

УДК 626:691.175

С.А. Пиявский, М.В. Родионов, И.С. Холопов

ФГБОУ ВПО «СГАСУ»

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Приведены сведения об использовании геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве. Описана конструкция грунтовой плотины, использующая геосинтетические оболочки для крепления низового откоса. Приведены результаты расчетов устойчивости геосинтетических оболочек на низовом откосе плотины.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, грунтовые плотины, крепление низового откоса, геосинтетические оболочки, расчет устойчивости.

Геосинтетические оболочки — относительно новые для гидротехнического строительства конструктивные материалы. Опыт их применения в мировой практике не превышает нескольких десятков лет. В практике отечественного строительства данные конструктивные элементы получили распространение только в последнее десятилетие. Такие оболочки представляют собой некоторые емкости из синтетического материала, предусматривающие возможность заполнения их грунтом или каким-либо другим материалом. Для изготовления геосинтетических оболочек используют воздухо- и водопроницаемые высокопрочные тканые геотекстильные материалы. Заполнение оболочек, как правило, производится через впускные рукава земснарядов в виде пульпы, вода при этом отводится через водопроницаемую поверхность оболочки. Возможно заполнение оболочек грунтом механическим способом, например, с помощью экскаватора.

Следует отметить, что в отечественном гидротехническом строительстве распространение получили подобные геосинтетическим оболочкам конструкции, называемые мягкими оболочками. Основное отличие мягких оболочек в том, что при их производстве используются воздухо- и водонепроницаемые материалы [1, 5]: резинотканевые; пленочно-тканевые; пленочные. Заполнение мягких оболочек осуществляется водой или воздухом.

Исследованиям геосинтетических оболочек посвящены работы ученых В.В. Миронова, Д.В. Миронова, Д. Лехшински, Я. Соболевского, К. Пиларчук [3—6] и др.

В гидротехническом строительстве геосинтетические оболочки нашли свое применение при строительстве [5, 7]: берегоукрепительных сооружений (рис. 1, а, б); плотин, дамб и шпор (рис. 1, в, г); искусственных намывных сооружений и территорий (рис. 1, д, е).

Естественно, что конструктивные элементы из геосинтетических оболочек должны обеспечивать безопасную эксплуатацию гидротехнического объекта. Поэтому при проектировании сооружений с использованием геосинтетических оболочек обычно проводятся расчеты [7]:

устойчивости геосинтетических оболочек на сдвиг и опрокидывание, а также обрушения с частью откоса;

по допустимым размывам и осадкам грунтов основания геосинтетических оболочек; прочности геосинтетических оболочек;

по предотвращению выноса и обеспечению допустимых осадков грунта, заполняющего геосинтетические оболочки.

