

А. А. МИХАСЕК
М. В. РОДИОНОВ
С. К. ГОРБУНОВ

ВЛИЯНИЕ ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВА

INFLUENCE OF THE TYPE OF FASTENING OF THE SLOPE OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES ON THE REDUCTION OF THE COST OF THEIR CONSTRUCTION

В области крепления откосов гидротехнических сооружений в условиях волновых воздействий мировая строительная отрасль накопила значительный опыт. В статье рассмотрено четыре типа плит крепления откосов: железобетонные плиты, габионы, бетононаполняемые маты и предлагаемые авторами решения из крупнопористого бетона на щебне и переработанном бое бетона. Статья посвящена технико-экономическому обоснованию наиболее распространённых типов крепления откосов гидротехнических сооружений. При выполнении обоснования учитывались следующие характеристики крепления: толщина крепления из условия обеспечения их устойчивости, границ крепления, затраты ресурсов на устройство одного квадратного метра крепления. Наиболее значимыми результатами исследования является получение технико-экономических показателей нового типа плит крепления и их сравнение с другими вариантами.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, крепление откоса, крупнопористый бетон, битум

In the field of fixing the slopes of hydraulic structures in the conditions of wave impacts, the world construction industry has accumulated considerable experience. The article considers four types of slope mounting plates: reinforced concrete slabs, gabions, concrete-filled mats and fasteners made of coarse-pored concrete (crushed stone and recycled broken concrete). The article is devoted to the feasibility study of the most common types of fastening of slopes of hydraulic structures. When performing the justification, the following fastening characteristics were taken into account: the thickness of the fastening from the condition of ensuring their stability, the boundaries of the fastening, the cost of resources for the device of one square meter of fastening. The most significant results of the study are the obtaining of technical and economic indicators of a new type of fastening plates and their comparison with other options.

Keywords: hydrotechnical construction, fixing the slope, coarse-pored concrete, bitumen

Отечественная и зарубежная строительные отрасли накопили значительный опыт в области крепления откосов гидротехнических сооружений в условиях волновых воздействий [1, 2]. Современные типы креплений откосов гидротехнических сооружений могут изготавливаться как серийно, так и на строительной площадке. Наиболее распространёнными типами креплений являются железобетонные плиты, габионные конструкции, а в последние десять лет широкое распространение получили бетононаполняемые маты типа Incomat Flex (рис. 1).

На основе анализа современных решений предложена новая конструкция крепления [3] – плита из крупнопористого бетона (КПБ), проливаемая битумом (рис. 1 и 2).

Любой вид строительства, в том числе и гидротехническое, ограничен финансовыми и временными ресурсами. В связи с этим выбор надёжной, но в то же время экономичной

конструкции крепления является актуальной задачей. Настоящая работа посвящена оценке влияния различных типов крепления откоса гидротехнических сооружений на стоимость их строительства. При выполнении технико-экономического обоснования предложено учитывать не только удельные показатели стоимости строительства, но и влияние изменений границ крепления откоса.

Работа выполнена на основании как теоретических методов исследования с использованием эмпирических данных [4–6], так и с учетом экспериментальных данных, полученных авторами в лаборатории кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарского государственного технического университета [7].

В основе экономического сравнения типов креплений грунтовых откосов лежит критерий обеспечения минимума затрат на возведение сооружения:

