

trebovanija [State standard R 54257-2010. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions and requirements]. Moscow, Standartinform, 2011. 20 p.

2. Raizer V. D. *Teorija nadjozhnosti sooruzhenij* [Structural safety theory]. Moscow, Izd-vo ASV, 2010. 384 p.

3. Rzhanicyn A. R. *Teorija raschjota stroitel'nyh konstrukcij na nadjozhnost'* [The theory of calculating building structures for reliability]. Moscow, Strojizdat, 1978. 239 p.

4. Bolotin V. V. *Metody teorii verojatnostej i teorii nadjozhnosti v raschjotah sooruzhenij* [Methods of probability theory and reliability theory in calculating structures]. Moscow, Strojizdat, 1981. 351 p.

5. Kapur K., Lamberson L. *Nadjozhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability and designing of systems]. Moscow, Mir, 1980. 608 p.

6. Znamenskiy E. M., Sukhov Y. D. O raschete konstrukcij s zadannym urovnem nadezhnosti [On calculation of structures with a given level of reliability]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 1987, no 2. pp. 7 – 9.

7. Krasnoshchekov Y. V. *Verojatnostnye osnovy rascheta konstrukcij. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij* [Probabilistic bases of calculating structures. Reliability of

building structures]. Palmarium academic publishing, 2014. 234 p.

8. Shpete, G. *Nadjozhnost' nesushhih stroitel'nyh konstrukcij* [Reliability of bearing structures]. Per. s nem. O. O. Andreeva. Moscow, Strojizdat, 1994. 288 p.

Краснощечков Юрий Васильевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Заполева Мария Юрьевна (Россия, г. Омск) – инженер-конструктор, ОАО СМУ №175 «Радиострой». (644082, г. Омск, ул. Энгельса, 1, e-mail: m18kras@spartak.ru).

Krasnoshchekov Yuriy Vasilievich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department "Building constructions", The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Zapoleva Maria Yurievna (Russian Federation, Omsk) – design engineer, ОАО СМУ No. 175 "Radiostroy". (644082, Omsk, Engels st., 1, e-mail: m18kras@spartak.ru).

УДК 625.731.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ ГЕОМАТОВ

В. А. Шнайдер¹, В. В. Сиротюк¹, Т. П. Троян¹, Е. Ю. Мосур²

¹ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

²ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», Россия, г. Омск.

Аннотация. Целью статьи является определение коэффициентов шероховатости геоматов, применяемых для повышения устойчивости откосов земляного полотна от размыва поверхностными водами. В статье описано влияние коэффициентов шероховатости на гидравлическое сопротивление движения воды. Проанализированы расчетные формулы, на основе которых опытным путем были получены значения коэффициентов шероховатости геоматов. Описаны условия проведения эксперимента в лаборатории "Гидравлики и инженерной гидрологии" СибАДИ. Вопрос применения геоматов для повышения устойчивости откосов земляного полотна от процессов водной эрозии мало изучен и требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: откосы земляного полотна, геосинтетические материалы, геоматы, коэффициент шероховатости, гидравлическое сопротивление.

Введение

Мероприятия по защите земляного полотна от размыва поверхностными водами назначают в том случае, когда скорость течения воды превышает допустимую по размыву:

$$V > V_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где V – фактическая скорость воды, м/с, $V_{\text{доп}}$ – допустимая скорость, м/с.

Средняя скорость при равномерном движении в открытых руслах определяется по формуле:

$$V = C \sqrt{Ri}, \quad (2)$$

где V – средняя скорость, м/с; R – гидравлический радиус, м; i – уклон дна русла, C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с.

Для снижения скорости потока и повышения противозерозионной устойчивости откосов земляного полотна последние годы

широко используют геосинтетические материалы [1], в частности, различные по виду, типу, плотности и прочности геоматы (рис. 1). Однако до настоящего времени нет общепринятой и достоверной методики

расчёта местной устойчивости откосов, защищённых геоматами. Нет и рекомендаций для выбора этих геосинтетических материалов (ГМ) в зависимости от условий их применения.