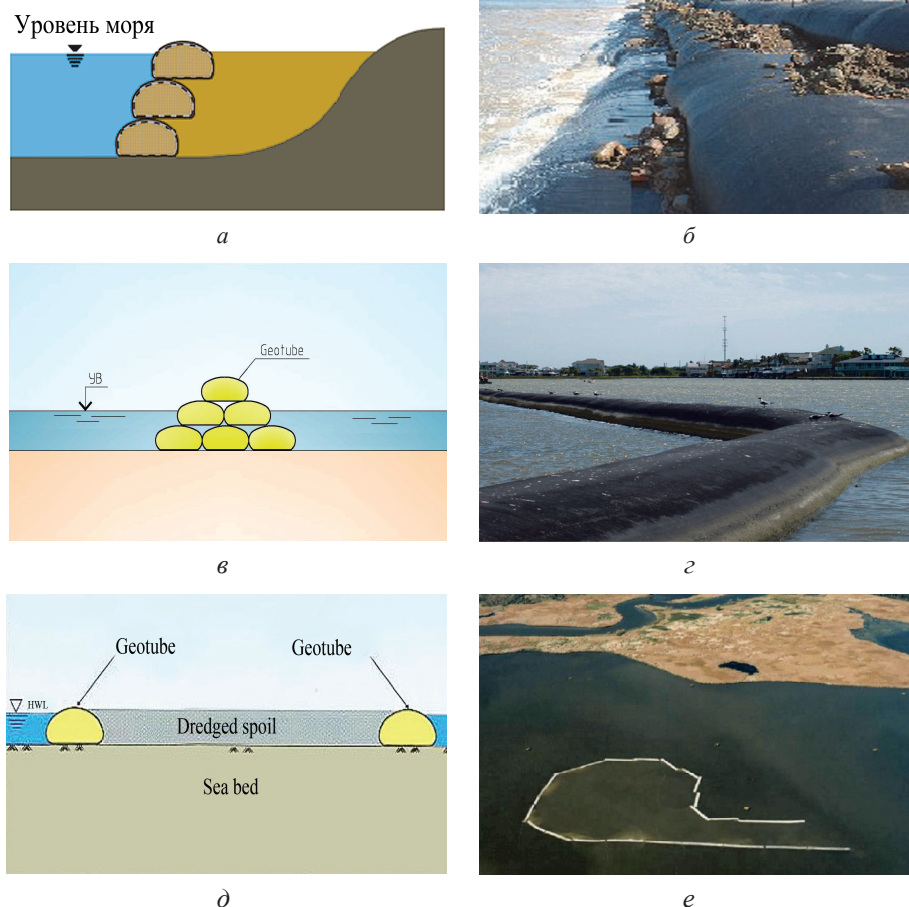


Рис. 1. Примеры применения геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве

Следует отметить, что в гидротехническом строительстве при заполнении геосинтетических оболочек [5] предпочтение отдается использованию пульпы на основе песчаных грунтов, причем, чем больше фракция песка, тем производительность заполнения оболочек выше, а цена конструкции ниже. Это связано с тем, что при использовании пульпы на основе глинистых и илистых грунтов, с целью интенсивной отдачи воды и предотвращения кальматирования материала геосинтетической оболочки в пульпу необходимо добавление флокулянтов. Это усложняет и удорожает работы.

Прочность геосинтетических оболочек во многом зависит от принимаемой поперечной формы оболочки. Поперечный вид геосинтетических оболочек имеет сложную криволинейную форму и зависит от типа заполнителя, от величины внутреннего избыточного давления, создаваемого оборудованием для заполнения оболочек, а также от внешних воздействий. На рис. 2 приведены схемы изменения формы поперечного сечения геосинтетической оболочки в зависимости от создаваемого избыточного давления при подаче в нее пульпы [7]. Приведенные схемы оболочек периметром 9 м составлены при свободном расположении их на поверхности земли и заполнении пульпой с удельным весом 14 кН/м^3 .

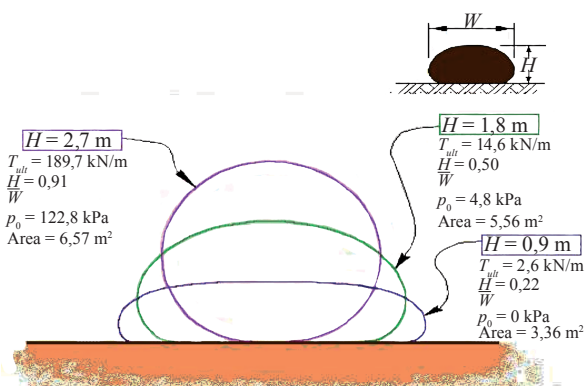


Рис. 2. Схемы изменения поперечного сечения геосинтетической оболочки: H — высота оболочки; W — ширина оболочки; T_{ult} — максимальные растягивающие усилия в материале оболочки; p_0 — создаваемое избыточное давление в оболочке

Благодаря малой толщине и большой гибкости геосинтетические оболочки рассматриваются как практически безмоментные и тонкие. Так, при действии на нее внешних нагрузок она изменяет геометрическую форму, принимая такие очертания, при которых изгибаемые и сдвигающие напряжения переходят в растягивающие.