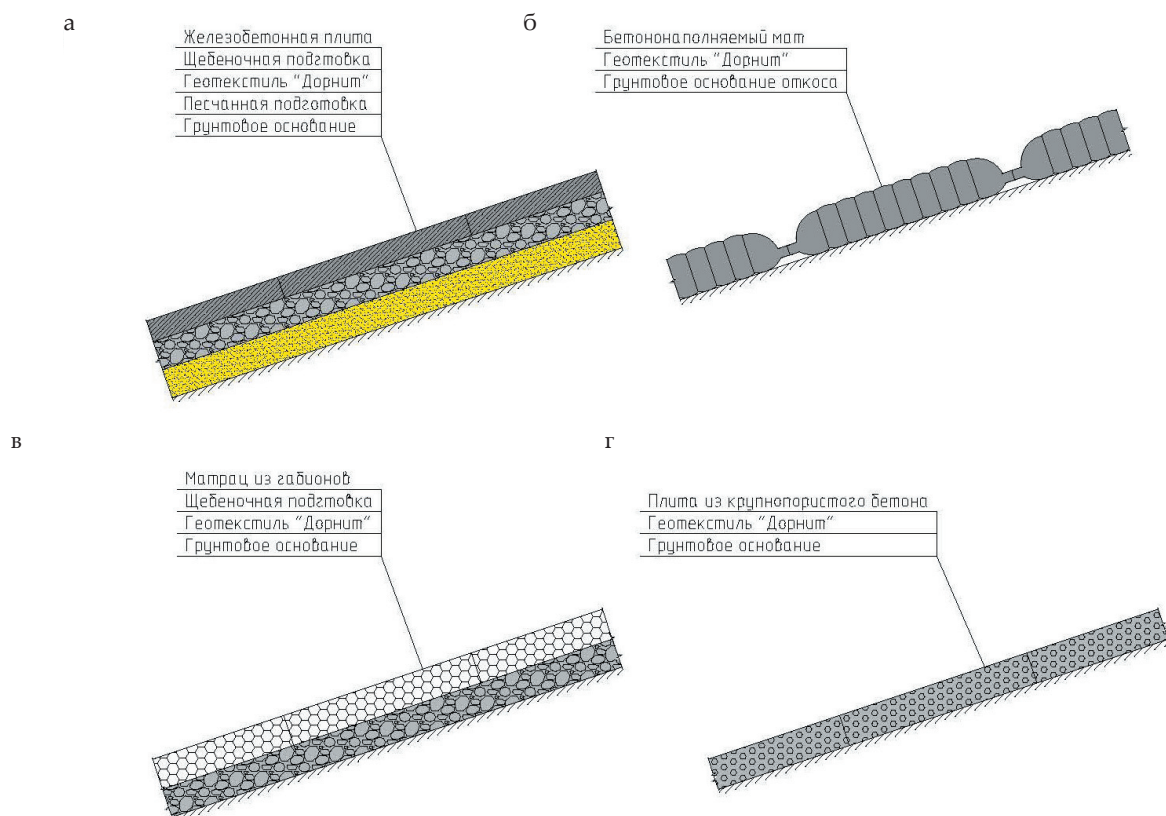


Рис. 1. Схемы конструктивных решений крепления откоса, принятых к рассмотрению:
а – плита из железобетона; б – бетононаполняемый мат типа Incomat Flex;
в – матрац габионной системы; г – плита из крупнопористого бетона

$$\Xi_{\phi} = 3 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Ξ – затраты на устройство крепления, которые в свою очередь определяются следующим образом:

$$\Xi = \Xi_v + \Xi_m, \quad (2)$$

где Ξ_v – затраты от объемов выполняемых работ, руб.;

Ξ_m – затраты на строительные материалы, руб.



Рис. 2. Экспериментальный образец плиты из крупнопористого бетона, пролитого битумом

На величину затрат в первую очередь значительно влияют границы крепления. Так, изменение типа крепления влияет в основном на отметку верха крепления, потому что отметка низа от него не зависит. Согласно СП 38.13330.2018 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)», данная отметка определяется суммой значений максимального уровня воды и превышения (возвышения) над ним, исключаящих перелив через верх крепления. Превышение верха крепления определяется суммой значений ветрового нагона, высоты наката волн на откос и конструктивного запаса.

Проанализировав расчеты, выполненные авторами по объектам берегоукрепления, установлено, что наиболее значимым параметром является высота наката волн на откос, которая определяется по СП 38.13330.2018:

$$h_{\text{run}} = k_r \times k_p \times k_{sp} \times k_{\text{run}} \times k_i \times k_{\alpha} \times h_{1\%}. \quad (3)$$

Ключевыми параметрами в данном расчете, помимо высоты волны, являются коэффициенты шероховатости k_r и проницаемости

k_r крепления откоса. Необходимо обратить внимание, что коэффициенты шероховатости и проницаемости зависят от типа крепления и определяются в зависимости от значений относительной шероховатости поверхности крепления. В свою очередь относительная шероховатость поверхности принимается в соответствии со значением отношения характерного размера шероховатости крепления к высоте волны 1 %-й обеспеченности (СП 38.13330.2018).

Кроме того, затраты определяются толщиной крепления, которая зависит от выбранного типа крепления. Для определения толщины железобетонных плит и крупнопористого бетона использовалась формула СН 288-64 (СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов» ROCK fill dams. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*), для габионных конструкций – рекомендации ВСН-АПК 2.30.05.001-2003 [8], а бетононаполняемых матов типа Incomat Flex согласно [9].

На основании анализа теоретической части было выявлено, что затраты на материалы и виды работ зависят, с одной стороны, от геометрических параметров крепления, а с другой – от типа материала крепления, его объема и технологии укладки.