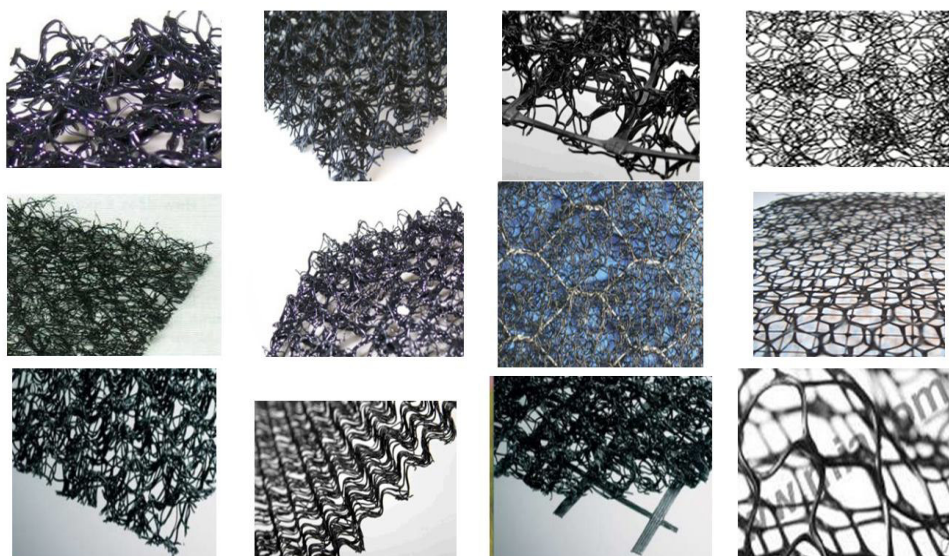


Рис. 1. Виды геосинтетических матов

На первом этапе исследований для решения гидравлических задач необходимо определить коэффициенты шероховатости этих материалов.

Определение коэффициента шероховатости геомата

Влияние шероховатости стенок потока на величину гидравлического сопротивления впервые получило количественную оценку в результате опытов Дарси 1849-1851 г. В последующие годы вместе со своим приемником П. Базеном они выполнили обширную серию экспериментов с открытыми потоками. Опыты велись в каналах и лабораторных лотках с различной формой поперечного сечения и материалом дна (цементобетон, дерево и т.д.). Термин «коэффициент шероховатости» в 1869 г впервые употребили французские ученые Е. Гангилье и В. Куттер [2].

Коэффициент шероховатости широко используется в гидравлических расчетах, значения которых представлены в таблицах [2, 3, 4]. При проектировании открытых каналов величину коэффициента шероховатости выбирают по таблицам, в зависимости от материала стенок и дна русла и условий его содержания. Фактически же величина этого коэффициента зависит от большого числа факторов (шероховатости поверхности, наличия растительности, руслоформирующих процессов: заиления и

размыва, препятствий, размеров и формы канала, глубины наполнения и расхода, взвешенных и донных насосов, сезонных изменений, связанных с ростом водной растительности). Учесть влияние всех этих факторов при современном уровне знаний о природе сопротивления движению воды в открытых руслах очень сложно. Поэтому таблицы содержат лишь описательные характеристики категорий русел и каналов. Они являются результатом обработки многочисленных опытных данных, полученных различными исследователями в разные годы в искусственных и естественных руслах в природе и в лаборатории [2, 3, 4, 5].

Более точное определение численного значения коэффициента представляет основную трудность, но очень важно для гидравлических расчётов, так как выбор этого коэффициента равносителен определению сопротивления движению воды.

При расчетах гидротехнических сооружений коэффициент Шези вычисляют по различным эмпирическим формулам с учетом коэффициента шероховатости.

Формула Гангилье – Куттера

$$C = \frac{23 + 1/n}{1 + 23 \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}}, \quad (3)$$

где C – коэффициент Шези, $m^{0.5}/c$; n – коэффициент шероховатости.

Из данной формулы находим коэффициенты шероховатости как значения корней квадратного уравнения:

$$n_{1/2} = \frac{\sqrt{R \cdot (23 - C)} \pm \sqrt{R \cdot (C - 23)^2 + 92 \cdot C \cdot \sqrt{R}}}{46 \cdot C}, \quad (4)$$

Входящий в эту формулу коэффициент шероховатости n не выражает ясную физическую величину, но будучи косвенным параметром, найденным по опытным значениям гидравлических элементов потока, описывает состояние поверхности в смысле ее гидравлической шероховатости.

