

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

УДК 627.83:626.88



РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОМАТОВ МАРКИ ЭНКАМАТ А20 И ЭНКАМАТ 7225, ЗАПОЛНЕННЫХ ГРУНТОМ С ПОСЕВОМ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Н.В. Ханов , О.Н. Черных, С.Н. Щукин, Т.Ю. Жукова, Д.А. Алексеев

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

Аннотация. Цель исследований: определение коэффициента шероховатости противоэрозионного покрытия канала из геомата Энкамат А20, заполненного грунтом с травой сорта райграс высотой до 15 см. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение коэффициента шероховатости защитного покрытия русла водотока из материалов: геомат марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, – заполненных грунтом с посевом многолетних трав. Рассмотрены особенности модельной установки для определения гидравлических характеристик противоэрозионного покрытия и описана методика их определения. Найдено среднее значение коэффициента шероховатости и даны рекомендации для использования подобного миксированного покрытия, состоящего из геомата, почвы и растений. Использование данного покрытия придает откосу грунтового сооружения, руслу и берегам водотока естественный вид без потери защитных свойств. Также благодаря посеву многолетних трав использование данного покрытия повышает экологические характеристики как всего гидротехнического сооружения, так и водного объекта в целом.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>

Ключевые слова: берегоукрепление, противоэрозионное покрытие, геомат, водная эрозия, защита, растительность

Формат цитирования: Ханов Н.В., Черных О.Н., Щукин С.Н., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А. Результаты гидравлических исследований геоматов марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненных грунтом с посевом многолетних трав // Природообустройство. 2024. № 5. С. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

Original article

RESULTS OF HYDRAULIC STUDIES OF ENKAMAT A20 AND ENKAMAT 7225 GEOMATS FILLED WITH SOIL WITH PERENNIAL GRASS SOWING

N.V. Khanov , O.N. Chernykh, S.N. Shchukin, T.Y. Zhukova, D.A. Alekseev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

Abstract. The purpose of the research: to determine the roughness coefficient of the anti-erosion coating of the channel from the Encamate A20 geomat filled with soil with ryegrass grass up to 15 cm high. This article presents the results of experimental studies aimed at determining the roughness coefficient of the protective coating of a watercourse bed made of materials: geomat brand Enkamat A20 and Enkamat 7225, filled with soil with sowing of perennial grasses. The features of a model installation for determining the hydraulic characteristics of an anti-erosion coating are considered and the methodology for their determination is described. The average value of the roughness coefficient was found and recommendations were given for the use of such a mixed coating consisting of geomat, soil and plants. The use of this coating gives the slope of the soil structure, the bed and banks

of the watercourse a natural appearance without loss of protective properties. Also, thanks to the sowing of perennial grasses, the use of this coating improves the environmental characteristics of both the entire hydraulic structure and the water body as a whole.

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Keywords: bank protection, anti-erosion coating, geomat, water erosion, protection, vegetation

Format of citation: Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A. Results of hydraulic studies of Enkamat A20 and Enkamat 7225 geomats filled with soil with sowing of perennial grasses // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 5. P. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

Введение. Берегоукрепление включает в себя комплекс работ по укреплению и защите прибрежной линии природных и искусственных водоемов и водотоков от подмыва, обвала и эрозии берегового склона под воздействием течения и волн, а также размыва ливневыми потоками [1, 2]. Неконтролируемый поток воды может оказывать разрушительное воздействие на берега и русла естественных и искусственных водных объектов, что способствует появлению на них дефектов разной типологии, сдвигам, размывам, эрозии и вызывает другие негативные последствия. Поток воды может серьезно повредить подпорные и водопропускные сооружения, проходящие рядом дороги или строения, располагающиеся вдоль берега (рис. 1).

