

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ГАБИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ROCKVOX В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Н.В. СЕЛЕЗНЕВА, менеджер проектов ООО «ТР Инжиниринг»,

М.А. КОЛОСОВ, эксперт, научный консультант, доктор, техн. наук, профессор, кафедра гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики, ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова

Ключевые слова: инженерная защита, высокопрочные габионы, RockVox, берегоукрепление, паводки, затопление населенных пунктов, размыв берегов, укрепление дна, альбом технических решений

Keywords: engineering protection, high-strength gabions, RockBox, bank protection, floods, flooding of settlements, erosion of banks, bottom strengthening, album of technical solutions



В статье приведены конструктивные особенности высокопрочных габионных конструкций RockVox. Представлены конструкции водопропускных и водопереливных плотин, приведено обоснование подбора камня-заполнителя в зависимости от требуемого коэффициента фильтрации. Изложены проблемы размыва дна в нижнем бьефе водосливных плотин и у причалов, а также размыва берегов и пути их решения с помощью габионов RockVox. Приведены конструкции береговых навигационных знаков из высокопрочных габионов RockVox.

Design features of high-strength RockBox gabion structures are adduced in the article. Culverts and overflow dams constructs are presented, the rationale for the selection of a filler stone is given, depending on the required filtration coefficient. The problems of bottom erosion in the downstream of spillways and at berths, as well as erosion of banks and ways of their solution using RockBox gabions are described. Designs of coastal navigation marks made of high-strength RockBox gabions are presented.

Компания «ТР Инжиниринг» специализируется на разработке технических решений и конструкций для инженерной защиты территорий в сложных геологических и климатических условиях. В составе основных продуктов компании: противокамнепадные канатно-анкерные системы RopeNet®, противооползневые канатно-сетчатые системы MightyNet®, высокопрочные габионные конструкции RockBox® на основе коррозионностойкой проволоки со сроком службы более 50 лет.

Габионные конструкции RockBox® предназначены для защиты, стабилизации и укрепления грунтов от эрозии, армирования грунтов, укрепления склонов, в том числе оползневых, насыпей, откосов берегов водоемов, 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. Габионные конструкции обладают гибкостью, проницаемостью для грунтовых и паводковых вод, универсальностью применения и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

Габион RockBox® превосходит обычные габионные конструкции по прочности и долговечности, при этом прочностные характеристики не уступают железобетонным конструкциям. Высокопрочные коррозионностойкие габионы состоят из панелей (плетеная сетка диаметром до 8 мм + стальной каркас диаметром до 16 мм), которые соединяются между собой специальными U-скобами (рис. 1). Отдельные короба монтируются в единую массивную конструкцию.

