

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.823.916

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-403-417

**Лабораторные исследования покрытия из композиционного
геомата, заполненного щебнем и укрепленного райграсом**

**Нартмир Владимирович Ханов¹, Татьяна Юрьевна Жукова²,
Даниил Андреевич Алексеев³**

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

¹khanov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5764-4734>

²t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

³daniil.alekseev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1890-3471>

Аннотация. Цель: определение коэффициента шероховатости защитного покрытия, состоящего из геомата марки «Энкамат 7225», заполненного мелким щебнем фракцией от 6 до 10 мм и грунтом с посевом многолетней травы рода райграс. **Материалы и методы.** Проведенные авторами гидравлические исследования были направлены на определение коэффициента шероховатости исследуемого покрытия из композиционного материала (геомата). Исследования проводились на экспериментальной установке трапециевидного сечения с вертикальным правым ($m = 0$), наклонным левым ($m = 1$) откосами. При проведении экспериментальных исследований общая длина участка с покрытием составляла 8,6 м. Уклон дна лотка составлял $i = 0,010...0,03$. **Результаты.** Представлены результаты экспериментальных исследований, посвященных определению коэффициента шероховатости композитного покрытия из геомата, заполненного щебнем и укрепленного райграсом. Выведено среднее значение коэффициента шероховатости, и выполнен анализ полученных результатов. На основании проведенного анализа и после расчетов коэффициентов шероховатости по трем формулам: Маннинга, Гангиле – Куттера и Н. Н. Павловского, можно рекомендовать для исследуемого покрытия значение коэффициента шероховатости $n = 0,0301$, рассчитанное по формуле Маннинга. **Выводы.** Проведенные исследования, которые были посвящены оценке коэффициента шероховатости для исследуемого противозэрозийного защитного покрытия, показали возможность применения такого вида крепления на практике. Использование данного покрытия придает откосу грунтового сооружения, руслу и берегам водотока естественный вид без потери защитных свойств.

Ключевые слова: берегоукрепление, противозэрозийное покрытие, геомат, водная эрозия, посев трав, коэффициент шероховатости, гидравлическое сопротивление

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

Для цитирования: Ханов Н. В., Жукова Т. Ю., Алексеев Д. А. Лабораторные исследования покрытия из композиционного геомата, заполненного щебнем и укрепленного райграсом // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 403–417. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-403-417>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Laboratory studies of a composite geomat coating filled
with crushed stone and reinforced with ryegrass**

Nartmir V. Khanov¹, Tatyana Yu. Zhukova², Daniil A. Alekseev³

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

¹khanov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5764-4734>

²t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

³daniil.alekseev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1890-3471>

Abstract. Purpose: to determine the roughness coefficient of a protective coating consisting of Enkamat 7225 geomat filled with small crushed stone from 6 to 10 mm and soil seeded with perennial ryegrass. **Materials and methods.** The hydraulic studies conducted by the authors were aimed at determining the roughness coefficient of the studied coating made of composite material (geomat). This study was carried out on an experimental setup of trapezoidal cross-section with vertical right ($m = 0$) and inclined left ($m = 1$) slopes. The total length of the section with the coating was 8.6 m. The slope of the flume bottom was $i = 0.010...0.03$. **Results.** The article presents the results of experimental studies devoted to determining the roughness coefficient of a composite coating made of geomat filled with crushed stone and reinforced with ryegrass. The average value of the roughness coefficient is derived and the analysis of the obtained results is performed. Based on the analysis conducted and after calculating the roughness coefficients by three formulas: Manning, Gangulyer-Kutter and N. N. Pavlovsky, it is possible to recommend for the studied coating the value of the roughness coefficient $n = 0.0301$, calculated using the Manning formula. **Conclusions.** The conducted studies, which are devoted to the roughness coefficient assessment for the investigated anti-erosion protective coating, have shown the possibilities of using such lining in practice. The use of this coating gives a natural look without losing the protective properties to the soil structure slope, the watercourse bed and banks.