Коэффициент Шези при равномерном движении в открытых руслах определяется по формуле Шези:

$$C = \frac{V}{\sqrt{Ri}}, \quad (5)$$

где V – средняя скорость, м/сек; R – гидравлический радиус, м; i – уклон дна русла; C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с.

В нашей стране широко применяют формулу академика Н. Н. Павловского, которая справедлива при $0,04 \geq n \geq 0,009$ и $0,10 \leq R \leq 3,0$ м

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (6)$$

где $y = f(n, R)$ – показатель степени, вычисляется по эмпирической формуле

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 0,75 (\sqrt{n} - 0,1) \sqrt{R}. \quad (7)$$

При $R < 1,00$ м $y = 1,5\sqrt{n}$ и при $R > 1,00$ м $y = 1,3\sqrt{n}$ формулу (3) алгебраически преобразуем к следующему виду

$$nC - R^{1,5n} = 0. \quad (8)$$

Полученное уравнение относительно n решается методом итераций с помощью встроенного в Microsoft Excel модуля «Подбор параметра».

Кроме вышеприведённых формул для определения коэффициента Шези используют формулу Р. Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}. \quad (9)$$

Из формулы (9) выражаем коэффициент шероховатости

$$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{C}. \quad (10)$$

Формула профессора И. И. Агроскина

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R. \quad (11)$$

Из формулы (11) выражаем коэффициент шероховатости

$$n = \frac{1}{C - 17,72 \cdot \lg R}. \quad (12)$$

Коэффициент шероховатости – это условный параметр, который можно вычислить из приведённых формул при заданных размерах и материале русла, заданных расходе воды Q и уклоне дна i . Какая из формул даёт наиболее достоверные результаты в исследуемом нами процессе можно установить только экспериментально.

Для определения коэффициента шероховатости русла с геоматами проводились эксперименты на установке, которая входит в систему обратного водоснабжения лаборатории "Гидравлики и инженерной гидрологии" СибАДИ, включающую приемный напорный резервуар, центробежный насос с системой трубопроводов и достаточно длинный лоток, чтобы в нем можно было получить участок с равномерным движением воды (рис. 2, таблица 1).



Рис. 2. Общий вид гидрологического лотка

Таблица 1 – Характеристики лотка

Отметка дна сечения, м начальном, ∇_1	конечном, ∇_2	Разность отметок, м $\nabla_1 - \nabla_2$	Длина лотка, м L	Ширина лотка, м b	Уклон дна лотка, i , ‰	Характеристика дна лотка
0,005	0,041	0,036	6,510	0,22	5	>0‰

Лоток оборудован в головной и сливной частях плоскими затворами для регулирования глубины потока и мерной иглой (для измерения отметок дна и свободной поверхности потока). На боковой грани расположен пьезометр с напорным резервуаром, соединенным трубопроводом, на котором имеется задвижка для регулирования расхода воды. Нижний бак снабжен иглой и треугольным водосливом-водомером. Регулирование расхода воды осуществляется при помощи задвижки на трубопроводе, соединяющем насос с напорным баком и накопителем. В конце лотка установлен мерный бак, объем которого с учетом толщины стенок $\approx 0,347 \text{ м}^3$.

Измерения отметок дна и свободной поверхности потока производили в трех сечениях при значениях напора воды $H = 122; 118; 112 \text{ мм}$. Дно лотка закрыто стальным

листом. Первые измерения по определению шероховатости выполнялись по стальной поверхности. При этом наблюдалась высокая скорость течения воды с формированием гребня.

Затем были произведены эксперименты с геоматами, которые укладывались на стальную поверхность лотка и фиксировались. В эксперименте использовались геомат МТ-Экстрamat и геокомпозит МТД-Экстрamat (Стеклонит) (рис. 3). При проведении эксперимента с геоматами наблюдалось выравнивание поверхности воды и снижение скорости течения (рис. 4).

