

УДК 502/504 : 627.8.059

Е. В. БАРАНОВ, А. П. ГУРЬЕВ, Н. В. ХАНОВФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва**ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕОРЕШЕТОК
В УКРЕПЛЕНИИ ОТКОСОВ ПОДПОРНЫХ ГРУНТОВЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

В статье рассмотрен вопрос актуальности применения объемных полимерных георешеток с каменным заполнением в качестве противоэрозионных средств в укреплении откосов подпорных грунтовых гидротехнических сооружений. Выбор средств защиты от водной эрозии играет особую роль в безаварийной работе грунтовых плотин и дамб в период их эксплуатации. Каменное крепление с применением объемных полимерных георешеток используется как противоэрозионное средство в различных областях строительства, в том числе для защиты откосов как подтопляемых, так и неподтопляемых. Рассматривается применение имеющихся рекомендаций по устройству крепления георешетками различных сооружений, описаны случаи успешного применения данного противоэрозионного средства на верховых откосах грунтовых подпорных гидротехнических сооружений. Отмечается, что применение неподтопляемых или ливнеотводящих откосов практически не изучена. К таким откосам были отнесены низовые откосы грунтовых подпорных гидротехнических сооружений, водотоки со значительным уклоном дна, а также низовые откосы переливных плотин. В статье представлены результаты проводимых авторами в 2012 году исследований ливнеотводящих откосов по оценке предельно допустимой размывающей скорости водного потока. Представлены первые результаты испытаний двух модификаций георешеток. Указано, что создается методика, которая повысит качество проектирования ливнеотводящих откосов, водоскатов, низовых откосов подпорных гидротехнических сооружений, переливных плотин, с применением в качестве укрепления объемных полимерных георешеток.

Противоэрозионное покрытие, объемная георешетка, подпорное гидротехническое сооружение, плотина, дамба, откос, водоскат, переливная плотина, заполнитель.

The article considers a question of the urgency of polymeric geogrids usage with a stone filler as erosion-preventive means in strengthening slopes of retaining earth hydraulic structures. The choice of protective means from water erosion plays a special role in an accident-free work of earth dams and dykes in a period of operation. Rock fill facing with bulk geogrids is used as an erosion-preventive means in various fields of construction including for protection of both flooded and unflooded slopes. Application of available recommendations on fixing arrangement with geogrids is considered for different structures, there are described some cases of successful usage of this erosion-preventive means on upstream faces of earth retaining hydraulic structures. It is noted that usage of unflooded or rain catchment slopes has not been practically studied. Downstream faces of earth retaining hydraulic structures, watercourses with a significant bottom inclination as well as downstream faces of overflow dams were related to such slopes. In the article there are presented the results of the investigations fulfilled by the authors in 2012 of rain catchments slopes on assessment of the maximum permissible flow erosive speed. There are given first test results of two modifications of geogrids. It is pointed out that a methodology is under development which will improve the design quality of storm diverting slopes, the rapids, downstream faces of retaining earth hydraulic structures, overflow dams with usage of bulk polymeric geogrids as a strengthening.

Erosion-preventive coating, bulk geogrid, earth retaining hydraulic structures, dam, dyke, slope, the rapids, overflow dam, filler.

В современном гидротехническом строительстве особую и основную роль занимает вопрос о безопасной эксплуатации возведенных сооружений. Связано это с повышенным уровнем ответственности данных объектов. К таким гидротехническим объектам в первую очередь относят подпорные грунтовые сооружения: плотины и дамбы, разрушение которых может привести к тяжелым и необратимым последствиям, к значительному материальному ущербу и, порой, к человеческим жертвам. Поэтому данные сооружения должны быть обеспечены надлежащими средствами защиты от разрушительного влияния водной среды.

При проектировании плотин и дамб любого уровня ответственности особая роль уделяется правильному выбору противоэрозионных средств и их основных параметров. Крепление откосов обеспечивает защиту как при воздействии волн и течений (верховой откос), так и атмосферных осадков (низовой откос). Имеется

ряд простых и наиболее применяемых типов противоэрозионных покрытий, в частности, каменное (в виде наброски или мостовой кладки).