Поскольку основное назначение водопропускных, водоотводящих и природоохранных сооружений вместе с укреплением заключается в эффективной защите земляного основания различных элементов гидротехнических сооружений и береговых склонов, примыкающих к водному объекту, подвергающихся воздействию не только

паводковых вод в весенний период, но и дождевых вод в период пиковой интенсивности осадков, то для облегчения их стабильной эксплуатации и повышения надежности работы необходимо использовать современные конструктивные решения, позволяющие нормально эксплуатировать водохозяйственные объекты и при высоком уровне воды в водотоке или водоеме, и при больших скоростях течения в них. Выбор оптимального конструктивного решения при создании берегоукрепления водных объектов является задачей, при решении которой необходимо знать все расчетные параметры материала и работы конструкции противоэрозионной защиты. Предотвратить негативный результат воздействия воды на целостность русел и склонов водных объектов можно довольно эффективно путем инженерных решений с использованием геосинтетических материалов.

Одним из таких конструктивных средств, представляющих собой своеобразную альтернативу бетонным элементам, каменной наброске, габионным конструкциям и прочим креплениям,



Рис. 1. Повреждения откосов водных объектов:

- а – обрушение и эрозия неукрепленного откоса плотины на пруду № 4 в парке Покровское-Стрешнево, Москва, 2020 г.;
- б – деформации и разрушение откоса из железобетонных плит и берегов, укрепленных габионами р. Коломенки в центре г. Коломны, 2023 г. (фото авторов)

Fig. 1. Damages to the slopes of water bodies:

- a – collapse and erosion of the unfastened dam slope on pond No4 in Pokrovskoye-Streshnevo Park, Moscow, 2020;
- b – deformations and destruction of the slope made of reinforced concrete slabs and banks reinforced with gabions of the Kolomenka River in the center of the Kolomna to, 2023 (photo by the authors)

является геомат – трехмерный полиамидный мат с 95%-ной открытой поверхностью, изготовленный из хаотично расположенных полиамидных филаментов, соединенных между собой термическим способом. Геомат позволяет создать на защищаемом участке устойчивый растительный слой. Тип мата подбирается в каждом конкретном случае в зависимости от области применения. В данной работе использовались геомат марки Энкамат А20 и геомат марки Энкамат 7225 (рис. 2).

Энкамат А20 представляет стабильную объемно-волокнистую структуру с подложкой из полиамидных мононитей, заполненную горячей органоминеральной смесью (черный щебень размером не более 8 мм), смешанный в установке с битум-полимерным вяжущим. Энкамат 7225 – мат толщиной 20 мм, заполненный щебнем определенной фракции (примерно 5 мм) и пропитанный битумной эмульсией, что не влияет на его водопроницаемость и не препятствует росту растений. Геомат Энкамат А20 –тяжелый материал (вес составляет более 20 кг/м^2), что позволяет такому покрытию выдерживать большие гидравлические нагрузки под водой при отсутствии растительного слоя. В практике строительства этот рулонный геоматериал вкуче с каменным заполнителем хорошо зарекомендовал себя как противоэрозионное защитное сооружение при максимальной средней скорости течения потока до $3,5 \text{ м/с}$. В отдельных случаях геоматы могут быть достаточно эффективно использованы в качестве защиты от эрозии на берегах каналов и малых рек [3-5].

Для инженерно-технического обоснования применения различных типов геоматов необходимо проведение гидравлических исследований с учетом не только свойств самого геомата, но главным образом – его заполнителя для создания более прочной и экологичной миксированной конструкции.

Цель исследований: определение коэффициента шероховатости противоэрозионного покрытия канала из геомата Энкамат А20, заполненного грунтом с травой сорта райграс высотой до 15 см.

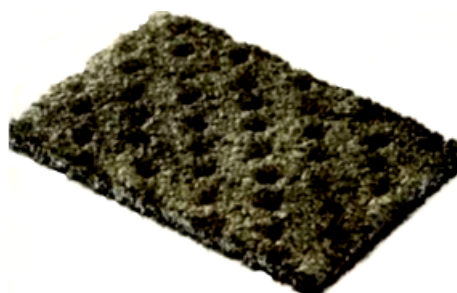
Материалы и методы исследований. Проведенные исследования были направлены на определение коэффициента шероховатости для покрытия материалом, состоящего из геомата Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненного грунтом с посевом многолетних трав сортом райграс [8]. Исследование коэффициента шероховатости проводилось на экспериментальной установке с трапециевидальным сечением лотка

с переменным уклоном длиной 8 м, представленной на рисунке 3 [2, 9, 10].