Аналитический способ построения поперечного профиля геосинтетической оболочки с учетом высоты слоя намыва грунта, физических свойств пульпы и геосинтетического материала подробно приведен в [3].

Аналитические расчеты поперечного профиля геосинтетической оболочки и возникающих растягивающих усилий в материале геосинтетических оболочек весьма трудоемки. В современной практике гидротехнического строительства для решения указанных задач чаще используют различные программные комплексы, например, расчетную программу GeoCoPS 3.0, разработанную американской компанией ADAMA Engineering, Inc.

В настоящее время производители геосинтетических оболочек разработали конструкции, мало изменяющие свои прочностные свойства под воздействием солнечной радиации, однако в отдельных случаях для продления срока их службы целесообразно нанесение защитных покрытий. В качестве таких покрытий могут использоваться различные эмульсии на основе битума или резины, цементные растворы или другие покрывные материалы устойчивые к ультрафиолету (рис. 3) [7].

Защитные покрытия от солнечной радиации могут также выполнять функцию защиты от механических повреждений геосинтетических оболочек и предотвращения выноса частиц грунта заполнителя из них.

Согласно справочным данным заводов изготовителей, а также опыту применения в строительстве [5, 7] геосинтетические оболочки могут изготавливаться высотой от 0,3 до 4 м, периметром более 30 м и длиной более 100,0 м, при этом они обладают удобной формой поставки в виде рулонов и небольшим удельным весом (от 150 до 700 гр/м²).

Исходя из размеров геосинтетических оболочек, они могут укладываться в пределах всего сооружения в виде одной конструкции либо в виде конструкций, состоящих из нескольких оболочек по длине и высоте. Стыковка геосинтетических оболочек по длине может осуществляться внахлест или встык с помощью специальных монтажных элементов (рис. 4) [8].

Проведенный анализ свойств, параметров и технологии укладки геосинтетических оболочек, а также конструкций с их использованием позволяет говорить о них

как о весьма эффективных, надежных и экономически обоснованных технических решениях различных гидротехнических задач, особенно в области противоэрозионной защиты. В связи с этим область их применения в практике гидротехнического строительства, на наш взгляд, должна быть расширена, в том числе и за счет применения в конструкциях, где их использование в настоящий момент еще не апробировано.



Рис. 3. Защита геосинтетической оболочки от солнечной радиации путем: *а* — покрытия эмульсией; *б* — покрытия другим материалом

В частности, целесообразно использовать геосинтетические оболочки в качестве элементов крепления низового откоса грунтовых плотин.

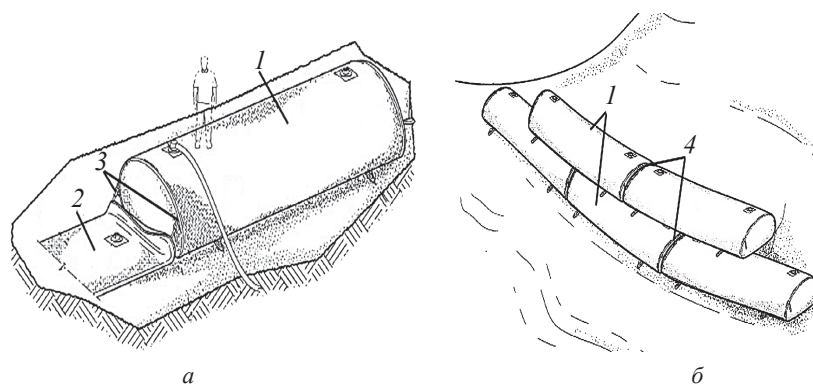


Рис. 4. Схема укладки геосинтетических оболочке встык по длине: *а* — на момент заполнения; *б* — после заполнения; 1 — заполненная оболочка; 2 — незаполненная оболочка; 3 — монтажные элементы; 4 — стыки оболочек