Для сравнения типов креплений в качестве натурного объекта был выбран напорный откос грунтовой плотины Кутулукского водохранилища Богатовского района Самарской области [10]. Данный объект уже рассматривался ранее [7] для обоснования крепления с использованием бетононаполняемых матов, где была предложена методика исследования влияния геометрической формы бетононаполняемых матов типа Incomat Flex на коэффициент шероховатости k_r . Проведенные

аналогичные исследования по определению величины k_r для крупнопористого бетона на заполнителе фр. 5-20 мм показали, что он составляет 0,73.

Кутулукское водохранилище имеет следующие параметры: ФПУ – 68,77 мБС, НПУ – 67,50 мБС; глубина воды – 15,3 м; скорость ветра – 20 м/с; длина разгона – 8270 м; угол между продольной осью водоема и направлением ветра – 85°; заложение откоса – 1:2,5 (22°); длина волны – 12,7 м.

В результате расчета отметки верха крепления по методикам, изложенным в СП 38.13330.2018 и СП 39.13330.2012, для разных видов крепления откоса были получены следующие значения:

- железобетонные плиты – 70,200 мБС;
- бетононаполняемые маты – 69,95 мБС;
- плиты из крупнопористого бетона и габионные конструкции – 68,70 мБС.

В соответствии с методиками, изложенными в теоретической части работы, были определены толщины крепления при высоте волны 1,05 м:

- железобетонные плиты – 0,17 м;
- крупнопористый бетон – 0,32 м;
- бетононаполняемые маты – 0,17 м;
- габионные крепления – 0,17 м.

Результаты определения объемов работ и расчет их стоимостей [11-16] для рассматриваемых типов креплений произведены на один квадратный метр и представлены в табл. 1–4.

Таким образом, при средней высоте рассматриваемой плотины в 9,0 м [10] снижение стоимости крепления в сравнении с железобетонными плитами для бетононаполняемых матов с учетом длины крепления составит 0,37 %, по объему грунта – 11,1 %, для плит крепления из крупнопористого бетона и габионных конструкций значения равны и соответствуют 16,6 и 27,44 %.

Таблица 1

Затраты на устройство крепления из железобетона (в ценах 2001 г.)

Материал	Обоснование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.	
				материалов	работ
Геотекстиль	[16] 27-04-016-05	м ²	1	12.48	1.47
Щебень	[16] 42-01-001-01	м ³	0.15	0.07	0.52
Бетон	[16] 06-01-001-01, калькуляция	м ³	0.17	124.61	99.59
Арматура	[16] 37-01-030-02	т	0.007	40.28	2.30
Опалубка	[16] 37-01-022-03	м ²	0.034	34.35	30.99
Устройство деформационных швов	[16] 42-01-015-03	п.м	1	49.49	61.10
Транспортные расходы					261.29
Итого				718.57	

Таблица 2

Затраты на устройство крепления с применением бетононаполняемых матов (в ценах 2001 г.)

Материал	Обоснование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.	
				материалов	работ
Геотекстиль	[16] 27-04-016-05	м ²	1	12.48	1.47
Бетон	[16] 06-01-001-01, калькуляция	м ³	0.17	130.84	99.59
Бетононаполняемый мат	Прайс	м ²	1.15	162.95	1.7
Транспортные расходы					306.27
Итого				715.30	

Таблица 3

Затраты на устройство крепления с применением габионных конструкций (в ценах 2001 г.)

Материал	Обоснование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.	
				материалов	работ
Геотекстиль	[16] 27-04-016-05	м ²	1	12.48	1.47
Щебень	[16] 42-01-001-01	м ³	0.1	0.05	0.35
Устройство габионов	[16] 30-08-048-01	м ²	1	266.53	168.69
Транспортные расходы					279.06
Итого				728.63	

Таблица 4

Затраты на устройство крепления из крупнопористого бетона (в ценах 2001 г.)

Материал	Обоснование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.	
				материалов	работ
Геотекстиль	[16] 27-04-016-05	м ²	1	12.48	1.47
Бетон	[16] 06-01-001-01, калькуляция	м ³	0.32	199.39	123.20
Бетон из отходов	[16] 06-01-001-01, калькуляция	м ³	0.32	74.14	123.20
Укладка битума	[16] 27-06-026-01	кг	82.56	122.58	3.13
Опалубка	[16] 37-01-022-03	м ²	0.064	64.67	58.34
Транспортные расходы					260
Итого КРБ без битума				896.17	
Итого КРБ с битумом				957.95	
Итого КРБ из отходов с битумом				707.45	

Выводы. 1. Выбор надежной, но в то же время экономичной конструкции крепления является актуальной задачей. В настоящее время этим требованиям соответствуют следующие строительные системы: железобетонные плиты, габионные конструкции, а в последние десять лет широкое распространение получили бетононаполняемые маты типа Incomat Flex.