В последние годы все чаще встречаются случаи применения объемных полимерных георешеток совместно с каменным заполнителем (чаще щебень или галька) в качестве противоэрозионного крепления откосов гидротехнических сооружений. Речь идет об облицовке каналов различного назначения и водотовающих канав, откосах прудов, водохранилищ, отстойников и других водных объектов, которые подвержены интенсивному волновому воздействию и влиянию продольных и поперечных водных течений. По-другому такие откосы называют подтопляемыми. Имеется ряд действующих нормативов, содержащих в себе рекомендации для проектирования откосов такого типа с применением георешеток [1]. Данные рекомендации представлены в таблице.

Ориентировочные условия применения конструкций укрепления подтопляемых откосов с применением объемных полимерных георешеток

№	Конструкция укрепления при заполнении ячеек	Скорость потока $V, \text{ м}^2/\text{с}$	Высота волны $H_n, \text{ м}$
1	Растительный грунт с гидропосевом трав	0,5	0,2
2	Укрепленный грунт	1,1	0,4
3	Щебень фракций 40...60 мм	1,0	0,3
4	Щебень фракций 40...60 мм с дополнительным укреплением с плотностью $\geq 1,95 \text{ т/м}^3$	1,5	0,7
5	Бетонная смесь мощностью 7,5 см с плотностью $\geq 2,3 \text{ т/м}^3$ в верхней и щебень мощностью 7,5 см с плотностью $\geq 1,7 \text{ т/м}^3$ в нижней части	1,9	0,85
6	Бетонная смесь с плотностью $\geq 2,3 \text{ т/м}^3$	2,3	1,2

Примечание: величины скоростей водного потока и высоты волны представлены для откосов с заложением не круче 1:2, при размерах ячеек георешетки 200...260 мм и высотой 150...200 мм

При обобщении результатов ряда гидравлических исследований подтопляемых откосов было определено, что допустимая (неразмывающая) скорость течения воды при заполнении георешеток материалом укрепления повышается на 30 % по отношению к допустимой скорости течения при использовании в качестве укрепления только материала заполнителя [1]. При использовании объемных георешеток наблюдается значительное повышение общей устойчивости откосов. Учитывая данные преимущества, можно значительно увеличить заложение проектируемых откосов, по некоторым данным это увеличение достигает 80 % [2]. Среднее заложение откосов m при использовании щебня в качестве заполните-

ля можно принять 1 : 2, а в некоторых случаях возможно повышение до 1 : 1,5 [1]. Это сокращает объемы выполняемых строительных работ.

Представленные в таблице данные можно использовать при проектировании противоэрозионных покрытий с использованием георешеток для верховых откосов плотин и дамб, которые относятся к категории подтопляемых.

Известен ряд случаев применения объемных георешеток при укреплении верховых откосов крупных плотин и дамб, в частности, укрепление верхового откоса дамбы Князегубской ГЭС на реке Ковда в пос. Зеленоборский Мурманской области при ее реконструкции в 2010 году. Данное сооружение входит в каскад Нивских

ГЭС с момента введения его в эксплуатацию в 1955 году.

В 2011 году на плотине Новоалександровского водохранилища Белгородской области выполнены работы по укреплению верхового откоса в зоне волнового воздействия с применением георешетки, которая заполнялась крупным щебнем. Как показали расчеты, применение георешетки с заполнителем позволяет снизить затраты в два раза по сравнению с креплением откосов железобетонными плитами.

В 2009 году в Казахстане возведена дамба, предназначенная для защиты от затопления левобережья г. Астаны в период паводков. Укрепление верхового и низового откосов осуществлялось георешеткой с заполнением ячеек уплотняемым грунтом. Дамба выполнила свое предназначение дважды: в период наводнений весной 2010 и 2014 года. При этом крепление в полной мере показало свою высокую эффективность.

