий трубопровод; 2 – приемный бак; 3 – сливной трубопровод;
4 – подводящий лоток; 5 – затвор (регулятор расхода); 6 – модельный рабочий лоток; 7 – общий водосбросной лоток; 8 – подъемная система рабочего лотка;
9 – жалюзийный затвор; 10 – отводящий лоток

1 – feeding line; 2 – receiving tank; 3 – drain pipeline; 4 – inlet flume;
5 – gate (flow regulator); 6 – model working flume; 7 – common spillway flume;
8 – lifting system of the working flume; 9 – louvered gate; 10 – outlet flume

**Рисунок 2 – Конструктивный разрез
экспериментальной установки [7, 9]**

Figure 2 – Structural section of the experimental facility [7, 9]

В лотке экспериментальной установки имитировалось движение воды в канале постоянной ширины, параметры потока в нем соответствовали натурным. К вертикальному борту были прикреплены листы из гладкой пластмассы для возможного уменьшения сил трения и исключения влияния неровности обшивки борта на структуру потока. Внутренняя поверхность лотка была обшита непроницаемой баннерной тканью. Для улучшения сцепления с исследуемым ковром геомата дно и левый борт лотка были покрыты армирующей сеткой из проволоки диаметром 1 мм с ячейками 1×1 см, а затем геоматом Энкамат 7225 с заполнителем в виде щебня с фракцией от 6 до 10 мм (рисунок 3). Предварительно для исследования был подобран гранулометрический состав щебня, исходя из условия заполнения пустот геомата Энкамат 7225.

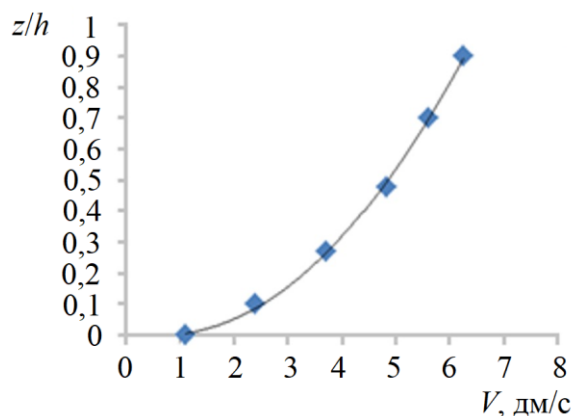


Рисунок 3 – Общий вид фрагмента экспериментальной установки канала, покрытого Энкаматом 7225, заполненным щебнем с размером фракций от 6 до 10 мм (автор фото Т. Ю. Жукова)
Figure 3 – General view of a fragment of the experimental facility of a channel covered with Enkamat 7225, filled with crushed stone with a fraction size of 6 to 10 mm (photo by T. Yu. Zhukova)

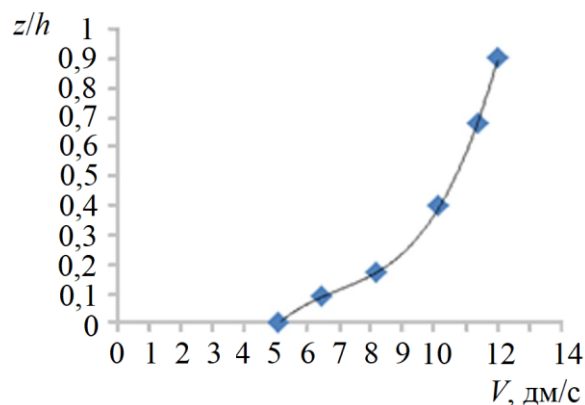
Изучение влияния на коэффициент шероховатости n геомата Энкамат 7225, заполненного щебнем, выполнялось на рабочем участке длиной 4,9 м. Для проведения экспериментов на предварительной стадии исследований были подобраны уклоны и расходы, исходя из анализа условий движения частиц щебня по дну. Лабораторные исследования были проведены при изменении расходов на установке от 43 до 128 л/с.