2. В качестве конкурентоспособного варианта предложена конструкция с использованием плит из крупнопористого бетона.

3. Толщины крепления зависят от типа материала крепления и при высоте волны 1,05 м могут быть рекомендованы в пределах: для же-

лезобетонных плит – 0,17 м, крупнопористого бетона – 0,32 м, бетононаполняемых матов – 0,17 м; габионных креплений – 0,17 м.

4. Затраты на материалы и виды работ зависят, с одной стороны, от геометрических параметров крепления, а с другой – типа материала крепления, его объема и технологии укладки.

5. Для бетононаполняемых матов экономия по длине крепления по сравнению с гладкими бетонными плитами составит 0,37 %, по объему грунта – 11,1 %, для плит крепления из крупнопористого бетона или габионных конструкций значения равны и соответствуют 16,6 и 27,44 %.

6. По затратам на материалы стоимость крепления из крупнопористого бетона, выполненного из отходов, является наименее затратной – 707,45 руб. на 1 м² в ценах 2001 г. Использование бетононаполняемых матов обладает существенным преимуществом, а именно такая технология предусматривает их укладку непосредственно в воду, что при сравнении вариантов не учитывалось.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шайтан В. С. Рекомендации по проектированию железобетонных и каменнотросных креплений откосов земляных сооружений и берегов внутренних водоемов. М.: ВНИИ «ВОДГЕО», 1979. 184 с.
2. Engineering in the Water Environment Good Practice Guide. Bank Protection: Rivers and Lochs [Electronic resource]. – URL: https://www.sepa.org.uk/media/150971/wat_sg_23.pdf (date of treatment: 03.12.2021).
3. Andrey Mikhasek, Boris Ivanov. Modified composite material developed on the basis of no-fines asphalt concrete // MATEC Web of Conferences. 2017, V.106, article number 03022 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710603022> The possibility of using materials based on secondary gravel in civil construction / _MATEC Web of Conferences 106, 04018.
4. Дышко Е. И., Красножон Г. Ф. Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям. СН 288-64. М.: Стройиздат, 1965. 133 с.
5. Шабанов А. Д., Шабанов В. А., Шабанов Л. А., Кичигина Н. Я. Расчет железобетонных плит крепления напорных откосов земляных сооружений. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1987. 139 с.
6. Крепление железобетонными плитами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://svaika.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).
7. Рызов С. А., Родионов М. В. Модельные исследования наката волн на новые типы берегозащитных конструкций/ SCIENCE NEWS OF EASTERN TECHNICAL UNIVERSITIES. Польша, Люблин. 2016. №2. С. 15–22.
8. ВСН-АПК 2.30.05.001-2003. Мелиорация. Руководство по защите земель, нарушенных водной эрозией. Габрионные конструкции противозерозионных сооружений / Минсельхоз России. М., 2003. 100 с.
9. Отчет НИР инв. № 13-1963 от 01.10.2015. Исследование матов Incomat ® Flex на устойчивость к ледовым нагрузкам/ СГАСУ. Самара, 2015. 127 с.
10. Разработка проекта правил использования Кутулукского водохранилища (И-12-113). Пермь, 2013. 86 с.
11. Индексы Минстроя РФ на 3 квартал 2021 года к ФЕР/ТЕР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.i-tat.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).
12. Цена на щебень в Самаре [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rudadar.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).

13. Цемент. Строительные материалы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.stroymatnn.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).

14. Тарифы на воду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tarif-zkh.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).

15. Стоимость вторичного щебня. Нерудные строительные материалы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://granitstroj.ru>. (дата обращения: 31.10.2021).

16. Список сборников расценок ФЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.defsmeta.com>. (дата обращения: 31.10.2021).