Опытным путем по трем поверхностям рассчитываем значение коэффициентов шероховатости. Результаты расчетов представлены в таблице 2.



Рис. 3. Образцы геоматов: а) геомат МТ-Экстрamat, б) геомат МТД-Экстрamat

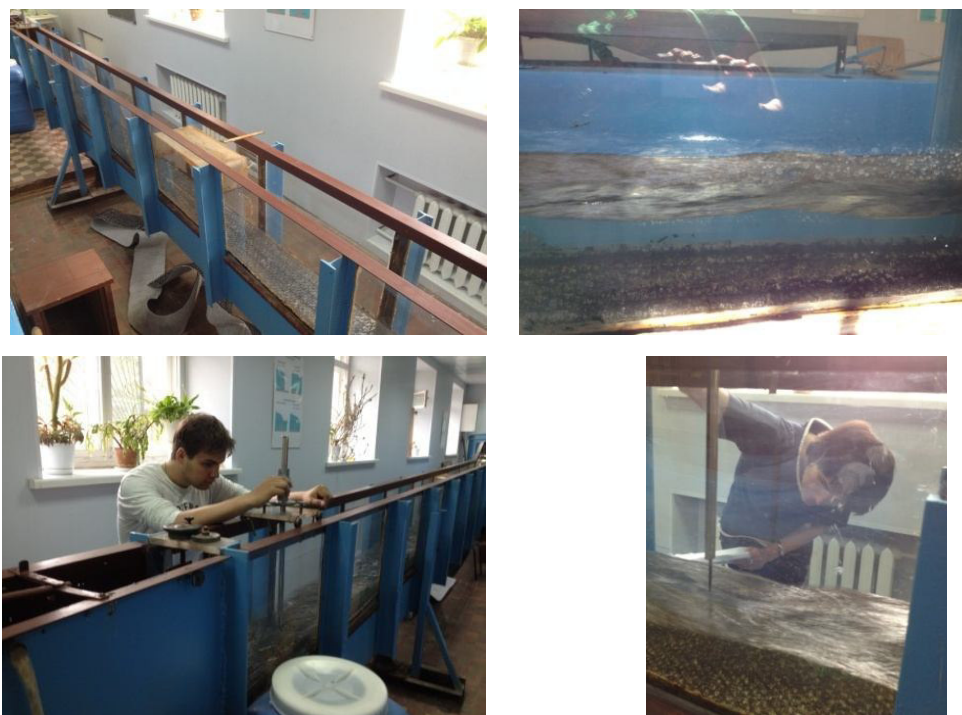


Рис. 4. Проведение опытных замеров

Таблица 2 – Результаты расчётов

Материал поверхности	Величина напора, H , мм	∇^3	∇	Коэффициент шероховатости, по формуле:				
				Маннинга	Агроскина	Павловского	Гангиле-Куттера	
							n_1	n_2
Сталь	$H = 122$	0,25	58,8	0,006	0,013	0,007	0,013	0,007
		0,44	65,9	0,007	0,015	0,008	0,014	0,007
		0,45	69,5	0,008	0,017	0,008	0,014	0,008
	$H = 118$	0,25	48	0,005	0,010	0,006	0,012	0,005
		0,44	44,9	0,004	0,009	0,005	0,012	0,005
		0,45	61,9	0,007	0,015	0,008	0,014	0,007
	$H = 112$	0,25	45,4	0,005	0,010	0,006	0,012	0,005
		0,44	43,9	0,004	0,009	0,005	0,011	0,005
		0,45	56,3	0,006	0,014	0,007	0,013	0,007
МТ-ЭКСТРАМАТ	$H = 122$	0,25	109,5	0,015	0,045	0,014	0,018	0,014
		0,44	125,5	0,018	0,062	0,016	0,019	0,016
		0,45	124,4	0,018	0,061	0,016	0,019	0,015
	$H = 118$	0,25	106	0,014	0,038	0,013	0,018	0,013
		0,44	117,9	0,016	0,048	0,015	0,018	0,014
		0,45	119,4	0,016	0,050	0,015	0,019	0,014
	$H = 112$	0,25	101,3	0,014	0,041	0,014	0,018	0,013
		0,44	113,5	0,016	0,053	0,015	0,019	0,015
		0,45	116,9	0,017	0,057	0,016	0,019	0,015
МТД - ЭКСТРАМАТ	$H = 122$	0,25	109,1	0,014	0,041	0,014	0,018	0,013
		0,44	109,9	0,014	0,041	0,014	0,018	0,013
		0,45	109,9	0,014	0,041	0,014	0,018	0,013
	$H = 118$	0,25	105,6	0,015	0,044	0,014	0,018	0,014
		0,44	105,7	0,015	0,045	0,014	0,018	0,014
		0,45	106,2	0,015	0,045	0,014	0,018	0,014
	$H = 112$	0,25	100	0,014	0,043	0,014	0,018	0,013
		0,44	122,7	0,019	0,072	0,017	0,019	0,016
		0,45	104	0,015	0,047	0,015	0,018	0,014