Исследования авторов статьи затрагивают характерную группу откосов, подверженных воздействию атмосферных осадков. По-другому их называют ливне-

отводящими откосами и относят к группе неподтопляемых. Особую роль таким откосам следует уделять при строительстве в дождливых районах, характеризующихся продолжительными периодами выпадения атмосферных осадков, а также в горных районах, для которых характерны значительные удельные расходы поверхностных паводковых вод в период таяния снегов и льда.

Укрепление ливнеотводящих откосов объемными полимерными георешетками чаще всего встречается в сфере строительства автомобильных дорог, например, откосы МКАД и других крупных автомобильных дорог г. Москвы.

К ливнеотводящим откосам относятся и низовые откосы подпорных гидротехнических сооружений, а также быстротоки со значительным уклоном (водоскаты), которые имеют схожие принципы работы. Рассматривая совместно два этих варианта, можно выделить частный случай, к которому относятся низовые откосы переливных плотин, часто встречающихся в гидротехническом строительстве.

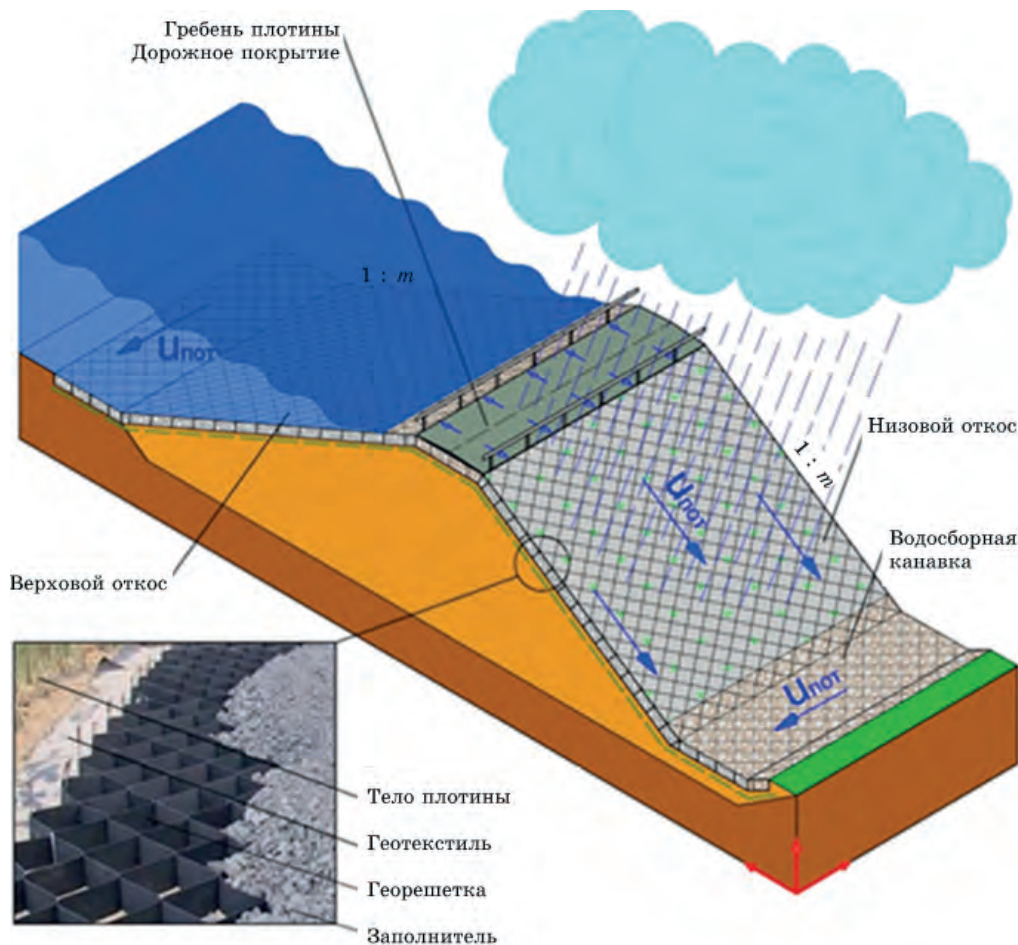


Схема конструкции противоэрозионного крепления откосов грунтовой плотины с использованием объемных полимерных георешеток

Для любого низового откоса подпорного грунтового сооружения, укрепленного камнем и воспринимающего активное воздействие водного потока, в том числе откоса переливной плотины, основным и определяющим фактором, влияющим на безопасную эксплуатацию, будет являться скорость этого потока, а также связанные с ней величины удельного расхода. Исследованиями в данной области занимался ряд авторов. Наиболее ярким представителем является С. В. Избаш. Отдельно выделим работы [6, 7 и др.], в которых подробно рассматривались вопросы взаимодействия водного потока с каменнонабросными переливными плотинами.