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

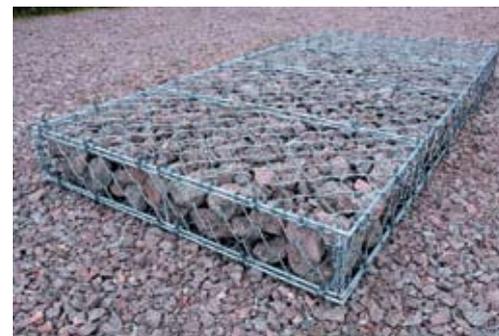


Рис. 2. Матрац RockBox 0,35×2,0×4,0-130-8(16) ЦА

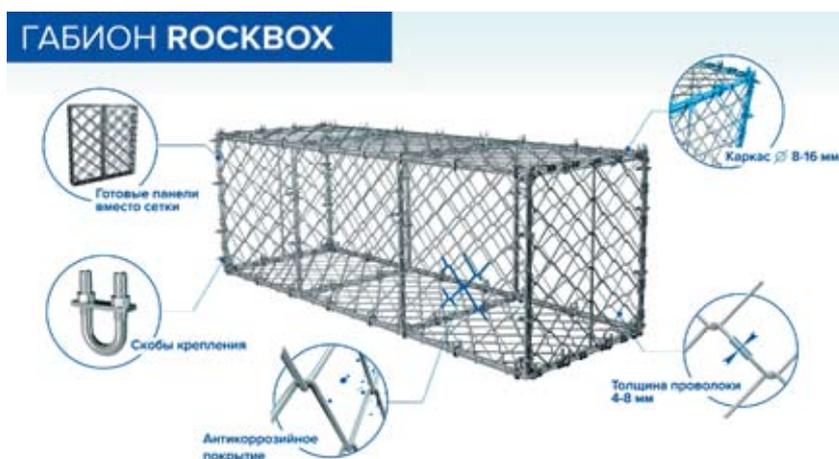


Рис. 1. Устройство габиона RockBox®

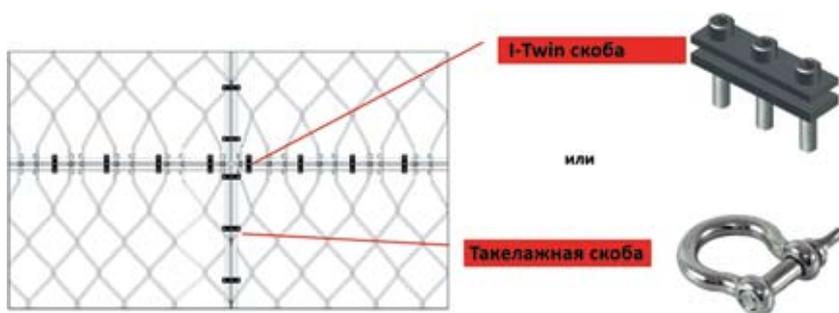


Рис. 3. Соединение габионов RockBox® между собой под водой

Под водой габионы RockBox® соединяются между собой в единую конструкцию I-Twin или такелажными скобами (рис. 3).

Данные габионные конструкции могут применяться в условиях открытого речного потока и на морских побережьях при расчетной средней скорости течения воды до 8 м/с (со средним размером камня-заполнителя 200 мм) и расчетных волновых нагрузках, определяемых по СП 38.13330.

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.

На реках в период таяния снега или при прохождении интенсивных дождей происходит резкий подъем уровней воды, затопливая населенные пункты, находящиеся в пойме.

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.

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 перераспределение его во времени.

Каждая плотина, перекрывающая русло реки, рассчитывается на пропуск определенного расхода воды, допустимого для предотвращения подтопления территорий в нижнем бьефе. Схема защиты называется «веерной», т.к. форма речного русла с притоками напоминает веер (рис. 4).

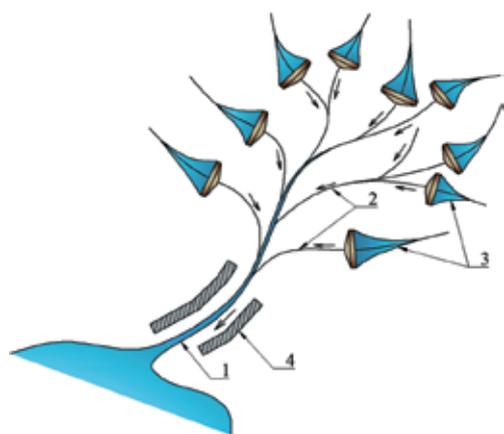


Рис. 4. Схема расположения фильтрующих плотин в бассейне реки
1 – основное русло реки; 2 – боковые притоки;
3 – водохранилища-«ловушки»; 4 – защищаемые территории

Паводки на горных склонах возникают при высокой интенсивности дождевых осадков, а крутые склоны вызывают быстрый сток воды по реке, что приводит к мгновенным затоплениям местности. Задержка стока в зоне его формирования посредством создания временно заполняемых водохранилищ-«ловушек» позволяет увеличить время его поступления в зону защиты и уменьшить пик паводка (рис. 5).