Изучение влияния на коэффициент шероховатости n геомата с травой сорта райграс марки Энкамат А20 выполнялось на участке длиной 2 м, а Энкамат 7225 – с заполнением каменным материалом, укрепленного пророщенной травой того же сорта [6, 7], на участке длиной 2,5 м. Опыты были проведены при уклоне $i = 0,00365$ и расходах



а



б

Рис. 2. Типы противоэрозионных геоматов, используемых в экспериментах:

а – Энкамат 7225; б – Энкамат А20

Fig. 2. Types of anti-erosion geomats used in experiments:

а – Enkammat 7225; б – Enkammat A20

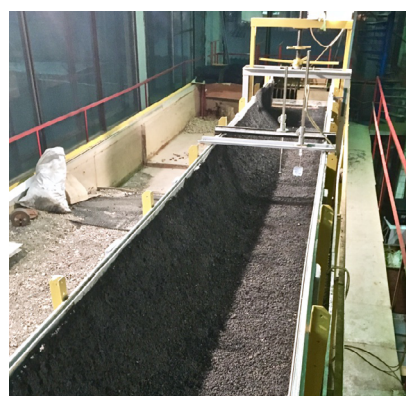


Рис. 3. Общий вид опытной установки с моделью транзитной части канала трапециевидального сечения:

с вертикальным правым ($m = 0$)

и наклонным левым ($m = 1$) откосами

Fig. 3. General view of the pilot plant with a model of the transit part of the channel of a trapezoidal cross-section:

with vertical right ($m = 0$) and inclined left ($m = 1$) slopes

$Q=48,4; 84,3$ и $132,7$ л/с при уклоне $i=0,0073$ и расходах $Q=48,4; 84,3$ л/с соответственно.

Для проведения исследований было выбрано трапециевидальное сечение с вертикальным $m=0$ правым и наклонным $m=1$ левым бортами, которое соответствовало половине реального трапециевидального сечения. Сначала был уложен гумусный растительный грунт на дно и левый откос лотка толщиной ~ 14 мм (рис. 4а).



а



б

Рис. 4. Участки экспериментальной установки с гумусным растительным грунтом, уложенным на дно, и левый откос лотка (а) с высевом семян травы сорта Райграсс (б)

Fig. 4. Plots of the experimental plant with humus vegetation soil laid on the bottom and left slope of the flume (a) with sowing of grass seeds of the Ryegrass variety (b)

На левый борт канала для лучшего сцепления грунта с пластиковым модельным откосом была уложена стальная сетка из проволоки сечением 1 мм и с ячейками 1×1 см. Затем для исключения сползания грунта вниз уложенный слой грунта увлажнялся: дно – лейкой, а откос – пульверизатором. Вертикальная стенка лотка ввиду невозможности засева травы без соответствующих конструктивных дополнений не покрывалась исследуемым материалом и оставалась гладкой. Высев семян сорта травы райграсс на гумусный слой выполнялся из расчета 100 г на 1 м^2 , после чего семена были увлажнены при помощи мелкодисперсного пульверизатора. Затем семена были закрыты слоем грунта толщиной $7 \dots 8$ мм с укаткой, далее вся засеянная площадь была увлажнена в щадящем режиме (рис. 4б).

На первом рабочем участке длиной 2,5 м дно и левый откос были закрыты материалом Энкамат А20, а на втором рабочем участке длиной 2,8 м дно и левый борт были накрыты армирующей сеткой Энкамат 7225, ячейки которой были заполнены мелким щебнем (рис. 5а). Правый вертикальный борт был обшит по всей длине лотка баннерной тканью. Таким образом, общая длина обоих участков составляла 5,3 м, а засеянная площадь – $4,5 \text{ м}^2$. Начальный ($1 \dots 1,2$ м) и конечный ($1 \dots 1,2$ м) участки канала по периметру сечения были закрыты армирующей сеткой для создания идентичных условий движения жидкости. Поверхность русловой части модели водотока засаживалась травой сорта райграсс, подобранного по результатам специальных предварительных этапов исследований [6-8].