Краткие рекомендации по проектированию ливнеотводящих откосов, или сооружений поверхностного водоотвода, укрепленных георешеткой, представлены в нормативной документации, в частности в [1, 2]. Эти документы не содержат каких-либо четких данных, подкрепленных исследованиями.

В июле-августе 2012 года в Московском государственном университете природообустройства авторы провели исследования ливнеотводящих откосов с укреплением георешеткой. Испытания выполнялись в двух схожих по параметрам лотках (общие габариты, подаваемые расходы, температурные режимы, измерительные приспособления). Первый откос был оснащен георешеткой без перфорации (сплошная лента), а второй – перфорированной (лента с отверстиями) георешеткой. В качестве заполнителя использовали щебень фракции 40...70 мм, который укладывался в ячейки установленной на откосе георешетки с заложением 1 : 2. Расходы замерялись с помощью мерных водосливов. Также фиксировались глубины водного потока в нескольких выбранных сечениях, вычислялись площади живого сечения и другие необходимые параметры, устанавливались средние скорости. Согласно протоколам испытаний предельно допустимая скорость водного потока для выбранного материала заполнителя при использовании неперфорированной георешетки составила 1,3 м/с [3], а в случае использования перфорированной георешетки – 1,9 м/с.

Заключение

Статья посвящена исследованиям зависимости крупности применяемого материала от различных параметров, в частности скорости водного потока. Проведен анализ ряда работ различных исследователей [4, 5]. Дальнейшие исследования авторов связаны с созданием методики определения скорости водного потока, при которой будет

происходить потеря устойчивости отдельных элементов заполнителя от динамического воздействия этого потока. Данная методика позволит повысить качество проектирования ливнеотводящих откосов, водоскатов, низовых откосов подпорных гидротехнических сооружений, переливных плотин с применением в качестве укрепления объемных полимерных георешеток.

1. Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автодорог пространственными георешетками (геосотами): ОДМ 218.3.032–2013. – Введ. 21.03.2013. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 75 с.

2. Методические рекомендации по применению геоячеек «Прудон-494» при строительстве сельских (местных) автомобильных дорог в композиции с местными материалами и отходами промышленности: СТО 07859300–003–2011. – Введ. 01.08.2011. – Бронницы: ОАО «494 УНР», 2011. – 101с.

3. Зайцев А. А., Бубновский В. В. Пластиковые геоячейки «Прудон-494» при строительстве пути // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 7. – С. 23–24.

4. Избаш С. В., Н. И. Воронин. Постройка плотин наброской камня в текущую воду; техн. ред. С. И. Брусиловской. – Л.: «Госстройиздат», 1932. – 124 с.

5. Кнороз В. С. Неразмывающая скорость для несвязных грунтов и факторы, ее определяющие // Известия ВНИИГ. – 1958. – №59. – С. 62–81.

6. Векслер А. Б., Дерюгин Г. К. Определение предельно допустимого расхода воды при переливе через каменнонабросную плотину // Известия ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева. – 2000. – Т. 236. – С. 24–36.

7. Ямбаев И. А. Автоматизация конструктивных расчетов при проектировании низконапорных переливных плотин: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – Нижний Новгород.: НГАСУ, 2004. – 273 с.

Материал поступил в редакцию 01.09.14.

Баранов Евгений Викторович, аспирант
E-mail: 13_region90@mail.ru

Гурьев Алим Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики.,

E-mail: alim.p.guryev@gmail.com

Ханов Нартмир Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений
E-mail: nvkhanov@yahoo.com