Конструкция грунтовой плотины с использованием геосинтетических оболочек в качестве элементов крепления низового откоса разработана на кафедре природоохранного и гидротехнического строительства Самарского государственного архитектурно-строительного университета [9]. Такая грунтовая плотина способна допускать перелив водного потока по закрепленному низовому откосу на период пропуска паводка. Предложенная конструкция грунтового сооружения позволит сократить материалоемкость крепления откоса по сравнению с другими материалами, например, камнем или железобетоном, уменьшить трудоемкость и стоимость работ из-за применения относительно недорогих геосинтетических оболочек и местных строительных материалов для их заполнения, а также использования высокопроизводительного оборудования (например, земснаряда). Кроме того, конструктивное решение обеспечит выполнение требований по скорости и легкости устройства элементов крепления откоса, технологичности их демонтажа в случае проведения ремонта.

Наиболее важным вопросом использования геосинтетических оболочек в разработанном конструктивном решении является обеспечение устойчивости геосинтетических оболочек против сдвига и опрокидывания в пределах низового откоса.

С целью проверки обеспечения устойчивости геосинтетических оболочек в пределах низового откоса плотины выполнены расчеты низконапорного сооружения со следующими параметрами: ширина плотины по гребню — 5,0 м, высота плотины — $H_{пл} = 10,0$ м, заложение верхового откоса — 3; высота геосинтетических оболочек — 1,0 м. Рассмотрены конструкции плотины при трех вариантах заложения низового откоса: а) $m_2 = 1$; б) $m_2 = 2$; в) $m_2 = 3$.

В общем случае, условие устойчивости геосинтетической оболочки на сдвиг имеет вид

$$\gamma_{tc} F \leq \frac{\gamma_{cd}}{\gamma_n} R, \tag{1}$$

а на опрокидывание

$$\gamma_{tc} M_{on} \leq \frac{\gamma_{cd}}{\gamma_n} M_{уд}, \tag{2}$$

где γ_{tc} — коэффициент сочетания нагрузок и воздействий; F — расчетное значение сдвигающей силы; R — расчетное значение удерживающих сил; γ_{cd} — коэффициент условий работы; γ_n — коэффициент надежности; M_{on} — момент опрокидывающих сил; $M_{уд}$ — момент удерживающих сил.

Следует отметить, что воздействием сбрасываемого потока воды при расчетах устойчивости геосинтетических оболочек в пределах низового откоса можно пренебречь в запас устойчивости, так как исследования, проведенные авторами [10] для ступенчатых водосбросов, показали, что возникающая за счет искривления придонной струи центробежная сила сверху пригружает элементы крепления, т.е. действует как противодействие. Для упрощения расчетов устойчивости геосинтетических оболочек многие авторы [6, 11] их криволинейную форму приводят к прямоугольной. Устойчивость геосинтетических оболочек, расположенных у подошвы плотины, необходимо проверять минимум для двух расчетных случаев: при отсутствии воды в нижнем бьефе (период строительства) и при ее наличии (период эксплуатации).

Расчетная схема устойчивости геосинтетической оболочки, расположенной у подошвы плотины, приведена на рис. 5.

Результаты расчетов показали следующее:

при заложении низового откоса плотины $m = 3$ устойчивость геосинтетических оболочек с поперечным профилем, полученным согласно разработанному конструктивному решению (рис. 5), обеспечивается в пределах всего низового откоса;

при заложении низового откоса $m = 1$ и $m = 2$ обеспечивается устойчивость не всех геосинтетических оболочек в пределах низового откоса, для повышения их устойчивости рассматривалась анкеровка оболочек армирующими высокопрочными георешетками. Требуемая длина анкера из георешеток и его прочность с учетом срока эксплуатации сооружения рассчитаны и приведены в табл.

