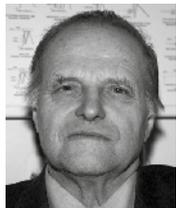


# ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА БЕРЕГОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОД



**Селезнева Н. В.,**  
менеджер проектов ООО «ТР Инжиниринг»



**Колосов М. А.,**  
д. т. н., заслуженный  
деятель науки РФ, профессор ГУМРФ  
им. адмирала С. О. Макарова



**Боровков С. В.,**  
к. т. н., генеральный директор  
АО «Ленгипроречтранс»

**Аннотация.** Представлены конструкции дамб обвалования и плотин для защиты от паводков, а также рассмотрено применение габионных конструкций RockBox для защиты морских берегов и дна у причалов от размыва.

**Ключевые слова:** инженерная защита, высокопрочные габионы, берегоукрепление, паводки, укрепление дна.

Габионные конструкции предназначены для защиты, стабилизации и укрепления грунтов от эрозии, для армирования грунтов, укрепления склонов, в том числе оползневых, насыпей, откосов берегов водоемов, для устройства подпорных стенок, защиты от камнепадов, снежных лавин и селевых потоков, для строительства противопаводковых сооружений, ландшафтно-восстановительных мероприятий и других целей, в том числе и в районах с высокой сейсмической активностью.

В настоящей статье рассматривается применение габионных конструкций RockBox при создании гидротехнических сооружений III и VI классов ответственности в соответствии с [1] — подпорных и удерживающих сооружений, креплений откосов гидротехнических сооружений, а также при строительстве водопропускных плотин.

Габионные конструкции RockBox представляют собой объемные изделия различной формы и размеров, собираемые из панелей, предназначенные для заполнения природным материалом, преимущественно камнем.

Панели габионов RockBox изготавливаются из плетеной сетки высокой прочности, установленной и закрепленной в каркасе. При изготовлении габионов RockBox применяется проволока диаметром 4–8 мм и каркас из круглого проката диаметром 8–16 мм.

На рис. 1 представлен матрац RockBox высотой 0,35 м, шириной 2,0 м, длиной 4,0 м из сетки с размером стороны ячейки 130 мм, изготовленной из проволоки диаметром 8 мм с цинк-алюминиевым покрытием (ЦА), со стержневым каркасом диаметром 16 мм [2].

В качестве обвязки (соединения смежных сторон для формирования короба) применяются специальные скобы с резьбовым соединением.



**Рис. 1.** Матрац RockBox 0,35×2,0×4,0–130–8(16) ЦА

ENGINEERING PROTECTION OF BANKS AND SETTLEMENTS FROM NEGATIVE IMPACT OF FLOODING

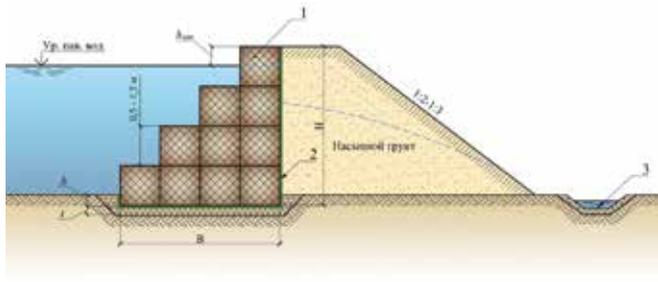
N. V. Selezneva, Project Manager, TR Engineering

M. A. Kolosov, D.Eng.Sc, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (GUMRF)

S.V. Borovkov, PhD, General Director, Lengiprorchtrans

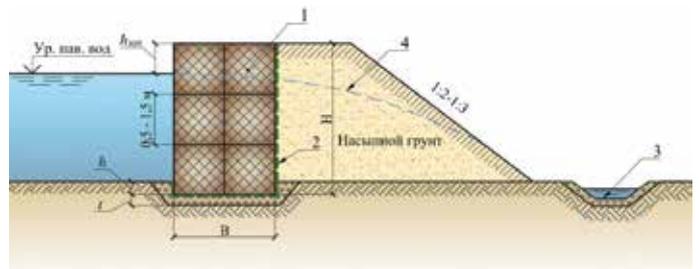
**Abstract.** The article presents the designs of embankment dams, flood control dams for flood protection, reviews the application of RockBox gabion structures for erosion protection of seashores and seafloor at quay berth.