Keywords: coastal protection, anti-erosion coating, geomat, water erosion, grass seeding, roughness coefficient, hydraulic resistance

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

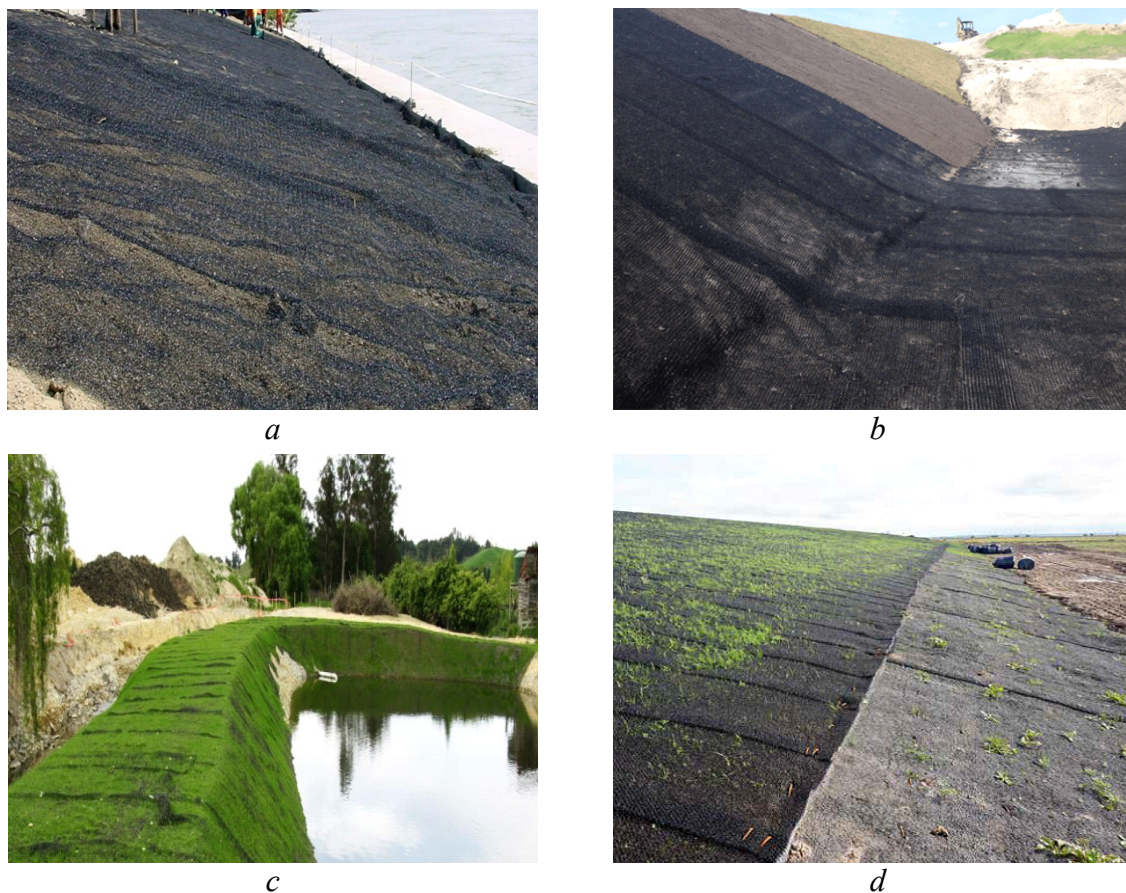
For citation: Khanov N. V., Zhukova T. Yu., Alekseev D. A. Laboratory studies of a composite geomat coating filled with crushed stone and reinforced with ryegrass. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4):403–417. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-403-417>.

Введение. Укрепление берега особенно актуально при сооружении и реновации водоотводных каналов, русел рек, водосбросов, плотин, дамб, при строительстве опор, конусов мостов, насыпей транспортных магистралей. Мероприятия по берегоукреплению включают в себя комплекс работ по укреплению и защите прибрежной линии природных и искусственных водоемов и водотоков. Данные мероприятия выполняются для защиты

от подмыва, обвала и эрозии берегового склона, вызванных воздействием течения потока, волн и ливневых потоков. При проектировании одежды откоса ее подбор может осуществляться исходя из придания большей прочности откосу или большей эстетичности и экологичности. Для выполнения этих задач могут использоваться совершенно разные облицовочные материалы. С развитием технологий все чаще в гидротехнике стали применяться современные геосинтетические материалы [1, 2]. В современной природоохранной гидротехнике получил наибольшее распространение геомат. Это трехмерный геосинтетический материал, состоящий из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити термическим способом (рисунок 1).