В соответствии с рекомендациями на установке поддерживался агротехнический режим в течение всего вегетационного периода (приблизительно 1,5 месяца) до образования устойчивого



а



б



в

Рис. 5. Состояние поверхности защитного крепления из исследуемых материалов на модели канала:

а – крепление из Энкамат А20 и Энкамат 7225; б – через 10 дней после посадки травы сорта Райграсс; в – защитное крепление через 1,5 месяца

Fig. 5. Condition of the surface of the protective fastening made of the materials under study on the channel model: а – fastening made of Enkammat A20 and Enkammat 7225; б – 10 days after Ryegrass grass planting; в – protective fastening after 1.5 months

растительного покрова высотой ~15 см. На рисунке 5б показано состояние поверхности исследуемых материалов с травой сорта райграс через 10 дней, а на рисунке 5в – через 1,5 месяца.

Результаты и их обсуждение. Было выполнено измерение кинематических характеристик потока в 3-мерных створах по длине контрольного участка: на границах участков, покрытых Энкамат А20 и Энкамат 7225, и в сечениях между ними, расположенных на расстоянии $x = 202, 402$ и 652 см. Для определения гидравлических сопротивлений материала Энкамат А20 с травой сорта райграс использовались кинематические показатели потока в сечениях на расстоянии $x = 202$ и 402 см, а для материала Энкамат 7225 – $x = 402$ и 652 см. В каждом сечении измерение скоростей проводилось на 10...11 вертикалях в 6...7 точках по высоте, а на откосе их количество уменьшалось. Общее число точек

замера скоростей составило 60 и 77 соответственно. Замеры скоростей были выполнены трубкой Пито диаметром 2 мм (рис. 6), глубины потока – шпигценмасштабом [10-12]. Для определения коэффициента Кориолиса α изучалась кинематика потока по всему поперечному сечению.

Далее на мерных вертикалях в створах строились эпюры скоростей потока, представленные на рисунке 7.

Исследования выполнялись при равномерном установившемся движении воды с использованием формулы Шези (1) [11-15]:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot J}, \quad (1)$$

где $R = \frac{\omega}{\chi}$ – гидравлический радиус; ω – площадь живого сечения потока; χ – смоченный периметр потока в рассматриваемом поперечном сечении; $J = \frac{H_i - H_{i+1}}{l}$ – гидравлический уклон дна канала; l – длина контакта воды с руслом в рассматриваемом сечении канала; C – коэффициент Шези.

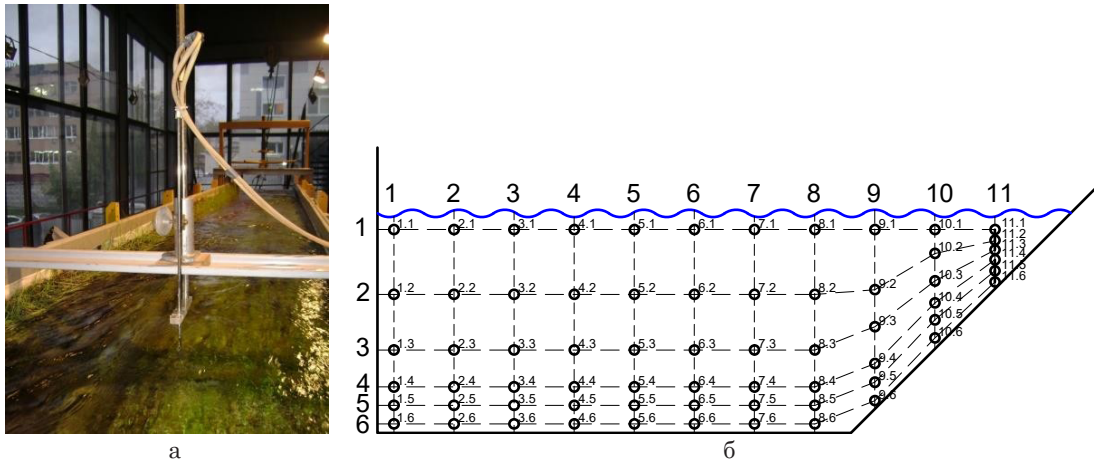


Рис. 6. Измерение на модели скоростей потока по мерным вертикалям: а – установка трубки Пито в мерном створе; б – схема определения местных скоростей

Fig. 6. Measurement of flow velocities along dimensional verticals on the model: а – installation of the Pitot tube in the dimensional cross-section; б – scheme for determining local velocities