По полученным значениям (таблица 2) коэффициентов шероховатости материалов были построены графики для каждого из типов поверхности (рис. 5, 6, 7). По графиком видно, что расчеты коэффициентов шероховатости, полученные по формуле Агроскина (12), дает нестабильные значения

и сильно отличаются от значений, рассчитанных по другим формулам (4, 8, 10). Далее необходимо определить погрешность для каждого измерения и определить, какая из формул дает меньшие значения погрешности в зависимости от материала.

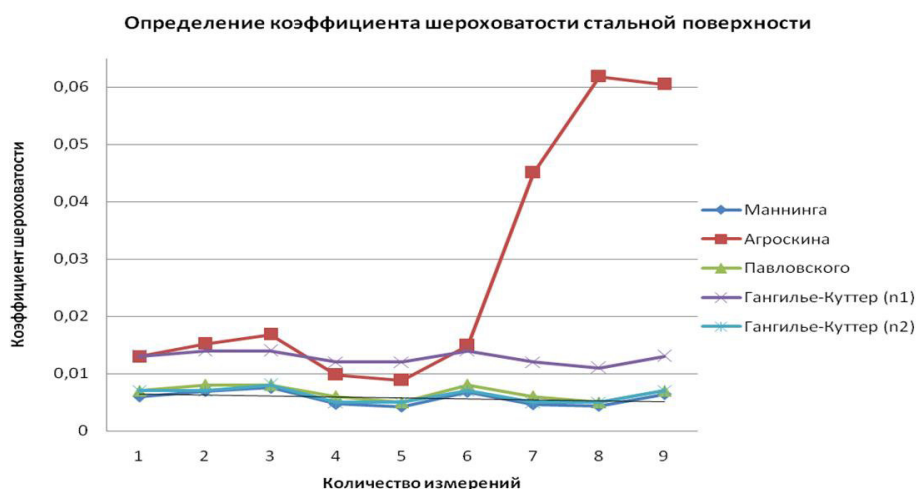


Рис. 5. Коэффициент шероховатости стальной поверхности

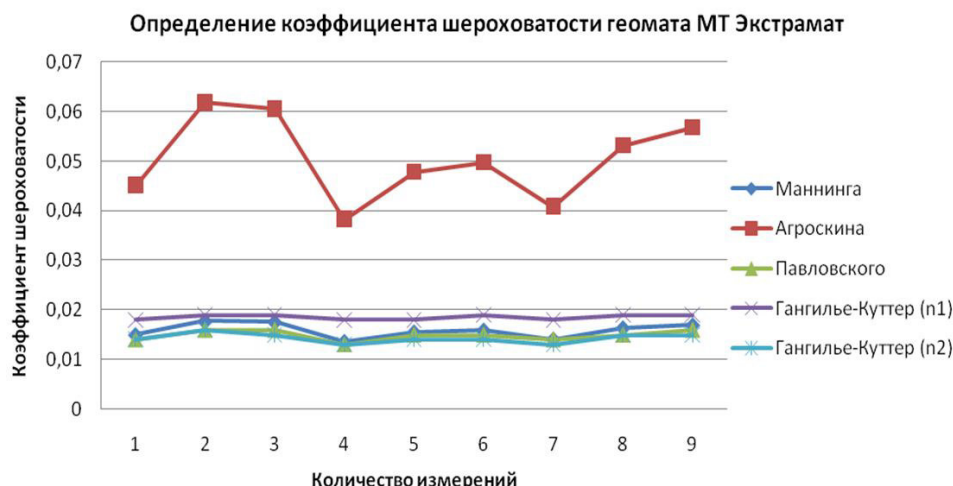


Рис. 6. Коэффициент шероховатости геомата МТ Экстрат

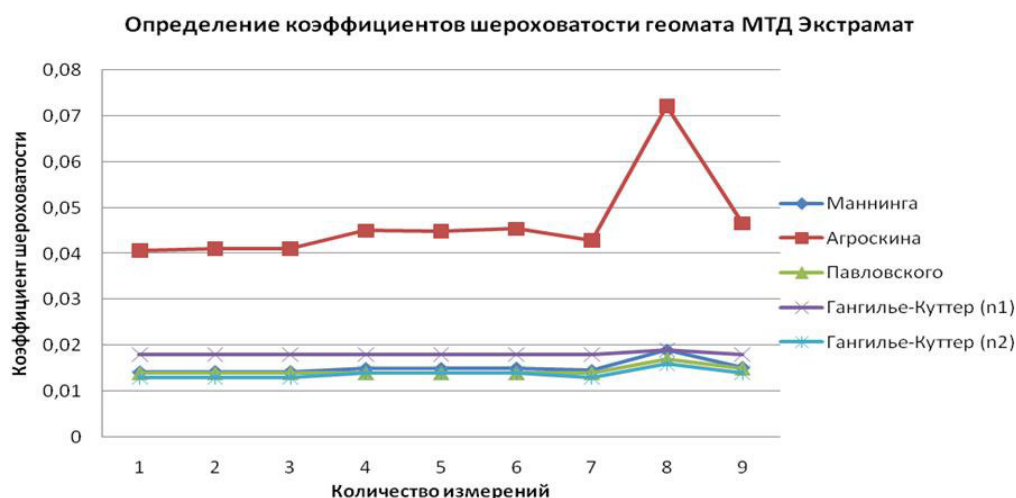


Рис. 7. Коэффициент шероховатости геомата МТД Экстрат

Заключение

Возникает необходимость проведения дальнейших экспериментов по определению коэффициентов шероховатости геоматов, отличающихся по виду, толщине и структуре.

Отсюда вытекают следующие задачи:

- 1) установление зависимости данного параметра от толщины геомата, его структуры (число филаментов на квадратный метр - длина синтетических корней) [6, 7, 8];
- 2) назначение опытным путем материала засыпки геомата в разных дорожно-климатических условиях;