Так как геомат изготавливается из полимерного материала, срок службы его достаточен для выполнения долговременной защитной функции [4]. Тип мата подбирается в каждом конкретном случае в зависимости от области применения [5, 6]. В данной работе используется геомат марки «Энкамат 7225», заполненный мелким щебнем фракции от 6 до 10 мм и грунтом с посевом многолетней травы рода райграс. Необходимо провести гидравлические исследования данного противозерозионного покрытия, главным образом его заполнителя. Поэтому целью исследования стало определение коэффициента шероховатости покрытия из композиционного геомата, заполненного щебнем и укрепленного райграсом.

Материалы и методы. Проведенные гидравлические исследования были направлены на определение коэффициента шероховатости исследуемого покрытия. Исследования проводились на экспериментальной установке с лотком трапецеидального сечения с вертикальным правым ($m = 0$), наклонным левым ($m = 1$) откосами. Общая длина участка составляла с покрытием 8,6 м. Уклон дна лотка составлял $i = 0,010...0,03$ (рисунок 2) [7, 8].



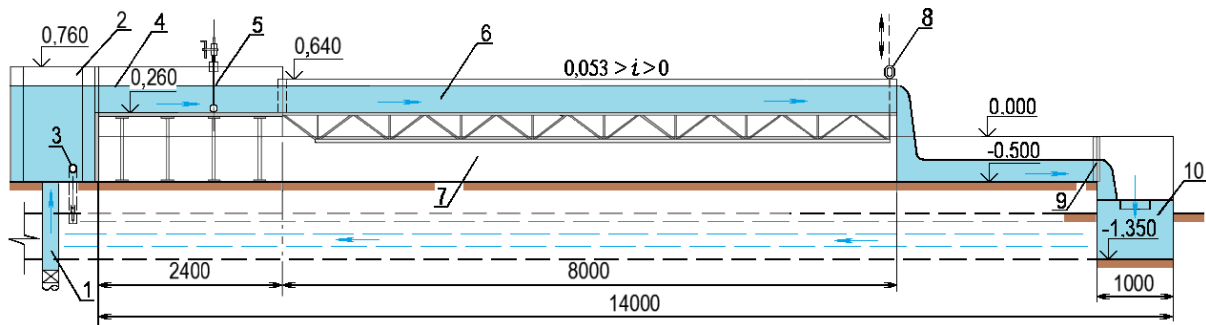
a, b – для дорожных кюветов, каналов;

c, d – с биологическим типом укрепления (посевом трав)

a, b – for road ditches, canals; *c, d* – with biological type of lining (grass sowing)

Рисунок 1 – Укрепление откосов водных объектов с применением противозерозивного материала – геомата марки «Энкамат» [3]

Figure 1 – Water body slopes lining using anti-erosion material – “Enkamat” geomat [3]



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 – feed pipeline; 2 – receiving tank; 3 – drain pipeline; 4 – headrace flume;
5 – gate (flow regulator); 6 – model working flume; 7 – common water discharge tray;
8 – lifting system of the working flume; 9 – louvered gate; 10 – diversion flume

Рисунок 2 – Разрез экспериментальной установки с трапецидальным сечением лотка [9]

Figure 2 – Section of the experimental setup with a trapezoidal cross-section of the flume [9]

На левый борт канала для лучшего сцепления грунта с пластиковым модельным откосом была уложена сетка из проволоки с ячейками 1×1 см. На дно и левый откос был уложен гумусный растительный грунт толщиной примерно 14 мм, помещенный слой грунта увлажнялся (рисунок 3а). К вертикальному борту были прикреплены листы из гладкой пластмассы. Геомат с наполнителем из грунта и семян многолетней травы укладывается на дно и откос канала, вертикальная стенка лотка не покрывается исследуемым материалом, так как вертикальную стенку невозможно выполнить с засевом трав. На гумусный слой выполнялся высев семян травы рода райграс из расчета 100 г/м^2 . С помощью пульверизатора семена были увлажнены, далее они были покрыты слоем грунта толщиной примерно 7–8 мм. Затем вся засеянная площадь была увлажнена (рисунок 3б). Поверхность русловой части модели водотока засеивалась травой рода райграс, который был подобран по результатам специальных предварительных этапов исследований. Выбор семян базировался на рекомендациях ОДМ 218.2.064-2015 «Методы укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог

засевом трав в различных климатических зонах» и анализе соответствующей научно-технической литературы. За основу брались рекомендации РОСДОРНИИ для противоэрозионных полотен сухих откосов автодорог.