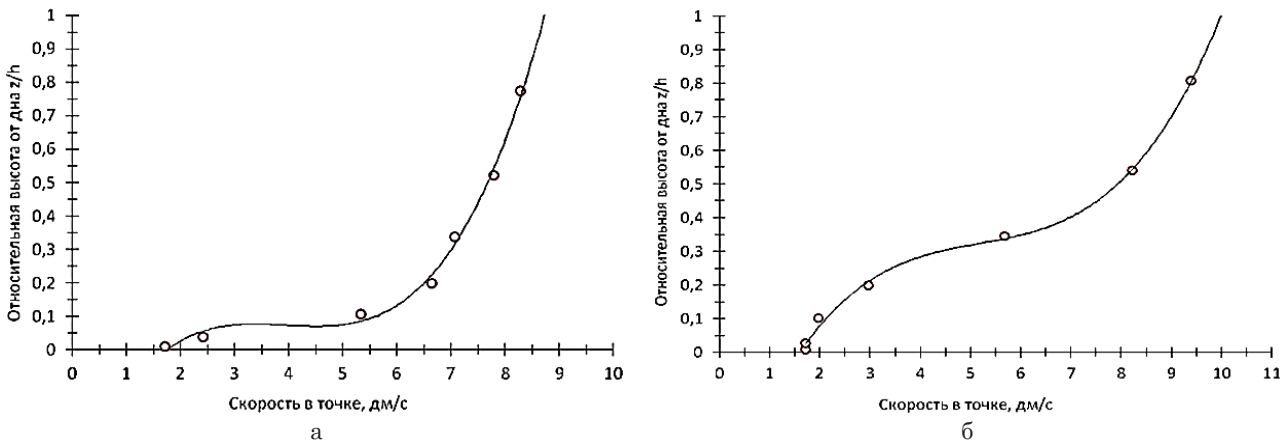


Рис. 7. Примеры эпюр скоростей потока на мерных вертикалях при $i = 0,00365$:

а – $Q = 84,3$ л/с, $x = 202$ мм, $y = 370$ мм; б – $Q = 132,7$ л/с, $x = 402$ мм, $y = 90$ мм

Fig. 7. Examples of flow velocity diagrams on dimensional verticals at $i = 0,00365$:

а – $Q = 84.3$ l/s, $x = 202$ mm, $y = 370$ mm; б – $Q = 132.7$ l/s, $x = 402$ mm, $y = 90$ mm

Для нахождения последнего обычно применяют симбиоз эмпирических формул Маннинга, Гангилье-Куттера и Н.Н. Павловского [9]. Поскольку в экспериментах по определению коэффициента шероховатости n для покрытия материалом Энкамат А20 и Энкамат 7225 экспериментальная установка имела правую вертикальную стенку, обшитую баннерной тканью ($n_{пл} = 0,009$), ее практически невозможно было выполнить с засевом травы. Поэтому коэффициент шероховатости n_n исследуемого композитного покрытия оценивался по формуле (2) [9]:

$$n_n = \frac{n_{cp} \cdot b + n_{cp} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{cp} - n_{пл} \cdot h_{cp}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_{cp}}; \quad (2)$$

где
$$n_{cp} = \frac{n_n \cdot \chi_n + n_{пл} \cdot \chi_{пл}}{b + (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{cp}}. \quad (3)$$

Результаты расчетов коэффициента шероховатости композитного защитного покрытия, засеянного травой, на основании обработки экспериментальных данных, n , представлены в таблице 1.

Поскольку исследования проводились в установке, где одна из стенок лотка была обшита баннерной тканью, то значения коэффициентов шероховатости n в таблице 1 дают представление о средневзвешенном значении коэффициента шероховатости. Для определения истинного значения коэффициента шероховатости данные значения, как отмечено выше, пересчитывались по формуле (2). В расчетах коэффициента шероховатости n_n коэффициент шероховатости $n_б$ принят равным $n_б = 0,012$, как для бетона хорошего качества [12, 14]. С учетом этого значения коэффициента шероховатости $n_б$ данные таблицы 1, пересчитанные в значения коэффициентов шероховатости n_n для покрытия Энкамат А20 и Энкамат 7225, приведены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, травяной покров значительно увеличивает гидравлические сопротивления [16, 17]. Средние значения коэффициента шероховатости, полученные из зависимостей Гангилье-Куттера, практически совпадают со значениями, полученными при использовании формулы Н.Н. Павловского [11]. Для покрытия