**Keywords:** engineering protection, high-strength gabions, coast protection, floods, sea bed stabilisation.



**Рис. 2.** Дамба обвалования (вариант № 1)

1 — кладка из габионов RockBox; 2 — противофильтрационный слой (геомембрана); 3 — дренажная канава; Н и В — высота и ширина дамбы,  $h_{\text{зап}}$  — запас высоты гребня дамбы,  $h$  — заглубление подошвы сооружения,  $t$  — толщина подготовки из щебня



**Рис. 3.** Дамба обвалования (вариант № 2)

1 — кладка из габионов RockBox; 2 — геотекстиль; 3 — дренажная канава; 4 — положение кривой депрессии; Н и В — высота и ширина дамбы,  $h_{\text{зап}}$  — запас высоты гребня дамбы,  $h$  — заглубление подошвы сооружения,  $t$  — толщина подготовки из щебня

Основными преимуществами габионов в целом и RockBox в отдельности как строительного элемента являются:

- Гибкость сооружений из габионных конструкций, позволяющая им не разрушаться из-за деформаций, вызванных неравномерными осадками и размывом основания, температурными напряжениями, что исключает необходимость устройства температурно-осадочных швов. Гибкость габионных конструкций также улучшает работу всего сооружения в условиях динамических воздействий, в том числе и сейсмических.

- Проницаемость сооружений из габионных конструкций для грунтовых и паводковых вод обуславливается использованием каменного материала при заполнении, при котором пористость конструкций достигает 0,25–0,40. Данная особенность позволяет исключить возникновение гидростатических нагрузок и снизить затраты на устройство обратного фильтра. Однако следует учитывать, что со временем габионные конструкции имеют способность аккумулировать в себе частицы грунта. Это способствует повышению прочности конструкций, но снижает их проницаемость. В ряде случаев, когда выход грунтовых вод на лицевую грань габионного сооружения не допускается, требуется предусматривать соответствующие дренажные мероприятия.

- Высокая несущая способность сооружения, обусловленная более прочным (по сравнению с аналогами) сетчатым каркасом габионов RockBox.

Габионные конструкции RockBox могут применяться в условиях открытого речного потока и на морских побережьях при расчетной сред-

ней скорости течения воды до 8 м/с (со средним размером камня-заполнителя 200 мм) и расчетных волновых нагрузках, определяемых по СП 38.13330 [3].

Рассмотрим конструктивные решения по применению габионных конструкций RockBox для защиты населенных пунктов от наводнений, крепления дна акватории гидротехнических сооружений, берегоукрепления и защиты основания откосов от размыва.

#### Дамбы обвалования

Дамбы — гидротехнические сооружения в виде насыпи для защиты территории от наводнений, для ограждения искусственных водоемов и водотоков, а также для направленного отклонения потока воды [4].

На реках в период таяния снега или при прохождении интенсивных дождей происходит резкий подъем уровня воды с затоплением населенных пунктов, находящихся в пойме. Только в 2020 г. катастрофические паводки случились в Австралии, Бразилии, Индонезии, Иране, Китае, Индии, Болгарии, в Италии (Венеция), Испании,

Бангладеш, Непале, Индонезии, Японии, Сербии, Украине, в России (от затоплений пострадали Московская, Рязанская, Тульская и Тамбовская области, Приангарье и др. регионы).

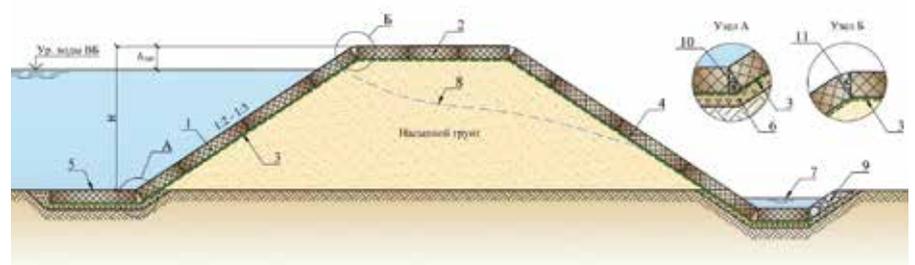
На морских побережьях подъем уровней происходит в основном в результате ветровых нагонов, а также в результате сейшей.