a

b

a – с уложенным на дно и левый откос лотка гумусным растительным грунтом; *b* – с высевом семян травы рода райграс

a – with humus plant soil laid on the bottom and left flume slope; *b* – with ryegrass grass seeds sowing

Рисунок 3 – Фрагмент экспериментальной установки в виде канала трапецеидального поперечного сечения (автор фото Т. Ю. Жукова)

Figure 3 – Fragment of the experimental setup as a trapezoidal cross-section channel (photo by T. Yu. Zhukova)

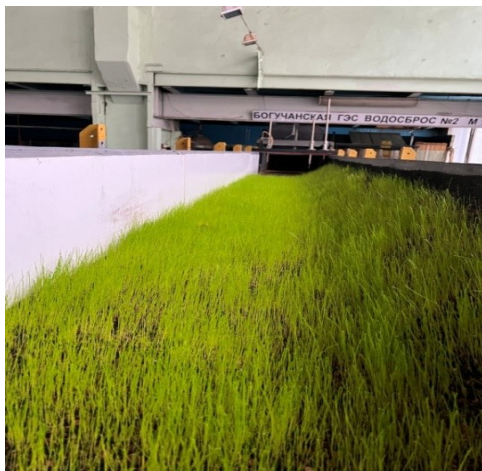
В соответствии с рекомендациями на экспериментальной установке поддерживался агротехнический режим в течение периода исследования до образования устойчивого растительного покрова высотой 15 см. На рисунке 4*a* показано состояние поверхности крепления геомата Энкамат 7225, на рисунке 4*b* – состояние поверхности исследуемого материала через 5 дней, на рисунке 4*c* – через 10 дней, на рисунке 4*d* – противоэрозионное крепление с растительным слоем через 20 дней.



a



b



c



d

a – крепление Энкамат 7225; *b* – через 5 дней после посадки травы;
c – защитное крепление через 10 дней; *d* – противозерозивное
крепление с растительным слоем через 20 дней
a – Enkammat 7225 lining; *b* – 5 days after grass sowing; *c* – protective lining
after 10 days; *d* – anti-erosion lining with a vegetation layer after 20 days

**Рисунок 4 – Состояние поверхности защитного крепления
из исследуемого материала на модели канала
(автор фото Т. Ю. Жукова)**

**Figure 4 – Surface condition of the protective lining from the studied
material on the channel model (photo by T. Yu. Zhukova)**

Изучение влияния на коэффициент шероховатости n исследуемой модели геомата выполнялось на рабочем участке длиной 4,9 м. Опыты выполнены на установке с расходами от 43 до 128,03 л/с. Для исследования были подобраны уклоны и расходы, исходя из высоты растительности 5; 10; 15 см.

Результаты исследований. Для данного покрытия в пяти мерных створах производились измерения параметров потока. Измерения скоро-

стей были выполнены на 11 вертикалях, равноудаленных друг от друга и от правой стенки лотка. На каждой вертикали в шести точках проводились замеры скоростей по высоте с помощью трубки Пито диаметром 2 мм. Кинематика потока для определения коэффициента шероховатости n и коэффициента Кориолиса α изучалась по всему поперечному сечению лотка. Далее по полученным данным на мерных вертикалях в створах строились эпюры скоростей потока $V = f(z/h)$, где z/h – относительная высота над дном в измеряемом створе [9, 10]. На рисунке 5 представлены примеры эпюр скоростей потока на мерных вертикалях при разных уклонах $i = 0,010...0,03$ и расходе $Q = 43,7$ л/с, створ 4, $y = 300$ мм.