- 3) определение возможного влияния укрепления откосов земляного полотна геоматами на уменьшение допустимых заложений откосов.

Библиографический список

1. Шнайдер, В. А. Новая классификация типов укрепления откосов земляного полотна / В. А. Шнайдер, В. В. Сиротюк. – Вестник СибАДИ. – 2011. – № 3 (21). – С. 24-28.
2. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – Кн.1,2. -351 с.
3. Гришанин, К. В. Гидравлическое сопротивление естественных русел / К. В. Гришанин. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, – 1992. – 431 с.
4. Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г. В. Железняков – Л.:1976. – 344 с.
5. Гладкий, Р. Н. Анализ методов расчета допускаемой скорости течения воды в грунтовых каналах / Р. Н. Гладкий, В. В. Сиротюк, Т. П. Троян // Межвузовский сборник трудов студентов,

аспирантов и молодых ученых / СибАДИ. – Омск, 2005. – С. 284-293.

6. Шнайдер, В. А. Применение геоматов для снижения процессов водной эрозии на откосах земляного полотна / В. А. Шнайдер, В. В. Юмашев // Материалы VII международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. – С. 21-27

7. CUR (Hrsg.) "Methode voor de periodieke sterktebeoordeling van dijken". Basisrapport, Bijlage H3, Gouda: CUR, 1-+991.

8. Müller-Rochholz. Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau. 2. Auflage. 2008 Wolters KluwerDeutschland GmbH, Köln.