Таблица 1. Результаты расчётов коэффициента шероховатости n

Table 1. Results of calculations of the roughness coefficient n

Условия эксперимента Conditions of the experiment	h	Гангилье-Куттер Ganguillier-Cutter		Маннинг Manning		Павловский Н.Н. Pavlovsky N.N.	
		n_{1-2}	n_{2-3}	n_{1-2}	n_{2-3}	n_{1-2}	n_{2-3}
$Q_v = 48,4 \text{ л/с}, i = 0,00365$	1.68	0,0203	0,0259	0,0231	0,0315	0,0206	0,0258
$Q_v = 84,3 \text{ л/с}, i = 0,00365$	2.16	0,0257	0,0231	0,0304	0,0268	0,0254	0,0231
$Q_v = 132,7 \text{ л/с}, i = 0,00365$	2.48	0,0211	*	0,0235	*	0,0211	*
$Q_v = 48,4 \text{ л/с}, i = 0,0073$	1.43	0,0245	0,0242	0,0297	0,0292	0,0246	0,0243
$Q_v = 84,3 \text{ л/с}, i = 0,0073$	1.95	0,0206	0,0221	0,0233	0,0254	0,0208	0,0222
N_{cp} / N_{av}		0,0224	0,0238	0,026	0,0282	0,0225	0,0239

* – в процессе экспериментов произошло оползание щебня с откоса, в результате чего условия эксперимента изменились и эти данные не приводятся.

* – in the process of experiments, crushed stone slid down from the slope, as a result of which the conditions of the experiment changed and these data are not given.

Таблица 2. Результаты пересчёта коэффициента шероховатости n покрытия Энкамат А20 и Энкамат 7225

Table 2. Results of recalculation of roughness coefficient n of coating of Enkammat A20 and Enkammat 7225

Условия эксперимента Conditions of the experiment	H_{cp} , дм N_{av} dm	Гангилье-Куттер Ganguillier-Cutter		Маннинг Manning		Павловский Н.Н. Pavlovsky N.N.	
		Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225	Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225	Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225
		$Q_v = 48,4 \text{ л/с}, i = 0,00365$	1.68	0,0222	0,0290	0,0256	0,0358
$Q_v = 84,3 \text{ л/с}, i = 0,00365$	2.16	0,0293	0,0261	0,0352	0,0307	0,0290	0,0261
$Q_v = 132,7 \text{ л/с}, i = 0,00365$	2.48	0,0237	0,0000	0,0268	0,0000	0,0238	0,0000
$Q_v = 48,4 \text{ л/с}, i = 0,0073$	1.43	0,0270	0,0266	0,0333	0,0326	0,0271	0,0268
$Q_v = 84,3 \text{ л/с}, i = 0,0073$	1.95	0,0228	0,0246	0,0260	0,0287	0,0230	0,0247
N_{cp} / N_{av}		0,0250	0,0266	0,0294	0,0320	0,0251	0,0266

из материала Энкамат А20 средние значения коэффициента шероховатости окончательно составляют $n = 0,025$, а для покрытия из материала Энкамат 7225 $n = 0,0266$. При этом средние значения коэффициента шероховатости, полученные из зависимости Маннинга, имеют большие значения: $n = 0,0294$ и $n = 0,032$ соответственно, что примерно на 20% выше.

После проведения опытов были сделаны разрезы материала покрытия – геомата марки Энкамат А20 и Энкамат 7225 с травяным покровом и растительным грунтом (рис. 8, 9).

Визуальный анализ разрезов показал, что каких-либо деформаций уложенного

гумусного растительного грунта после серии проведенных экспериментов под обоими покрытиями миксированного крепления и основания под ним обнаружено не было. Очевидно, корни использованной сезонной травы послужили армирующим материалом грунта и препятствовали его эрозии. Тесты по определению прочности удержания травяного покрова позволили установить значительную стойкость против выдергивания, что говорит о достаточной стойкости травяного покрова против выдергивания влекущими силами гидравлического сопротивления воды.