Результаты исследований. Измерения параметров потока производились в пяти мерных створах, располагавшихся по длине контрольного участка на расстоянии $x = 210, 307, 407, 507$ и 636 см. В каждом из них замеры скоростей выполнялись на 11 вертикалях, равноудаленных друг от друга и от правой стенки лотка, соответственно расположенных на расстояниях $y = 20, 90, 160, 230, 300, 370, 440, 510, 580, 650$ и 710 мм. На каждой вертикали замеры скоростей производились по отработанной методике трубкой Пито диаметром 2 мм в шести точках по высоте [10, 11]. Кинематика потока для определения коэффициента шероховатости n изучалась по всему поперечному сечению лотка. В итоге было выполнено девять серий замеров. По данным измерений на вертикалях строились эпюры скоростей

потока $V = f(z/h)$, где z/h – относительная высота от дна в измеряемом створе (рисунок 4).



a – при уклоне $i = 0,001$, расходе $Q = 43,7$ л/с, $y = 440$ мм, створ 1
a – with slope $i = 0.001$, flow rate $Q = 43.7$ l/s, $y = 440$ mm, section line 1



b – при $i = 0,017$, $Q = 43,7$ л/с, $y = 440$ мм, створ 4
b – at $i = 0.017$, $Q = 43.7$ l/s, $y = 440$ mm, section line 4

**Рисунок 4 – Примеры эпюр скоростей
потока $V = f(z/h)$ на мерных вертикалях**
**Figure 4 – Examples of flow velocity diagrams
 $V = f(z/h)$ on measured verticals**

При оценке распределения средних глубин h_{cp} , энергии сечения e и полной удельной энергии E потока использовались известные формулы [12, 13]:

$$h_{cp} = \frac{\int_0^h h \cdot db}{b},$$

$$e = h + \frac{u^2}{2g},$$

$$E_x = (x_0 - x) \cdot i + h + \alpha \cdot \frac{V^2}{2g},$$

где h – глубина потока, дм;

d – дифференциал, переменная;

b – ширина по дну канала, дм;

u – местная скорость, дм/с;

g – ускорение свободного падения, дм/с²;

x_0 – расстояние от начала оси x до сечения, через которое проходит плоскость сравнения, дм;

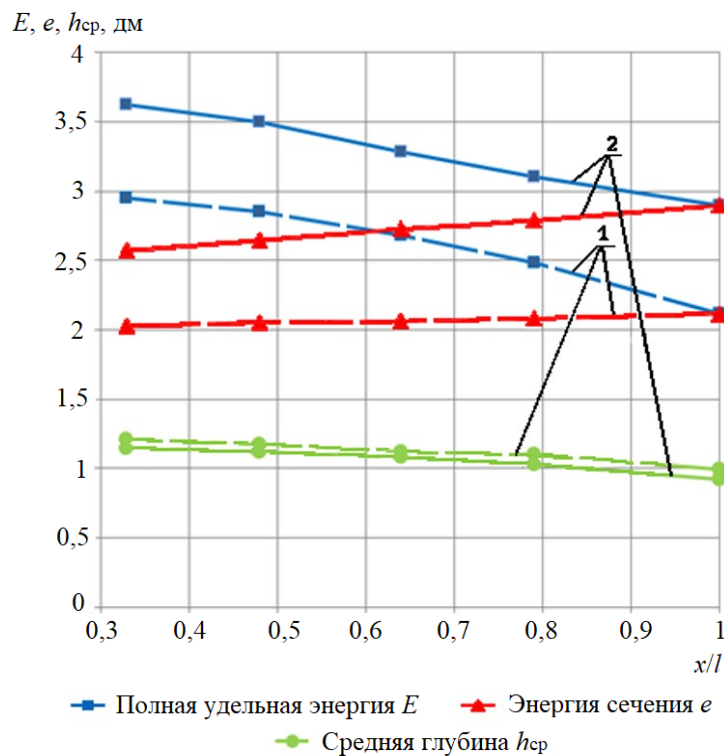
x – расстояние до рассматриваемого сечения, дм;

i – уклон дна канала;

α – коэффициент Кориолиса;

V – средняя скорость, дм/с.