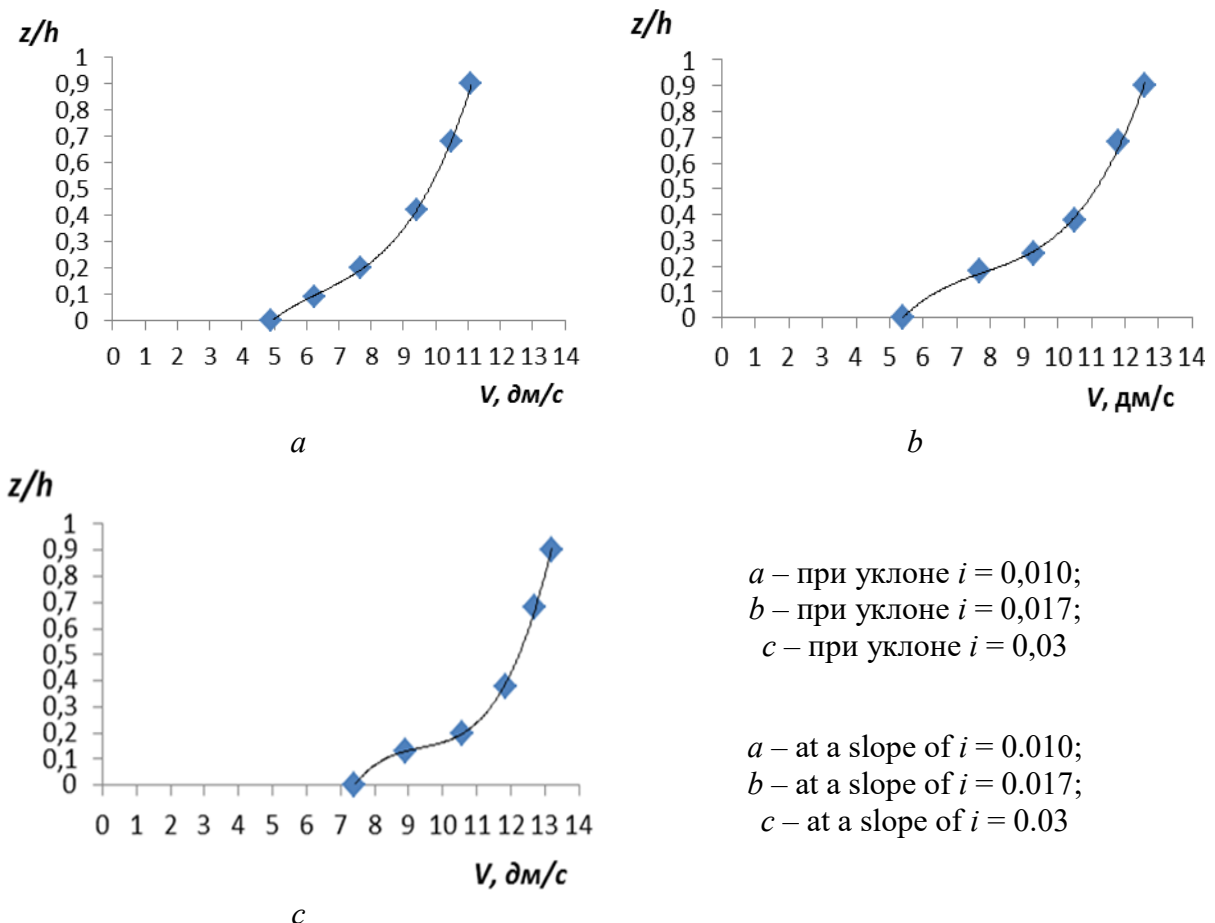


Рисунок 5 – Примеры эпюр скоростей потока на мерных вертикалях при разных уклонах $i = 0,010...0,03$ и расходе $Q = 43,7$ л/с, створ 4, $y = 300$ мм

Figure 5 – Examples of flow velocity diagrams on measuring verticals at different slopes of $i = 0.010...0.03$ and flow rate $Q = 43.7$ l/s, section 4, $y = 300$ mm

Для исследуемого композитного покрытия оценивался коэффициент шероховатости по зависимостям: Маннинга (1), Гангилье – Куттера (2) и Н. Н. Павловского (3) [11, 12]:

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

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

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

где n – коэффициент шероховатости;

R – гидравлический радиус, дм;

J – гидравлический уклон;

V – средняя скорость, дм/с.

Для исследуемого покрытия экспериментальная установка для определения коэффициента шероховатости имела правую вертикальную стенку, ее невозможно было выполнить с засевом травы, поэтому коэффициент шероховатости был принят равным $n_{III} = 0,009$ как для поверхностей, покрытых эмалью или глазурью. Следовательно, коэффициент шероховатости n_{II} исследуемого покрытия рассчитывался по формуле (4) [13–15]:

$$n_{II} = \frac{n_{cp} \cdot b + n_{cp} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{cp} - n_{III} \cdot h_{cp}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_{cp}}, \quad (4)$$

где n_{cp} – средний коэффициент шероховатости;

b – ширина дна лотка, дм;

m – заложение откоса, $m = 1$;

h_{cp} – средняя глубина потока, дм;

n_{III} – коэффициент шероховатости для поверхностей, покрытых эмалью или глазурью.