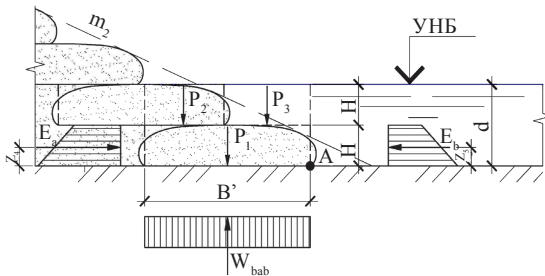


Рис. 5. Расчетная схема устойчивости геосинтетической оболочки, уложенной у подошвы плотины

Расчет устойчивости геосинтетических оболочек в пределах низового откоса грунтовой плотины

№ оболочки	F , кН	R , кН	$M_{оп}$, кН·м	$M_{уд}$, кН·м	L , м	T , кН/м
При $m = 1$						
Расчетный случай № 1 ($d = 0$)						
1	51,3	28,9	25,5	59,9	1,7	69,3
2	45,9	28,9	22,5	59,9	1,5	54,3
3	40,5	28,9	19,9	59,9	1,3	39,4
4	35,1	28,9	17,2	59,9	1,0	24,4
5	29,7	28,9	14,6	59,9	0,6	9,5
6	24,3	28,9	11,9	59,9	—	—
Расчетный случай № 2 ($d = 2,0$)						
1	31,3	14,65	61,2	65,8	1,4	49,8
2	40,9	19,4	40,5	61,9	1,6	64,4
При $m = 2$						
Расчетный случай № 1 ($d = 0$)						
1	51,3	56,6	25,1	217,8	—	—
Расчетный случай № 2 ($d = 2,0$)						
1	31,3	27,3	177,2	266,6	0,8	17,9
2	40,9	37,1	98,5	241,6	0,9	20,0

Примечание. Нумерация оболочек идет от подошвы плотины к гребню; d — глубина воды в нижнем бьефе; R — сумма удерживающих сил, с учетом коэффициента надежности γ_n ; L — длина анкера; T — прочность анкера.

Следует отметить дополнительное преимущество применения геосинтетических оболочек для крепления низового откоса — возможность непосредственного совмещения их анкеровки в тело грунтовой плотины с армированием низового откоса высокопрочными георешетками. Это позволит выполнить грунтовую плотину с более обжатым поперечным профилем, т.е. с меньшим заложением откоса, что, в свою очередь, обеспечит снижение объема работ и стоимости возведения плотины.

Таким образом, можно сделать заключение о перспективности предложенной конструкции грунтовой плотины с применением геосинтетических оболочек при решении вопросов повышения технологичности возведения и проведения ремонта грунтовых низконапорных водоподпорных гидротехнических сооружений.

Выводы. 1. Рассмотрены примеры эффективного использования современных материалов из геосинтетики в сочетании с местными строительными материалами в качестве конструктивных элементов гидротехнических сооружений. В результате их анализа показана перспективность и целесообразность применения геосинтетических оболочек при возведении и ремонте низконапорных грунтовых плотин.

2. Разработана новая конструкция грунтовой плотины с использованием геосинтетических оболочек в качестве конструктивных элементов крепления гребня и низового откоса. Плотина допускает перелив потока воды в период прохождения паводка. Преимуществами разработанной конструкции плотины являются: уменьшение материалоемкости, трудоемкости и стоимости работ по креплению откоса из-за возможности применения местных строительных материалов для заполнения оболочек, быстрота и легкость укладки элементов крепления откоса, технологичность демонтажа в случае проведения ремонта.

3. Выполнены расчеты устойчивости геосинтетических оболочек, размещенных на низовом откосе грунтовой плотины. Показана перспективность устройства низового откоса с меньшим его заложением в сочетании с анкерровкой, выполняемой совместно с армированием низового клина плотины высокопрочными георешетками.