Наиболее характерные примеры распределения средних глубин потока $h_{\text{ср}}$, энергии сечения e и полной удельной энергии E потока по длине лотка при пропуске по нему расхода $Q = 43,7$ л/с для $i = 0,001$ и $i = 0,017$ приведены на рисунке 5.



x – расстояние до рассматриваемого сечения; l – длина;

l – при уклоне $i = 0,001$; 2 – при уклоне $i = 0,017$

x – distance to the section under consideration; l – length;

l – with slope $i = 0.001$; 2 – with slope $i = 0.017$

Рисунок 5 – Зависимости, отражающие распределение средних глубин $h_{\text{ср}}$, энергии сечения e и полной удельной энергии E потока по длине канала при расходе $Q = 43,7$ л/с

Figure 5 – Dependencies reflecting the distribution of average depths h_{av} , cross-sectional energy e and total specified energy E of the flow along the channel length at a flow rate of $Q = 43.7$ l/s

Сравнение изменения полной удельной энергии E потока и энергии в сечении e при $Q = 43,7$ л/с и росте уклона дна водотока i от $i = 0,001$ до $i = 0,017$ показало, что при росте уклона дна водотока полная удельная энергия и энергия сечения увеличиваются.

Для определения коэффициента шероховатости были использованы известные зависимости: Маннинга (1), Гангиле – Куттера (2) и Н. Н. Павловского (3) [14, 15]:

$$n_m = \frac{R^{2/3} \sqrt{J}}{V}, \quad (1)$$

$$n_{г-к} = \frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V} + \sqrt{\left(\frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V} \right)^2 + \frac{R \cdot \sqrt{J}}{23 \cdot V}}, \quad (2)$$

$$n_{п} = \frac{R^{0,37} + 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \cdot \sqrt{J}}{V}, \quad (3)$$

где R – гидравлический радиус, дм;

n – коэффициент шероховатости;

J – гидравлический уклон.

Поскольку в экспериментах по определению коэффициента шероховатости для данного противозерозионного покрытия экспериментальная установка имела правую вертикальную стенку, обшитую глянцевым покрытием, то коэффициент шероховатости для нее был принят равным $n_{пл} = 0,009$ как для поверхностей, покрытых эмалью или глазурью. Поэтому для исследуемого участка канала для учета покрытия с разной шероховатостью определялся средний коэффициент шероховатости по преобразованной формуле [16–18]:

$$n_{п} = \frac{n_{ср} \cdot b + n_{ср} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{ср} - n_{пл} \cdot h_{ср}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_{ср}}. \quad (4)$$

После анализа полученных характеристик был выполнен расчет коэффициента шероховатости при реальных исходных данных исследован-

ного канала. Для определения истинного значения коэффициента шероховатости данные значения пересчитывались по формуле (4). Аналогичные расчеты так же были выполнены для расходов от 43 до 128 л/с. Результаты расчета n представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета коэффициента шероховатости n противозерозионного покрытия

Table 1 – Results of calculating the roughness coefficient n of the anti-erosion coating

Обозначение параметра	$\sum n$	n_{cp}	n_{min}	n_{max}	$n_{\text{min}}/n_{\text{max}}$	$\sqrt{\frac{\sum \left(1 - \frac{n_i}{n_{\text{cp}}}\right)^2}{10}}$	$\left(1 - \frac{n_{\text{Г-К}}}{n}\right)$
$n_{\text{М}}$	2,109	0,0237	0,0222	0,0259	0,857	2,645	7
$n_{\text{Г-К}}$	2,086	0,0226	0,0221	0,0255	0,866	2,519	—
$n_{\text{П}}$	2,102	0,0229	0,0224	0,0257	0,871	2,487	3,5

После сопоставления с известными справочными данными для разных видов покрытий каналов и результатами проведенных ранее исследований покрытий с геоматами различной типологии в результате пересчета всех значений коэффициентов шероховатости были получены реальные значения n защитного покрытия, состоящего из геомата Энкамат 7225, заполненного щебнем с зернами от 6 до 10 мм. На основе вышеприведенного рекомендуется для каналов, работающих в исследованном диапазоне основополагающих параметров (расходы, глубины, уклоны дна лотка и энергетические показатели), для данной конструктивной схемы противозерозионного покрытия при проектировании принимать значение $n = 0,0237$, рассчитанное по формуле Маннинга.

Выводы. Проведенные лабораторные исследования, посвященные оценке коэффициента шероховатости для противозерозионного защитного покрытия, состоящего из геомата Энкамат марки 7225 с заполнителем из щебня с размером фракций от 6 до 10 мм, показали положительные возможности применения такого крепления в мелиоративной практике.