Рис. 8. Состояние покрытия из геомата марки Энкамат А20 с травяным покровом по растительному грунту после проведения серии исследованных гидравлических режимов в экспериментальном лотке

Fig. 8. Condition of the Enkammat A20 geomat coating with grass cover on the vegetative soil after a series of studied hydraulic modes in the experimental flume



Рис. 9. Состояние покрытия Энкамат 7225, заполненного каменным материалом с пророщенной травой сорта Райграс и растительным грунтом по окончании первой серии экспериментов

Fig. 9. Condition of the Enkammat 7225 pavement filled with stone material, with sprouted ryegrass and vegetative soil at the end of the first series of experiments

Выводы

Исследования по оценке коэффициента шероховатости для противоэрозионного защитного покрытия, состоящего из геомата марки Энкамат А20 с травяным покровом сорта райграс и растительным грунтом, как и покрытия Энкамат 7225, заполненного каменным материалом, с пророщенной травой и растительным грунтом, опытным путем показали на практике возможность применения миксированного инновационного крепления.

Несмотря на то, что покрытие ложа канала из материала Энкамат 7225 незначительно уступает покрытию из материала Энкамат А20 (заполнитель из гранитной крошки с диаметром зерен 3...5 мм смывается с откосов уже при средней скорости потока порядка 1 м/с), засев покрытия травой в зонах с густым покровом частично увеличивает стойкость против смыва гранитной крошки, выдерживая при этом скорость до 1,5 м/с, в целом повышая устойчивость всего композиционного покрытия. Гранитная

крошка материала Энкамат 7225 создает большее гидравлическое сопротивление, чем то, что имеет материал Энкамат А20.

На основании анализа проведенных экспериментов по изучению трансформации коэффициента n для гидравлических расчетов каналов с растительностью сорта райграс можно рекомендовать использовать: с покрытием из Энкамата А20, пророщенного травой сорта райграс, значение коэффициента $n = 0,0294$, а с покрытием

из Энкамат 7225, заполненного каменным материалом, укрепленным пророщенной травой сорта райграс, значение $n = 0,032$, полученных по формуле Маннинга.

Разрезы защитных покрытий из материала Энкамат А20 и Энкамат 7225 в совокупности с травяным покровом и гумусным слоем, размещенного под ними, выполненные после проведения гидравлических исследований, показали их отличную сохранность.

Список использованных источников

1. Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 185 с.
2. Гурьев А.П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, А.В. Еремеев, К.Д. Козлов, В.А. Фартуков, С.Н. Щукин. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 253 с.
3. Ханов Н.В., Еремеев А.В. Обзор применения современных геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве // Сборник материалов Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 336-339.
4. Хомченко Ю.В. Устойчивость откосов и склонов, укрепленных геотекстильными материалами // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 54-59.
5. CUR, Geotextielen in de waterbouw, publikatie 174, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, 1995.
6. Жукова Т.Ю. Современное и инженерно-экологическое противозерозионное покрытие, состоящее из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав // Аграрная наука-2022: сборник материалов Всероссийской конференции молодых исследователей. М.: РГАУ-МСХА, 2022. С. 8-11.
7. Жукова Т.Ю. Современные тенденции развития и перспективы внедрения геосинтетических материалов // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сборник статей. М.: РГАУ-МСХА, 2022. С. 69-73.
8. Zhukova T.Y., Eremeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses // E3S Web Conferences, 2023. 365, 04034.
9. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Гидравлические исследования покрытия из геокompозитного материала // Природообустройство. 2014. № 5. С. 80-86.
10. Козлов К.Д., Модельные гидравлические исследования для определения коэффициента шероховатости материала Энкамат А20 / Гурьев А.П., Козлов Д.В., Ханов Н.В. // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 6-12.
11. Козыр И.Е., Пикалова И.Ф., Ханов Н.В. Практикум по гидравлике: учебно-методическое пособие. СПб.: Лань, 2016. 176 с.
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.