Библиографический список

1. *Затворницкий О.Г.* Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве. М. : Энергия, 1975. 143 с
2. *Сергеев Б.И., Степанов П.М., Шумаков Б.Б.* Мягкие конструкции в гидротехническом строительстве. М. : Колос, 1984. 101 с.
3. Использование мягких геосинтетических оболочечных конструкций в строительстве / В.В. Миронов, Д.В. Миронов, В.М. Чикишев, А.Ф. Шаповало. М. : Изд-во АСВ, 2005. 64 с.
4. *Leshchinsky D., Leshchinsky O., Gilbert A.* Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: some design // *Journal of geotechnical engineering* . 1996 . august. P. 682—690.
5. *Sobolewski J., Wilke M.* Georury wypelnione piaskiem w budownictwie wodnym i morskim Wymiarowanie i praktyczne przykłady zastosowań // *Inżynieria morska i geotechnika*. 2011. № 1. P. 34—43.
6. *Pilarczyk K.* Alternatives for coastal protection // *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. 2008. № 23. November. P. 181—188.
7. *Zengerink E.* TenCate Geosystems in Marine [Electronic resources] // *International Geosynthetics Society (UK Chapter)*. Режим доступа: http://www.geolsoc.org.uk/webdav/site/GSL/shared/pdfs/misc/TenCate_IGS_meeting_UK.pdf. Дата обращения: 20.03.12.
8. Patent US 2009/0208288 A1, Int. Cl. E02B 11/00. Geotextile tube with flat ends / T.C. Stephens, B.Z. Dymond, R.H. Plaut. Appl. № 12/370.233; publ. date. aug. 20, 2009. 8 p.
9. Патент РФ 2432432, МПК E02B7/06. Переливная грунтовая плотина / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов. Заявка № 2010126843; опубли. 2011, Бюл. № 30. 8 с.
10. *Крестяников А.М., Правдивец Ю.П.* Облегченные паводковые водосбросы грунтов плотин // *Гидротехника и мелиорация*. 1978. № 4. С. 44—50.
11. *Cantré S.* Geotextile tubes—analytical design aspects // *Department of Landscape Construction and Waste Management, University of Rostock, Justus—von—Liebig—Weg 6, 18059 Rostock: Germany*, 2001. P. 305—319.

Поступила в редакцию в мае 2012 г.

Об авторах: **Пиявский Семен Авраамович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и вычислительной техники, **ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО «СГАСУ»)**, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, 8 (846) 242-17-84, sgasu@sgasu.smr.ru;

Родионов Максим Владимирович — ассистент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства, **ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО «СГАСУ»)**, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, 8 (846) 242-17-84, rodionov_max@mail.ru;

Холопов Игорь Серафимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций, **ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО «СГАСУ»)**, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, 8 (846) 242-17-84, sgasu@sgasu.smr.ru.

Для цитирования: *Пиявский С.А., Родионов М.В., Холопов И.С.* Применение геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве // *Вестник МГСУ*. 2012. № 6. С. 54—61.

S.A. Piyavskiy, M.V. Rodionov, I.S. Kholopov

USE OF GEOSYNTHETIC CASINGS IN HYDRAULIC ENGINEERING

The article covers the use of geosynthetic casings in hydraulic engineering. The authors describe the structure of earth dams that have geosynthetic casings used as the reinforcement of downstream slopes. Results of stability calculations are provided.

The authors consider several examples of effective application of advanced geosynthetic materials used in combination with local building materials as structural elements of hydraulic engineering facilities. Their analysis has demonstrated a strong potential and expediency of application of geosynthetic casings in the course of construction and renovation of low-pressure earth dams.

The authors have also developed a new structure of an earth dam. The new earth dam has geosynthetic casings used as structural reinforcing elements of the crown and the downstream

slope. The dam structure contemplates the overflow of high water. The structural strengths of the proposed solution include a smaller material consumption rate, lower labour intensiveness and cost of the slope reinforcement due to the application of local building materials used to fill the casings, fast and easy depositing of slope reinforcing elements, and high workability of its dismantling for repair purposes.