Для нахождения истинного значения коэффициента шероховатости

рассматриваемого защитного покрытия, засеянного травой, данные значения пересчитывались по формуле (4). Пересчитанные значения коэффициента шероховатости n приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета коэффициента шероховатости n противозерозионного покрытия

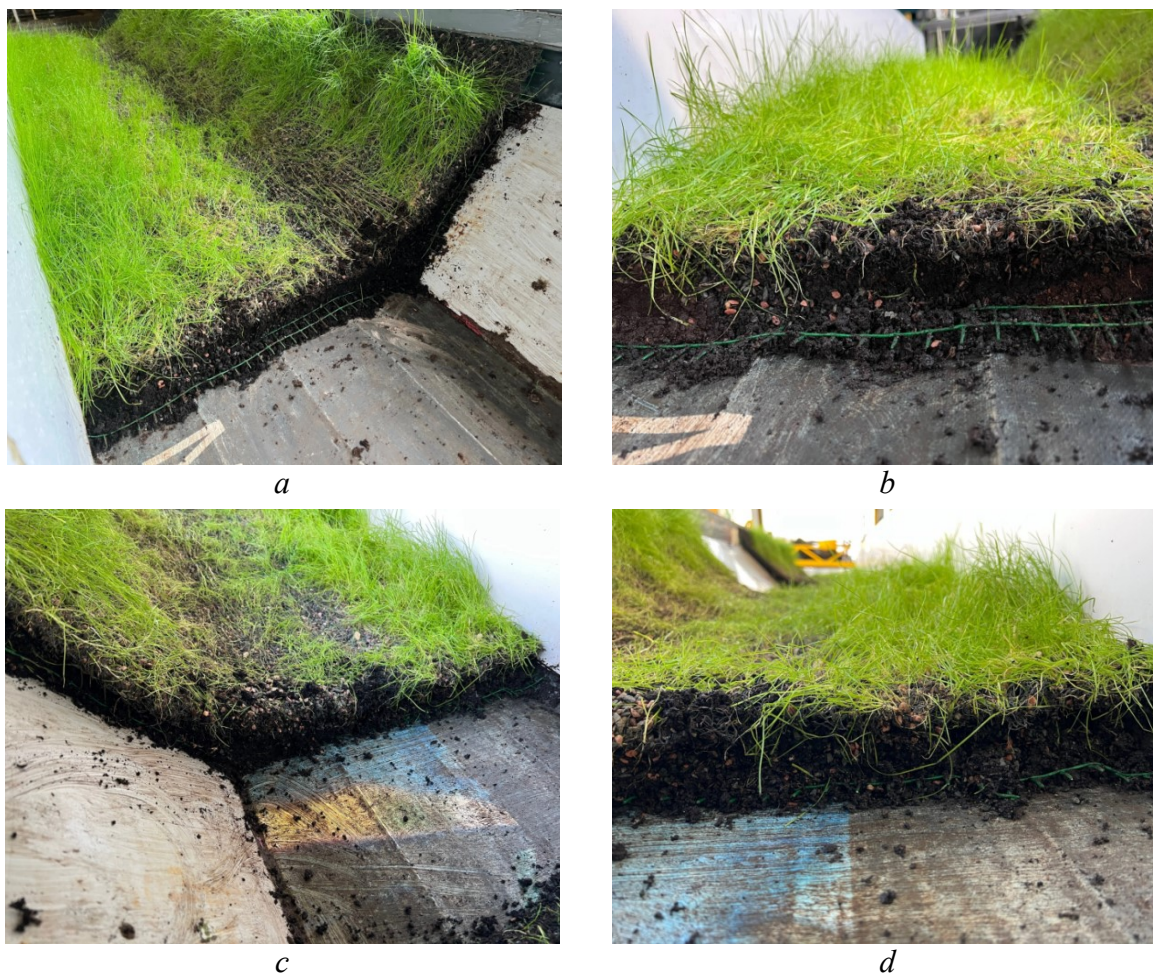
Table 1 – Calculation results of roughness coefficient n of anti-erosion coating

Параметр	$\sum n$	n_{cp}	n_{min}	n_{max}
$n_{Г-к}$	3,983	0,0282	0,0279	0,0288
n_M	4,519	0,0301	0,0289	0,0306
n_{II}	4,375	0,0287	0,0290	0,0298
$\sum n$ – сумма значений коэффициента шероховатости; n_{min} – минимальное значение коэффициента шероховатости; n_{max} – максимальное значение коэффициента шероховатости.				