Кроме защитных дамб применение подобных сооружений возможно для кратковременной задержки дождевого стока в зоне выпадения дождя и последующего его поступления в русло реки, что снижает пик паводка, распределяя его пропуск на длительный период.

При проектировании дамб обвалования для защиты от речных паводков решаются две основные задачи:

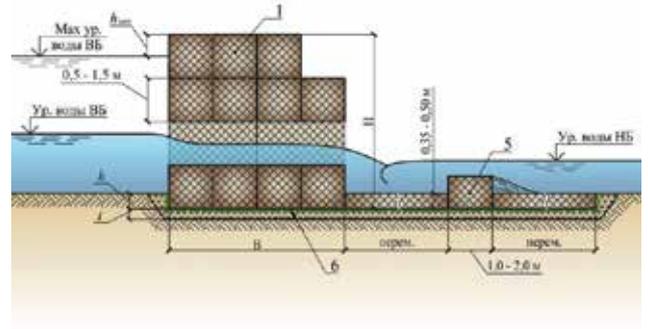
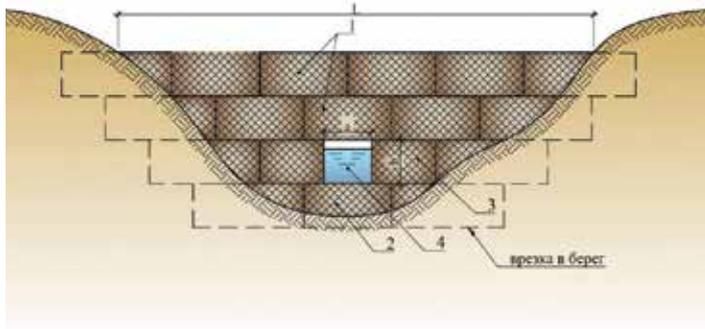
- обеспечение устойчивости тела дамбы при воздействии речного потока, ветровых волн и ледовых воздействий;
- обеспечение фильтрационной прочности дамбы.

На выполнение этих условий направлены предложенные варианты конструкции дамб обвалования с применением габионов (рис. 2–4).



**Рис. 4.** Дамба обвалования (вариант № 3)

1 — крепление верхнего откоса габионами RockBox; 2 — покрытие гребня габионами; 3 — геотекстиль; 4 — крепление низового откоса габионами; 5 — крепление дна в верхнем бьефе; 6 — подготовка из щебня; 7 — дренажная канава; 8 — положение кривой депрессии; 9 — крепление откоса канавы камнем или щебнем; 10 — заполнение камнем вручную; 11 — бутовый камень с проливкой бетоном (или заполнение камнем с индивидуальной панелью); Н — высота дамбы (назначается на этапе проектирования),  $h_{\text{зап}}$  — запас высоты гребня дамбы



**Рис. 5.** Плотина с водопропускной трубой, сформированной габионами  
 1 — габионы перекрытия водопропускной трубы; 2 — габионы в основании трубы; 3 — упорные боковые габионы; 4 — водопропускная труба (железобетонная, металлическая, пластиковая или сформированная при укладке габионов); 5 — гаситель энергии потока; 6 — геотекстиль;  $H$  и  $B$  — высота и ширина плотины;  $L$  — длина плотины по гребню;  $h_{зап}$  — возвышение отметки гребня над максимальным уровнем воды верхнего бьефа;  $h$  — заглубление подошвы сооружения;  $t$  — толщина подготовки из щебня.

Габионы устраиваются со стороны водного потока в виде многоярусной вертикальной или ступенчатой стенки. Конфигурация и размеры ступеней, размеры отдельных габионов зависят от габаритных размеров дамбы (высоты гребня  $H$  и ширины сооружения  $B$ ) и определяются на этапе проектирования. Величина заглубления фундамента сооружения ниже отметки дна  $h$  должна учитывать возможный размыв у подошвы стенки. Для обеспечения противотрансформационной способности дамбы за тыловой гранью стенки выполняется грунтовая насыпь.

Общая ширина дамбы определяется технологическим назначением (размещением по гребню автомобильных дорог, прогулочных зон и пр.) и результатом исследования фильтрационного режима, не допускающего суффозию грунта на низовом откосе.