После расчетов коэффициента шероховатости, выполненных по трем

формулам: Маннинга, Гангиле – Куттера и Н. Н. Павловского, был сделан анализ полученных результатов и вычислено среднее значение коэффициента шероховатости n . На основании анализа итогов проведенных экспериментов по изучению коэффициента n для гидравлических расчетов каналов с заполнителем из щебня от 6 до 10 мм можно рекомендовать применять покрытие из Энкамата 7225, используя при проектировании значение коэффициента шероховатости $n = 0,0237$, рассчитанное по формуле Маннинга.

Список источников

1. Хомченко Ю. В. Устойчивость откосов и склонов, укрепленных геотекстильными материалами // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 54–59. EDN: TQISZD.
2. Системный анализ инновационного развития химических предприятий, выпускающих геосинтетические материалы / А. Г. Вендило, А. В. Квасюк, А. М. Бессарабов, Н. Е. Ковалева, М. Ю. Гафитулин, О. В. Стоянов, Г. Е. Заиков // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 8. С. 366–371. EDN: SEMNST.
3. Аллямов Р. Р., Никифорова Е. Н., Максимов А. А. О применении геотекстиля для противофильтрационной защиты каналов и водоемов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. 2017. № 1. С. 377–380. EDN: ZREDKZ.
4. Кривицкий С. В., Федотова О. А., Якубовская И. О. Экобионика: биоинженерная защита берега водоема // Фундаментальные исследования основных направлений технических и физико-математических наук: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак, 2017. С. 68–73. EDN: ZUTPRN.
5. Свиридова Т. В. Применение геомембран для изоляции хранилищ промышленных отходов // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1(14). С. 74–76. EDN: TNFEOJ.
6. Гидравлические исследования противозрозионного покрытия – геомата марки Энкамат А 20 / А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков, А. И. Новиченко, С. Н. Щукин // Научное кадровое обеспечение продовольственной безопасности России: междунар. науч. конф. М.: Грин Эра 2, 2015. С. 358–363.
7. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве / С. В. Федосов, П. И. Поспелов, Т. О. Гойс, Н. А. Грузинцева, А. Ю. Матрохин, Б. Н. Гусев // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 101–106. EDN: VNRSEB.
8. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses / Т. Y. Zhukova, A. V. Ereemeev, N. V. Khanov, B. Shodiev // E3S Web Conferences. 2023. Vol. 365. 04034. DOI: 10.1051/e3sconf/202336504034. EDN: EUTHXN.
9. Khatsuria R. M. Hydraulics of spillways and energy dissipators. New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.
10. Мельникова Е. П. Повышение устойчивости грунтовых сооружений путем армирования геосинтетическими материалами // Современные тенденции развития и пер-

спективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. 2016. № 1. С. 29–34. EDN: WKCXZH.

11. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Обоснование применения защитных прокладок из геотекстиля и оценка водопроницаемости противофильтрационных покрытий из геомембран // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 48–58. EDN: TMEUXB.

12. Модельные гидравлические исследования для определения коэффициента шероховатости материала Энкамат А20 / К. Д. Козлов, А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 6–12. EDN: VUCGMX.

13. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. 239 с.

14. Шнайдер В. А., Сиротюк В. В. Новая классификация типов укрепления откосов земляного полотна // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2011. № 3(21). С. 24–28. EDN: PBIJLZ.

15. Шнайдер В. А., Юмашев В. А. Применение геоматов для снижения процессов водной эрозии на откосах земляного полотна // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. С. 21–27.

16. Еремеев А. В. Перспективы применения геомата с заполнителем из щебня с битум-полимерным вяжущим в гидротехническом строительстве // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 100-летию И. С. Шатилова. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. С. 324–325. EDN: YXQXBZ.

17. Еремеев А. В. Исследование фильтрационных характеристик в тонкой противозерозионной защитной одежде откоса // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения В. П. Горячкина. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. С. 664–667. EDN: XYFRCH.

18. Определение коэффициента шероховатости геоматов / В. А. Шнайдер, В. В. Сиротюк, Т. П. Троян, Е. Ю. Мосур // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 1. С. 73–79. EDN: TKOZVF.

References

1. Khomchenko Yu.V., 2014. *Ustoychivost' otkosov i sklonov, ukreplennykh geotekstil'nyimi materialami* [Stability of slopes and slopes reinforced with geotextile materials]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], no. 16, pp. 54-59, EDN: TQISZD. (In Russian).