Проведены сопоставления со справочными данными по результатам выполненных ранее исследований покрытий, были получены реальные значения после пересчета n данного исследуемого защитного покрытия. Благодаря полученным значениям коэффициентов шероховатости, рекомендуется при проектировании принимать значение $n = 0,0301$, рассчитанное по формуле Маннинга.

После проведения опытов были сделаны разрезы исследуемого покрытия, фотографии разрезов покрытия представлены на рисунке 6.

После серии проведенных экспериментов анализ разрезов показал, что каких-либо деформаций растительного грунта покрытия миксированного крепления и основания под ним не было. Щебень материала Энкамат 7225 создает большее гидравлическое сопротивление. Корни использованной травы послужили армирующим материалом грунта и препятствовали его эрозии [16]. Разрезы данного композиционного покрытия, выполненные после проведения гидравлических исследований, показали его отличную сохранность.



a, b – подводящий участок фрагмента канала;
c, d – отводящий участок фрагмента канала
a, b – feeding section of the channel fragment;
c, d – diversion section of the channel fragment

Рисунок 6 – Состояние исследуемого покрытия по окончании экспериментов (автор фото Т. Ю. Жукова)

Figure 6 – State of the studied coating at the end of the experiments (photo by T. Yu. Zhukova)

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования, посвященные оценке коэффициента шероховатости для противоэрозионного защитного покрытия, состоящего из геомата Энкамат 7225, заполненного мелким щебнем фракции от 6 до 10 мм и грунтом с посевом многолетней травы рода райграс, показали возможность применения такого крепления на практике. На основании проведенного анализа и после расчетов коэффициентов шероховатости n по трем формулам: Маннинга, Гангиле – Куттера и Н. Н. Павловского, можно рекомендовать с исследуемым по-

крытием значение коэффициента шероховатости $n = 0,0301$, рассчитанное по формуле Маннинга. Выбор большего значения коэффициента шероховатости из трех представленных пойдет в запас при определении пропускной способности каналов.

Разрезы данного композиционного покрытия, выполненные после проведения гидравлических исследований, показали отсутствие каких-либо деформаций растительного грунта покрытия миксированного крепления и основания под ним. Корни использованной травы послужили армирующим материалом грунта и препятствовали его эрозии.

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. Аллямов Р. Р., Никифорова Е. Н., Максимов А. А. О применении геотекстиля для противодиффузионной защиты каналов и водоемов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. 2017. № 1. С. 377–380. EDN: ZREDKZ.
3. Гидравлические исследования противозерозионного покрытия – геомата марки Энкамат А20 / А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков, А. И. Новиченко, С. Н. Щукин // Доклады ТСХА: сб. ст. М.: Грин Эра 2, 2015. Вып. 287, т. 2, ч. 1. С. 358–363. EDN: YJQSSM.
4. 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.
5. 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.
6. Свиридова Т. В. Применение геомембран для изоляции хранилищ промышленных отходов // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1(14). С. 74–76. EDN: TNFEOJ.
7. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses / Т. Y. Zhukova, A. V. Eremeev, N. V. Khanov, B. Shodiev // E3S Web Conferences. 2023. Vol. 365. 04034. DOI: 10.1051/e3sconf/202336504034. EDN: EUTHXN.
8. Результаты гидравлических исследований геомата с наполнителем из щебня на битум-полимерном вяжущем / А. В. Еремеев, А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, В. П. Букреев // Природообустройство. 2018. № 5. С. 48–54. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-5-48-54. EDN: AWLIYE.
9. 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.