При недостаточной фильтрационной прочности тела насыпи на откосе возможно устраивать насыпной дренаж по схеме «геотекстиль — щебень».

фильтрационного слоя (геомембраны) за тыловой гранью габионной стенки необходимость в обратном фильтре в большинстве случаев отпадает.

**«Веерная» система защиты от наводнений**

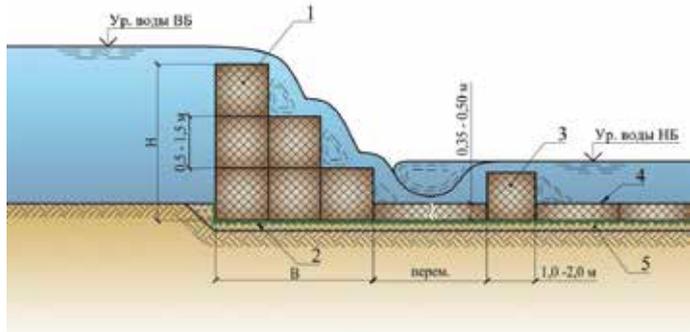
Как эффективный вариант защиты от дождевых паводков может рассматриваться «веерная» система защиты, включающая систему плотин, преграждающих притоки реки и временно удерживающих сток в зоне формирования паводка [5].

Дождевой паводок характерен быстрым подъемом уровня воды, внезапностью и кратковременностью наступления. Для сокращения пика паводка в реках, стекающих с горных склонов, применяется система противопаводковых сооружений, позволяющих задерживать сток реки созданием временных водохранилищ-«ловушек». Этот метод требует установки на притоках реки или в пониженных участках местности заградительных устройств (плотин), обеспечивающих трансформацию стока и перераспределения его во времени.

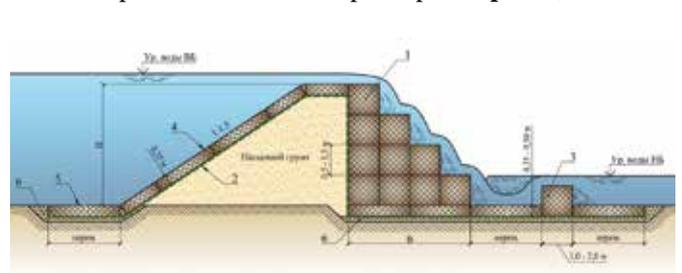
Задержка стока в зоне его формирования посредством создания временно заполняемых водохранилищ-«ловушек» позволяет увеличить время его поступления в зону защиты и уменьшить пик паводка. Зоны формирования паводкового водотока с рекомендациями к размещению «веерной» системы защиты приведены в [6].

Плотины, устраиваемые на притоках реки, рассчитываются на пропуск расходов через различные варианты водопропускных сооружений — железобетонных, стальных труб или отверстий в самой габионной кладке (рис. 5). Применение габионов целесообразно для создания низконапорных плотин (высотой 3–5 м) на второстепенных притоках основной реки.

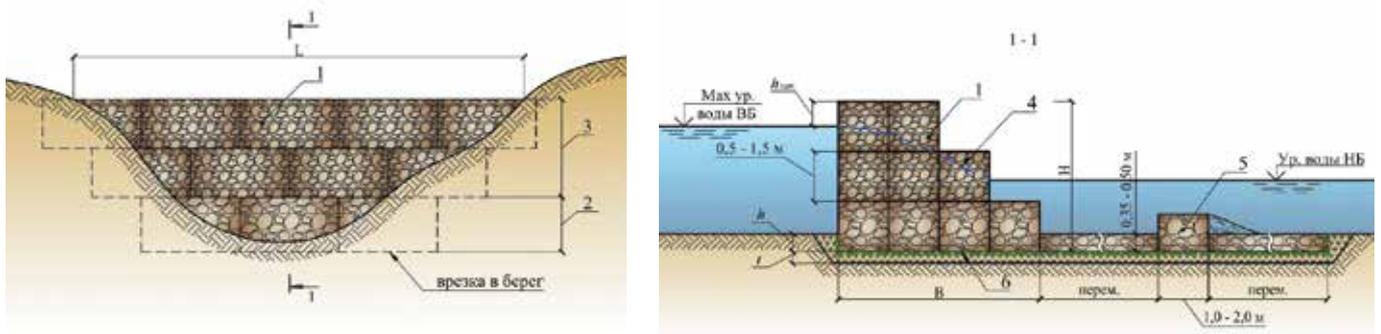
Кроме пропуска воды через тело плотины, допускается перелив через гребень, для чего необходимо выполнить крепление основания в нижнем бьефе посредством устройства водобойного колодца с гасителем энергии потока и рисбермой (рис. 6).