The authors have also completed the analysis of stability of geosynthetic casings of downstream slopes of an earth dam. The analysis has proven high efficiency of a small slope ratio in combination with its anchorage and reinforcement of the downstream toe with the help of high-strength geogrids.

Key words: hydraulic engineering structures, earth dams, reinforcement of downstream slope, geosynthetic casing, stability calculations.

References

1. Zatornitskiy O.G. *Konstruktsii iz myagkikh obolochek v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Structures Made of Soft Casings in Hydraulic Engineering]. Moscow, Energiya Publ., 1975, 143 p.
2. Krest'yaninov A.M., Pravdivets Yu.P. *Oblegchennyye pavodkovyye vodosbrosy gruntov plotin* [Lightweight High Water Collectors of Earth Dams]. *Gidrotekhnika i melioratsiya*, 1978, no. 4, pp. 44—50.
3. Mironov V.V., Mironov D.V., Chikishev V.M., Shapovalov A.F. *Ispol'zovanie myagkikh geosinteticheskikh obolochek v stroitel'stve* [Use of Soft Geosynthetic Casing Structures in Construction]. Moscow, ASV Publ., 2005, 64 p.
4. Balzannikov M.I., Rodionov M.V. Patent RF 2432432, MPK E02B7/06. *Perelivnaya gruntovaya plotina* [Overflow Earth Dam]. Application no. 2010126843; Bulletin no. 30, 8 p.
5. Sergeev B.I., Stepanov P.M., Shumakov B.B. *Myagkie konstruktsii v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Soft Structures in Hydraulic Engineering]. Moscow, Kolos Publ., 1984, 101 p.
6. Cante S. Geotextile tubes—analytical design aspects. Department of Landscape Construction and Waste Management, University of Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059. Rostock., Germany, 2001, pp. 305—319.
7. Leshchinsky D., Leshchinsky O., Gilbert A. Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry: Some Design. *Journal of Geotechnical Engineering*. 1996, August, pp. 682—690.
8. Stephens T.C., Dymond B.Z., Plaut R.H. Patent US 2009/0208288 A1, Int. Cl. E02B 11/00. *Geotextile Tube with Flat Ends*. Appl. No. 12/370.233; publ. date. Aug. 20, 2009, 8 p.
9. Sobolewski J., Wilke M. Georury wypełnione piaskiem w budownictwie wodnym i morskim. *Wymiarowanie i praktyczne przykłady zastosowań. Inżynieria morska i geotechnika*, 2011, no. 1, pp. 34—43.
10. Pilarczyk K. Alternatives for Coastal Protection. *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2008, no. 23, November, pp. 181—188.
11. Zengerink E. TenCate Geosystems in Marine International Geosynthetics Society (UK Chapter). Available at: http://www.geolsoc.org.uk/webdav/site/GSL/shared/pdfs/misc/TenCate_IGS_meeting_UK.pdf. Date of access: 20.03.12.

About the authors: **Piyavskiy Semen Avraamovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Applied Mathematics and Computer Science, **Samara State University of Architecture and Civil Engineering (SGASU)**, 194 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443001, Russian Federation; sgasu@sgasu.smr.ru; +7 (846) 242-17-84.

Rodionov Maksim Vladimirovich — Assistant Lecturer, Department of Environmental and Hydraulic Engineering, **Samara State University of Architecture and Civil Engineering (SGASU)**, 194 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443001, Russian Federation, rodionov_max@mail.ru; +7 (846) 242-17-84.

Kholopov Igor' Serafimovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Metal and Timber Structures, **Samara State University of Architecture and Civil Engineering (SGASU)**, 194 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443001, Russian Federation, sgasu@sgasu.smr.ru; +7 (846) 242-17-84.

For citation: Piyavskiy S.A., Rodionov M.V., Kholopov I.S. *Primenenie geosinteticheskikh obolochek v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Use of Geosynthetic Casings in Hydraulic Engineering]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 6, pp. 54—61.