DETERMINATION OF GEOMATS' ROUGHNESS COEFFICIENT

V. A. Shnaider, V. V. Sirotuk,
T. P. Troyan, E. Y. Mosur

Abstract. The purpose of the article is to determine the geomats' roughness coefficients applied to improve the stability of road bed embankments against washing away by surface waters. The authors describe the effect of roughness coefficients on the hydraulic resistance of water movement. The authors've analyzed design formulas on the bases of which the values of geomats' roughness coefficients have been experimentally gotten. There are described conditions of conducting experiment in the laboratory "Hydraulics and Engineering Hydrology" of SibADI. The issue of geomats' application to improve the stability of road bed embankments against water erosion processes is poorly studied and requires further research.

Keywords: road bed embankments, geosynthetic materials, geomats, roughness coefficient, hydraulic resistance.

References

1. Shnajder V. A., Sirotjuk V. V. Novaja klassifikacija tipov ukreplenija otkosov zemljanogo polotna [New classification of types of strengthening road bed embankments]. *Vestnik SibADI*, 2011, no 3 (21). pp. 24-28.

2. Chugaev R. R. *Gidravlika: uchebnik dlja vuzov* [Hydraulics: textbook for higher education institutions]. Moscow, Jenergoatomizdat, 1991. 351 p.

3. Grishanin K. V. *Gidravlichesкое soprotivlenie estestvennyh rusel* [Hydraulic resistance of natural channels]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992. 431 p.

4. Zheleznyakov G. V. *Propusknaja sposobnost' rusel kanalov i rek* [Carrying capacity of canals and rivers' channels]. Leningrad, 1976. 344 p.

5. Gladkiy R. N., Sirotuk V. V., Troyan T. P., Gladkiy R. N. Analiz metodov rascheta dopuskaemoj skorosti techenija vody v gruntovyh kanalah [The analysis of methods of calculating the permissible speed of water flow in soil channels]. *Mezhvuzovskij sbornik trudov studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*, SibADI. Omsk, 2005. pp. 284-293.

6. Shnaider V. A., Yumashev V. V. Primenenie geomatov dlja snizhenija processov vodnoj jerozii na otkosah zemljanogo polotna [Application of geomats for decreasing processes of water erosion on road bed embankments]. *Materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. Molodezh' i nauchno-tehnicheskij progress v dorozhnoj otrasli Juga Rossii*. Volgograd, VolgGASU, 2014. pp. 21-27

7. CUR (Hrsg.) "Methode voor de periodieke sterktebeoordeling van dijken". Basisrapport, Bijlage H3, Gouda: CUR, 1-+991.

8. Müller-Rochholz. Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau. 2. Auflage. 2008 Wolters KluwerDeutschland GmbH, Köln.

Шнайдер Виктория Александровна (Россия, г Омск) – аспирантка, старший преподаватель кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: wihor@mail.ru).

Сиротюк Виктор Владимирович (Россия, г Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (646800, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: sirotuk_vv@sibadi.org).

Троян Тамара Петровна Владимирович (Россия, г Омск) – доцент кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: tamara_troyan@mail.ru).

Мосур Евгений Юрьевич (Россия, г. Омск) – кандидат физ - мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф. М. Достоевского» (644080, г. Омск, пр. Мира, 55-а, e-mail: mosur@omsu.ru).

Shnaider Viktoria Alexandrowna (Russian Federation, Omsk) – graduate student, senior teacher of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mails: wihor@mail.ru).

Shnaider Viktoria Alexandrovna (Russian Federation, Omsk) – graduate student, senior lecturer of the department "Road engineering" of Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mails: wihor@mail.ru).

Sirotuk Victor Vladimirovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of the department "Road engineering" of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mail: sirotuk_vv@sibadi.org).

Troyan Tamara Petrovna (Russian Federation, Omsk) – associate professor of the department "Road engineering" of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (646800, Omsk, Mira Ave., 5 e-mails: tamara_troyan@mail.ru).

Mosur Evgeniy Yurievich (Russian Federation, Omsk) – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of Omsk state university named after F. M. Dostoevskiy" (644080, Omsk, Mira Ave., 55-a, e-mail: mosur@omsu.ru).