**Рис. 6.** Водопереливная плотина (вариант № 1)  
 1 — кладка из габионов RockVox; 2 — геотекстиль; 3 — гаситель энергии потока из габионов; 4 — рисберма; 5 — подготовка из щебня;  $H$  и  $B$  — высота и ширина плотины (назначаются на этапе проектирования)



**Рис. 7.** Водопереливная плотина (вариант № 2)  
 1 — кладка из габионов RockVox; 2 — геотекстиль; 3 — гаситель энергии потока из габионов; 4 — крепление верхнего откоса габионами; 5 — крепление дна в верхнем бьефе; 6 — подготовка из щебня;  $H$  и  $B$  — высота и ширина плотины (назначаются на этапе проектирования)



**Рис. 8.** Фильтрующая плотина из габионов с заполнителем различной крупности

1 — кладка из габионов RockBox; 2 — зона габионов с крупным заполнителем; 3 — зона габионов с мелким заполнителем; 4 — положение кривой депрессии; 5 — гаситель энергии потока; 6 — геотекстиль; Н и В — высота и ширина плотины; L — длина плотины по гребню;  $h_{\text{зоп}}$  — запас высоты гребня плотины; h — заглубление подошвы сооружения; t — толщина подготовки из щебня

Водопереливная плотина из габионов может выполняться отсыпкой призмы грунта с креплением низового откоса габионами (рис. 7).

Еще одним вариантом является плотина, в нижний ярус которой укладываются габионы с крупным заполнителем, что позволяет пропускать «дозированный» фильтрационный расход (рис. 8).

### Крепление размывов дна у гидротехнических сооружений

При эксплуатации гидротехнических сооружений наблюдаются зоны повышенного размыва, вызванные гидродинамическим воздействием воды. Наиболее часто размывы дна происходят в нижнем бьефе водопропускных сооружений: водосливных плотин, трубчатых и лотковых водосбросов.

Область применения габионов для крепления дна гидротехнических сооружений включает следующее:

- создание рисберм водосливных плотин и лотковых водосбросов;
- крепление дна акватории эксплуатируемых причалов;
- создание рисбермы за нижней головой судоходных шлюзов;
- крепление дна судоходных каналов.

Также применение габионных конструкций RockBox целесообразно при устройстве крепления (рисбермы) для устранения размывов дна водосбросных сооружений [7].

### Крепление дна у причалов

В ходе эксплуатации причалов у подпорных стен формируются зоны размывов, что обусловлено действием следующих факторов:

- размывающего воздействия течения и волн;

- воздействия потоков воды от винтовых движителей при маневрировании судов.

Такие размывы наблюдаются как у линейных, так и у точечных причалов, сооружаемых для приема наливных грузов на открытых акваториях.

Создание сплошного покрытия дна из габионов позволяет предотвратить негативные последствия размыва — уменьшение объема грунта, удерживающего конструкцию причала от обрушения. Зона крепления дна определяется местом швартовки судов и предотвращает размыв у сооружения (рис. 9).

Внутри короба крепится геотекстиль, после этого производится заполнение камнем. Использование фильтрующего геотекстиля допускается для оснований из песчаных грунтов, крупностью 0,5–1,0 мм и выше. Для оснований из мелкофракционных илистых грунтов рекомендуется использование геоматов, исключающих размыв дна при выносе частиц из-под габионов.

### Берегоукрепление. Защита оснований откосов от размыва

Крепление от размыва устраивается на подтопляемых откосах насыпей, берегах судоходных рек и каналов, где естественные откосы подвержены неблагоприятному волновому воздействию.