2. Vendilo A.G., Kvasyuk A.V., Bessarabov A.M., Kovaleva N.E., Gafitulin M.Yu., Stoyanov O.V., Zaikov G.E., 2014. *Sistemnyy analiz innovatsionnogo razvitiya khimicheskikh predpriyatii, vypuskayushchikh geosinteticheskie materialy* [System analysis of innovative development of chemical enterprises producing geosynthetic materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], no. 8, pp. 366-371, EDN: SEMNST. (In Russian).

3. Allyamov R.R., Nikiforova E.N., Maksimov A.A., 2017. *O primeneniі geotekstilya dlya protivofil'tratsionnoy zashchity kanalov i vodoemov* [On the application of geotextiles for impervious protection of canals and reservoirs]. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy* [Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, High Technology and Materials], no. 1, pp. 377-380, EDN: ZREDKZ. (In Russian).

4. Krivitsky S.V., Fedotova O.A., Yakubovskaya I.O., 2017. *Ekobionika: bioinzhernaya zashchita berega vodoema* [Ecobionics: bioengineering protection of the reservoir bank]. *Fundamental'nye issledovaniya osnovnykh napravleniy tekhnicheskikh i fiziko-matematicheskikh nauk: sb. st. po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Fundamental Research in the Main Directions of Technical, Physical and Mathematical Sciences:

Collection of Articles Based on the Results of the International Scientific-Practical Conference]. Sterlitamak, pp. 68-73, EDN: ZUTPRN. (In Russian).

5. Sviridova T.V., 2014. *Primenenie geomembran dlya izolyatsii khranilishch promyshlennykh otkhodov* [Application of geomembranes for insulation of industrial waste storage facilities]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and Technology of Metallurgical Production], no. 1(14), pp. 74-76, EDN: TNFEOJ. (In Russian).

6. Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V., Fartukov V.A., Novichenko A.I., Shchukin S.N., 2015. *Gidravlicheskie issledovaniya protiverozionnogo pokrytiya – geomata marki Enkamat A 20* [Hydraulic studies of anti-erosion coating – geomat brand Enkamat A 20]. *Nauchnoe kadrovoe obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii: mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Scientific Personnel Support for Food Security in Russia: International Scientific Conference]. Moscow, Green Era 2 Publ., pp. 358-363. (In Russian).

7. Fedosov S.V., Pospelov P.I., Gois T.O., Gruzintseva N.A., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N., 2016. *Problemy otsenki kachestva i standartizatsii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve* [Problems of quality assessment and standardization of geosynthetic materials in road construction]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], no. 1, pp. 101-106, EDN: VNRSEB. (In Russian).

8. Zhukova T.Y., Ereemeev A.V., Khanov N.V., Shodiev B., 2023. Study of the possibility of application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses. *E3S Web Conferences*, 365, 04034, DOI: 10.1051/e3sconf/202336504034, EDN: EUTHXN.

9. Khatsuria R.M., 2005. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. New York, Marcel Dekker Publ., 649 p.

10. Melnikova E.P., 2016. *Povyshenie ustoychivosti gruntovykh sooruzheniy putem armirovaniya geosinteticheskimi materialami* [Improving the stability of ground facilities by reinforcement with geosynthetics]. *Sovremennye tendentsii razvitiya i perspektivy vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy v mashinostroenii, obrazovanii i ekonomike* [Current Trends in the Development and Prospects for the Introduction of Innovative Technologies in Engineering, Education and Economy], no. 1, pp. 29-34, EDN: WKCXZH. (In Russian).

11. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2015. *Obosnovanie primeneniya zashchitnykh prokladok iz geotekstilya i otsenka vodopronitsaemosti protivofil'tratsionnykh pokrytii iz geomembran* [Rationale for the use of protective gaskets made of geotextiles and water permeability assessment of impervious coatings made of geo-membranes]. *Vestnik MGSU* [MGSU Bulletin], no. 3, pp. 48-58, EDN: TMEUXB. (In Russian).

12. Kozlov K.D., Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V., 2016. *Model'nye gidravlicheskie issledovaniya dlya opredeleniya koeffitsienta sherokhovatosti materiala Enkamat A20* [Model hydraulic studies to determine the roughness coefficient of Enkamat A20 material]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 1, pp. 6-12, EDN: VUCGMX. (In Russian).

13. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Protivofil'tratsionnye pokrytiya iz geosinteticheskikh materialov* [Impervious Cover of Geosynthetics]. Novocherkassk, RosNIIPM, 239 p. (In Russian).

14. Schneider V.A., Sirotyuk V.V., 2011. *Novaya klassifikatsiya tipov ukrepleniya otkosov zemlyanogo polotna* [New classification of strengthening slopes of the roadbed]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [SibADI Bulletin], no. 3(21), pp. 24-28, EDN: PBIJLZ. (In Russian).

15. Schneider V.A., Yumashev V.A., 2014. *Primenenie geomatov dlya snizheniya protsessov vodnoy erozii na otkosakh zemlyanogo polotna* [The use of geomats to reduce the processes of water erosion on slopes of the roadbed]. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii: materialy VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Youth and Scientific and Technological Progress in the Road Industry of the South of Russia: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Volgograd, VolgGASU, pp. 21-27. (In Russian).

16. Ereemeev A.V., 2017. *Perspektivy primeneniya geomata s zapolnitelem iz shchebnya s bitum-polimernym vyazhushchim v gidrotekhnicheskom stroitel'stve* [Prospects for the use of geomat with crushed stone filler with bitum-polymer binder in hydraulic engineering construction]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 100-letiyu I. S. Shatilova* [Proc. of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 100th Anniversary of I.S. Shatilov]. Moscow, RGAU-MSHA Publ., pp. 324-325, EDN: YXQXBZ. (In Russian).

17. Ereemeev A.V., 2018. *Issledovanie fil'tratsionnykh kharakteristik v tonkoy protivo-erozionnoy zashchitnoy odezhde otkosa* [Research of filtration characteristics in thin anti-erosion protective clothing of a slope]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya V. P. Goryachkina* [Proc. of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 150th Anniversary of the Birth of V.P. Goryachkin]. Moscow, RGAU-MSHA Publ., pp. 664-667, EDN: XYFRCH. (In Russian).

18. Schneider V.A., Sirotuk V.V., Troyan T.P., Mosur E.Yu., 2015. *Opreделение koef-fitsiyenta sherokhovatosti geomatov* [Determination of the geomats roughness coefficient]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [SibADI Bulletin], no. 1, pp. 73-79, EDN: TKOZVF. (In Russian).

Информация об авторах

Т. Ю. Жукова – ассистент кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, t.zhukova@rgau-msha.ru, ztu-12@mail.ru, SPIN-код: 5357-4597, AuthorID: 1111184, ORCID ID: 0000-0002-9654-3039;

Н. В. Ханов – профессор кафедры гидротехнических сооружений, доктор технических наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, khanov@rgau-msha.ru, nvkhanov@yahoo.com, SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889, ORCID ID: 0000-0002-5764-4734;

О. Н. Черных – доцент кафедры гидротехнических сооружений, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, chernih@rgau-msha.ru, SPIN-код: 7757-7969, AuthorID: 692667, ORCID ID: 0000-0003-2905-446X;

С. Н. Редников – доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, доктор технических наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, rednikov@rgau-msha.ru, SPIN-код: 6267-71900, AuthorID: 119444, ORCID ID: 0000-0003-3435-7166.

Information about the authors

T. Yu. Zhukova – Assistant of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, t.zhukova@rgau-msha.ru, ztu-12@mail.ru, SPIN-код: 5357-4597, AuthorID: 1111184, ORCID ID: 0000-0002-9654-3039;

N. V. Khanov – Professor of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Doctor of Technical Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, khanov@rgau-msha.ru, nvkhanov@yahoo.com, SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889, ORCID ID: 0000-0002-5764-4734;

O. N. Chernykh – Associate Professor of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, chernih@rgau-msha.ru, SPIN-код: 7757-7969, AuthorID: 692667, ORCID ID: 0000-0003-2905-446X;

S. N. Rednikov – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management, Doctor of Technical Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, rednikov@rgau-msha.ru, SPIN-код: 6267-71900, AuthorID: 119444, ORCID ID: 0000-0003-3435-7166.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 26.03.2024.

The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 22.03.2024; accepted for publication 26.03.2024.