References

1. Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V. Bank protection structures of water bodies, part 2. M.: RGAU-MSHA, 2020. 185 p.
2. Guryev A.P. The use of composite geomats to combat water erosion / Guryev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A., Shchukin S.N. / M.: RGAU-MSHA, 2020. 253 p.
3. Khanov N.V. Review of the use of modern geosynthetic materials in hydraulic engineering construction / N.V. Khanov, A.V. Eremeev // In the collection: International scientific conference of young scientists and specialists, dedicated to the 150th anniversary of the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev Collection of articles. M.: Publishing house RGAU-MSHA. 2015. P. 336-339.
4. Khomchenko Yu.V. Stability of slopes and slopes reinforced with geotextile materials/Yu.V. Khomchenko // Bulletin of Polotsk State University. 2014. No. 16 P. 54-59.
5. CUR, Geotextielen in de waterbouw, publikatie 174, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, 1995.
6. Zhukova T.Yu. Modern and engineering-ecological anti-erosion coating consisting of a geomat filled with soil with sowing of perennial grasses / T.Yu. Zhukova // In the collection: Agricultural Science – 2022. Materials of the All-Russian Conference of Young Researchers. 2022. P. 8-11
7. Zhukova T.Yu. Modern development trends and prospects for the introduction of geosynthetic materials // Materials of the international scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakova. Sat. articles. M.: Publishing house RGAU-MSHA. 2022. P. 69-73.
8. Zhukova T.Y., Eremeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of the possibility of application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses. E3S Web Conferences, 2023,365,04034.
9. Kozlov K.D., Guryev A.P., Khanov N.V. Hydraulic studies of geocomposite material coating. // Prirodoobustroystvo. 2014. No. 5. P. 80-86.
10. Kozlov K.D. Model hydraulic studies to determine the roughness coefficient of the material Enkammat A20 / K.D. Kozlov, A.P. Guryev, D.V. Kozlov, N.V. Khanov // Scientific life. 2016. No. 1. P. 6-12.
11. Kozyr I.E., Pikalova I.F., Khanov N.V. Workshop on hydraulics. Educational and methodological manual. St. Petersburg, "Lan", 2016. 176 p.
12. Zuykov A.L., Volgina L.V. Hydraulics: textbook for universities: in 2 volumes. Volume 2: Pressure and open

13. **Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов. М.: Литература по строительству, 1969. 462 с.

14. **Косиченко Ю.М., Турянская Н.И.** Влияние случайного характера распределения водной растительности на коэффициент шероховатости русел малых водотоков // Мелиорация антропогенных ландшафтов: сборник научных трудов НГМА. Новочеркасск, 1997. С. 40-48

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

16. **Schippers W.** and Pon K. Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouuniversiteit. Wageningen, 1983.

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

flows. Hydraulics of structures. M.: Publishing house MGSU, 2015. 424 p.

13. **Chow V.T.** Hydraulics of open channels / V.T. Chow. Moscow: Publishing house "Literature on construction", 1969. 462 p.

14. **Kosichenko Yu.M.** The influence of the random nature of the distribution of aquatic vegetation on the roughness coefficient of small watercourses / Yu.M. Kosichenko, N.I. Turyanskaya // Reclamation of anthropogenic landscapes, 1997. P. 40-48.

15. **Khatsuria R.M.** Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators / R.M. Khatsuria – New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.

16. **Schippers W.** and K. Pon, Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouuniversiteit, Wageningen, 1983.

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

Об авторах

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

Ольга Николаевна Черных, канд. техн. наук, доцент, WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Шукин, канд. техн. наук, директор, ООО Восток Геосинтетикс 89031025452@mail.ru

Татьяна Юрьевна Жукова, ассистент; WoS ResearcherID: RIDAAE – 5204-2022; Scopus AuthorID: 57433774600; ORCID:0000-0002-9654-3039; SPIN-код: 5357-4597; AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru

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

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ханов Н.В., Черных О.Н., Шукин С.Н., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / The article was submitted to the editorial office 18.03.2024

Поступила после рецензирования / Approved after reviewing 21.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 25.10.2024

About the authors

Nartmir V. Khanov, DSc (Eng), professor, professor, head of the HTS department; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-code: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Olga N. Chernykh, DSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-code: 7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Sergey N. Shchukin, CSc (Eng), Director, Vostok Geosynthetics LLC, 89031025452@mail.ru

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

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

Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A., carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.