10. Khatsuria R. M. *Hydraulics of spillways and energy dissipators*. New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.
11. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. 239 с. EDN: STCWZD.
12. 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.
13. 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.
14. Еремеев А. В. Перспективы применения геомата с наполнителем 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.
15. Еремеев А. В. Исследование фильтрационных характеристик в тонкой противоэрозионной 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.
16. 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'nymi materialami* [Stability of slopes and hillsides reinforced with geotextile materials]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], no. 16, pp. 54-59, EDN: TQISZD. (In Russian).
2. Allyamov R.R., Nikiforova E.N., Maksimov A.A., 2017. *O primenenii geotekstilya dlya protivofil'tratsionnoy zashchity kanalov i vodoemov* [On 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-Tech Technologies and Materials], no. 1, pp. 377-380, EDN: ZREDKZ. (In Russian).
3. 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 A20* [Hydraulic studies of anti-erosion coating – geomat brand Enkamat A20]. *Doklady TSKhA: sb. st.* [Reports of Timiryazev Agricultural Academy: collection of articles]. Moscow, Green Era 2 Publ., iss. 287, vol. 2, pt. 1, pp. 358-363, EDN: YJQSSM. (In Russian).
4. Vendilo A.G., Kvasyuk A.V., Bessarabov A.M., Kovaleva N.E., Gafitulín M.Yu., Stoyanov O.V., Zaikov G.E., 2014. *Sistemnyy analiz innovatsionnogo razvitiya khimicheskikh predpriyatii, vypuskayushchikh geosinteticheskie materialy* [The system analysis methodology for the innovative development of the chemical enterprises of geosynthetic materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], no. 8, pp. 366-371, EDN: SEMNST. (In Russian).
5. Krivitsky S.V., Fedotova O.A., Yakubovskaya I.O., 2017. *Ekobionika: bioinzhenernaya 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).

6. 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).
7. Zhukova T.Y., Ereemeev A.V., Khanov N.V., Shodiev B., 2023. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses. E3S Web Conferences, vol. 365, 04034, DOI: 10.1051/e3sconf/202336504034, EDN: EUTHXN.
8. Ereemeev A.V., Guryev A.P., Khanov N.V., Bukreev V.P., 2018. *Rezultaty gidravlicheskikh issledovaniy geomata s zapolnitelem iz shchebnya na bitum-polimernom vyazhushchem* [Results of geomat hydraulic researches with a crushed stone filler on the bitum-polimeric binder]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 48-54, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-5-48-54, EDN: AWLIYE. (In Russian).
9. 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 the Enkamat A20 material]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 1, pp. 6-12, EDN: VUCGMX. (In Russian).
10. Khatsuria R.M., 2005. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. New York, Marcel Dekker, 649 p.
11. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Protivofil'tratsionnye pokrytiya iz geosinteticheskikh materialov* [Impervious Cover of Geosynthetics]. Novochoerkassk, RosNIIPM, 239 p., EDN: STCWZD. (In Russian).
12. 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).
13. 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 uchennykh* [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).
14. 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 uchennykh i spetsialistov, posvyashchennoy 100-letiyu I. S. Shatilova* [Proceedings of the International Scientific Conference of the Young Scientists and Specialists Dedicated to the 100 Anniversary of I. S. Shatilov]. Moscow, RGAU-MSHA Publ., pp. 324-325, EDN: YXQXBZ. (In Russian).
15. Ereemeev A.V., 2018. *Issledovanie fil'tratsionnykh kharakteristik v tonkoy protivooerozionnoy zashchitnoy odezhde otkosa* [Research of filtration characteristics in thin anti-erosion protective clothing of a slope]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya V. P. Goryachkina* [Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 150 Anniversary of the Birth of V. P. Goryachkin]. Moscow, RGAU-MSHA Publ., pp. 664-667, EDN: XYFRCH. (In Russian).
16. Schneider V.A., Sirotyuk V.V., Troyan T.P., Mosur E.Yu., 2015. *Opredelenie*

koeffitsienta 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

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

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

Д. А. Алексеев – ассистент кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, daniil.alekseev@rgau-msha.ru, SPIN-код: 8085-3065, ORCID: 0009-0009-1890-3471.

Information about the authors

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-code: 4314-8184, AuthorID: 464889, ORCID: 0000-0002-5764-4734;

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-code: 5357-4597, AuthorID: 1111184, ORCID: 0000-0002-9654-3039;

D. A. Alekseev – Assistant of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, daniil.alekseev@rgau-msha.ru, SPIN-code: 8085-3065, ORCID: 0009-0009-1890-3471.

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

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 21.08.2024; одобрена после рецензирования 16.10.2024;
принята к публикации 22.10.2024.*

*The article was submitted 21.08.2024; approved after reviewing 16.10.2024; accepted for
publication 22.10.2024.*