В настоящее время крепление берегов выполняется преимущественно из железобетонных плит или каменной наброски. На морских акваториях применяются также наброски из различного вида искусственных блоков (тетраподов, гексабитов и др.). С течением времени происходит разрушение подобных

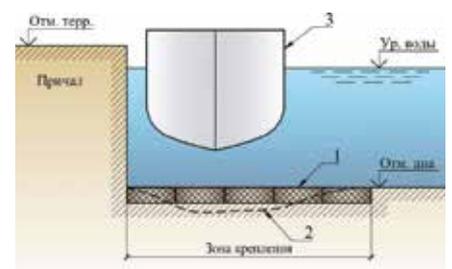
креплений по следующим основным причинам:

- подмыв подводного упора крепления вследствие гидродинамических воздействий от винтовых движителей судов;
- вынос частиц грунтов через пустоты в каменной наброске (или швы в бетонном покрытии) в результате наката судовых волн.

Для исключения повреждений крепления откосов рекомендуется следующая схема с использованием габионов RockBox, заполненных крупным камнем, связанных между собой по всему контуру посредством Twin скоб (U-Twin, I-Twin) (рис. 10). Для устранения возможного выноса частиц грунта основания при откате волн необходимо предусматривать под габионами подстилающий слой по схеме обратного фильтра со слоем геотекстиля.

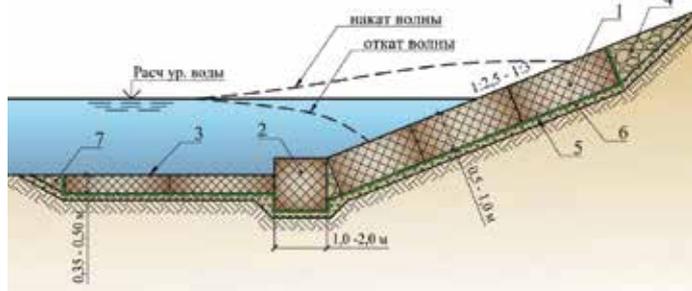
### Подпорные стены

Подпорные стены как частный случай берегоукрепления применяются для защиты откосов гидротехнических сооружений от оползания в случае строительства в стесненных условиях, где создание откосного крепления затруднительно.



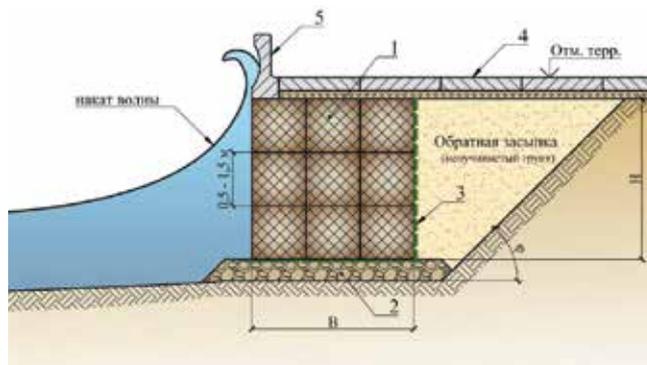
**Рис. 9.** Крепление дна у причалов при размыве судовыми винтами

1 — укладка габионов RockBox; 2 — контур возможного размыва дна без крепления; 3 — судно у причала



**Рис. 10.** Схема габионного крепления откоса, подверженного волновому воздействию.

1 — крепление откоса габионами RockBox; 2 — упор из габионов RockBox; 3 — крепление дна от размыва из габионов RockBox; 4 — камень или щебень; 5 — геотекстиль; 6 — щебеночная подготовка; 7 — каменная призма



**Рис. 11.** Волнозащитная подпорная стена из габионов на нескальном основании

1 — подпорная стена из габионов RockBox; 2 — основание из щебня или камня; 3 — геотекстиль; 4 — покрытие территории; 5 — волноотбойный парапет; угол естественного откоса (зависит от грунтов основания),  $H$  и  $B$  — высота и ширина стенки

Стены из габионов могут выполняться как с вертикальной, так и со ступенчатой лицевой гранью; создание вертикальных подпорных стен может быть обосновано технологической необходимостью, например при создании причального фронта портовых сооружений (причалов, пирсов, яхтенных марин) [7].

Конструктивное решение по применению габионов при строительстве волнозащитных набережных представлено на рис. 11.