REFERENCES

1. Shaytan V. S. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu zhelezobetonnykh i kamennabrosnykh krepleny otcosov zemlyanykh sooruzheniy i beregov vnutrennikh vodoyemov* [Recommendations for the design of reinforced concrete and rockfill fastenings for slopes of earthworks and banks of inland waters]. Moscow, 1979. 184 p.
2. Engineering in the Water Environment Good Practice Guide. Bank Protection: Rivers and Lochs (2021). Available at: https://www.sepa.org.uk/media/150971/wat_sg_23.pdf (accessed 3 December 2021).
3. Mikhasek A., Ivanov B. Modified composite material developed on the basis of no-fines asphalt concrete. MATEC Web of Conferences, 2017, Vol.106, article number 03022. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710603022> The possibility of using materials based on secondary gravel in civil construction / _MATEC Web of Conferences 106, 04018.
4. Dyshko E. I., Krasnozhan G. F. *Ukazaniya po proektirovaniyu gidrotekhnicheskikh sooruzheniy, podverzhennykh volnovym vozdeystviyam. SN 288-64* [Building codes SN 288-64 Guidelines for the design of hydraulic structures affected by wave effects]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1965. 133 p.
5. Shabanov A. D., Shabanov V. A., Shabanov L. A., Kichigina N. YA. *Raschet zhelezobetonnykh plit krepleniya napornykh otcosov zemlyanykh sooruzheniy* [Calculation of reinforced concrete slabs for fastening pressure slopes of earthworks]. Saratov, Saratovskiy Univ., 1987. 139 p.
6. *Krepleniye zhelezobetonnyimi plitami* [Fastening with reinforced concrete slabs]. Available at: <http://svaika.ru/kreplenie-zhelezobetonnimi-plitami> (accessed 31 October 2021).
7. Ryzhov S. A., Rodionov M. V. Simulation studies of wave setup on new types of bank protection structures. *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo* [Hydrotechnical construction], 2016 no. 2, pp. 15-22. (in Russian).
8. VSN-APK 2.30.05.001-2003. *Melioraciya. Rukovodstvo po zashchite zemel', narushennykh vodnoy eroziye. Gabionnye konstrukcii protiverozionnykh so-oruzhenij / Minsel'hoz Rossii* [Departmental building codes in the agro-industrial complex VSN-APK 2.30.05.001-2003. Reclamation. Guidelines for the protection of lands disturbed by water erosion. Gabion structures of anti-ero-

sion structures]. Moscow, Ministry of Agriculture of Russia Publ., 2003. 100 p.

9. Otchet NIR inv. № 13-1963 ot 01.10.2015. *Issledovanie matov Incomat® Flex na ustojchivost' k ledovym nagruzkam/ SGASU* [Study of Incomat® Flex mats for resistance to ice loads. Research work]. Samara, 2015. 127 p.

10. *Kutulukskoye vodokhranilishche* [Kutulukskoye reservoir]. Available at: <https://www.sites.google.com/site/enciklopediasamarskojoblastit2/home/gidrographia/kutulukskoe-vdhr> (accessed 31 October 2021).

11. *Indeksy Ministroya RF na 3 kvartal 2021 goda k FER/TER* [Indices of the Ministry of Construction of the Russian Federation for the 3rd quarter of 2021 to FER/TER]. Available at: <https://www.i-tat.ru/base/355.html> (accessed 31 October 2021).

12. *Tsena na shcheben v Samare* [The price of crushed stone in Samar]. Available at: <https://rudadar.ru/sam/sheben-samara> (accessed 31 October 2021).

13. *Tsement. Stroitelnyye materialy* [Cement. Building materials]. Available at: <https://www.stroymatnn.ru/index.php> (accessed 31 October 2021).

14. *Tarif na vodu* [Water rates]. Available at: <https://tarif-zkh.ru/samara/voda-v-samare/> (accessed 31 October 2021).

15. *Stoimost vtorichnogo shchebnya. Nerudnyye stroitelnyye materialy* [The cost of secondary gravel. Non-metallic building materials]. Available at: <https://granit-stroi.ru/shheben/shheben-vtorichnyj/> (accessed 31 October 2021).

16. *Spisok sbornikov rastsenok FER* [List of FER price books]. Available at: https://www.defsmeta.com/rfer14/fer_06/fer-06-01-001-01.php (accessed 31 October 2021).

Об авторах:

МИХАСЕК Андрей Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: andremixas@mail.ru

MIKHASEK Andrey A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Environmental and Hydraulic Engineering Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: andremixas@mail.ru

РОДИОНОВ Максим Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: rodionov_max@mail.ru

RODIONOV Maksim V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Environmental and Hydraulic Engineering Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: rodionov_max@mail.ru

ГОРБУНОВ Сергей Константинович

магистрант 2 курса по направлению «Гидротехническое строительство» Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: sergey-gorbunov-1998@mail.ru

GORBUNOV Sergey K.

Master's Degree Student in the field of the Hydraulic Engineering Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: sergey-gorbunov-1998@mail.ru

Для цитирования: Михасек А.А., Родионов М.В., Горбунов С.К. Влияние типа крепления откоса гидротехнических сооружений на снижение стоимости их строительства // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 3. С. 56–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.8.

For citation: Mikhasek A.A., Rodionov M.V., Gorbunov S.K. Influence of the Type of Fastening of the Slope of Hydrotechnical Structures on the Reduction of the Cost of Their Construction. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 56–61. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.8.