Особенность применения габионов при создании волноотбойных стенок заключается в гашении части энергии волны за счет пористости материала-заполнителя. Конструкция за счет пустот между камнями поглощает набегающий поток воды, а при ее откате возвращает воду в акваторию.

Подпорная стена выполняет функцию волноотбойного сооружения, гасящего энергию набегающей волны и снижающего ее высоту при столкновении со стеной. Это позволяет перенести волноотбойную нагрузку с парапета на подпорную стену и использовать парапет только как оградительное сооружение для предохранения от залива прилегающей территории, что особенно важно для городских набережных.

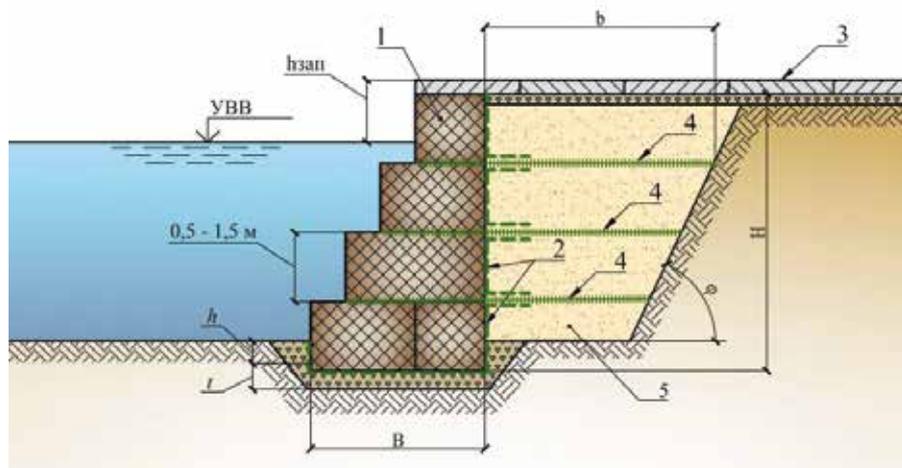
Для уменьшения общих габаритов габионной кладки возможен вариант конструкции вертикальных или ступенчатых подпорных стен с армированием грунта, которое рекомендуется выполнять геосеткой или геомембраной (рис. 12).

Берегоукрепительные сооружения возводят в пределах всего диапазона

колебания уровней воды у защищаемого берега или всей высоты затопляемых паводком берегов. Для крепления возможно устройство откосного покрытия или комбинированного крепления с упорными конструкциями из габионных подпорных стен, применяемого при относительно большой крутизне вогнутого берега излучины.

**Литература**

1. Постановление правительства РФ от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений».
2. ТУ 25.93.13-003-15215947-2019 Изделия из панелей для габионных конструкций RockBox. Технические условия. СПб., 2019.
3. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые, от судов). СНиП 2.06.04-82\*. Минстрой России. М., 2018.
4. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. Госстандарт СССР. М., 1973.
5. Колосов М. А., Селезнева Н. В. Защита от дождевых паводков посредством устройства русловых порогов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Манарова. 2016. № 4 (38). С. 85-94.
6. Колосов М. А., Селезнева Н. В. Инженерная защита от дождевых паводков на горных реках // Гидротехническое строительство. 2020. № 3. С. 6-13.
7. Альбом технических решений по применению габионных конструкций RockBox в гидротехническом строительстве, СПб.: Проектно-исследовательский институт АО «Ленгипроречтранс» (по заказу ООО «ТР Инжиниринг»), 2020. 112 с.



**Рис. 12.** Подпорная стена из габионов с армированием грунта

1 — подпорная стена из габионов RockBox; 2 — геотекстиль; 3 — покрытие территории; 4 — анкеровка геосеткой (или геомембраной); 5 — обратная засыпка (непучинистый грунт);  $H$  и  $B$  — высота и ширина стенки, угол естественного откоса,  $b$  — длина заделки геосетки (или геомембраны) в грунт,  $h$  — заглубление подошвы сооружения,  $t$  — толщина подготовки из щебня

**TR Engineering**

ООО «ТР Инжиниринг»  
Санкт-Петербург,  
пос. Стрельна, ул. Связи, 34, лит. А  
Тел. +7 812 424 18 88  
E-mail: info@tre.spb.ru  
www.tre.spb.ru