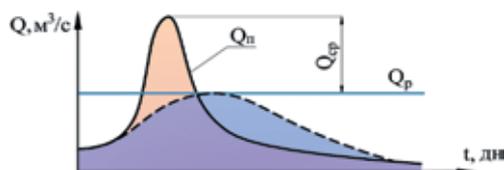


Рис. 5. Гидрограф срезки пика паводка при устройстве «веерной» системы защиты

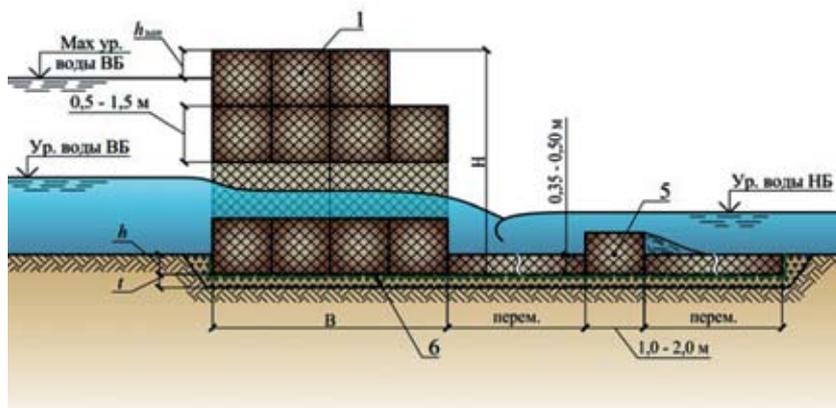
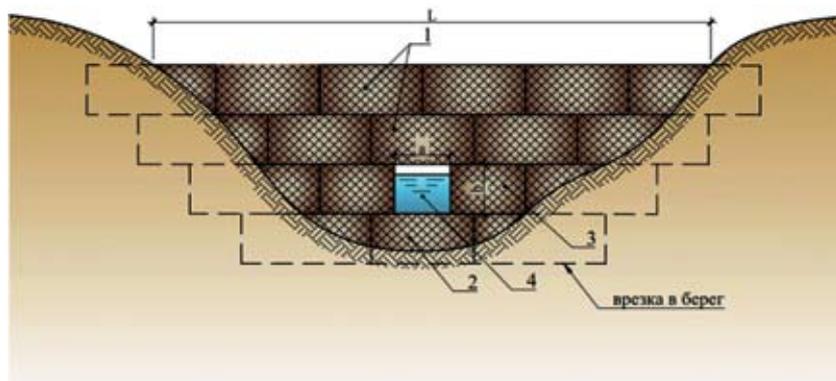


Рис. 6. Плотина с водопропускной трубой, сформированной габионами
1 – габионы перекрытия водопропускной трубы; 2 – габионы в основании трубы; 3 – упорные боковые габионы; 4 – водопропускная труба; 5 – гаситель энергии потока; 6 – геотекстиль;
 H и B – высота и ширина плотины; L – длина плотины по гребню;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

Задержка стока в зоне его формирования посредством создания временно заполняемых водохранилищ-«ловушек» позволяет увеличить время его поступления в зону защиты и уменьшить пик паводка.

Плотины, устраиваемые на притоках реки, рассчитываются на пропуск расходов через различные варианты водопропускных сооружений – железобетонных, стальных труб или отверстий в самой габионной кладке (рис. 6). Применение габионов целесообразно для создания низконапорных плотин (высотой 3-5 м) на второстепенных притоках основной реки.

Проницаемость сооружений из габионных конструкций для пропуска паводковых вод обусловлена высоким показателем пористости укладываемого каменного материала (который достигает $n=0,25-0,40$). Пропускная способность такого сооружения определяется с помощью аналогичного расчета фильтрации по формуле (1). При этом необходимо учитывать наличие ярусов габионной кладки с различной крупностью каменного заполнителя.

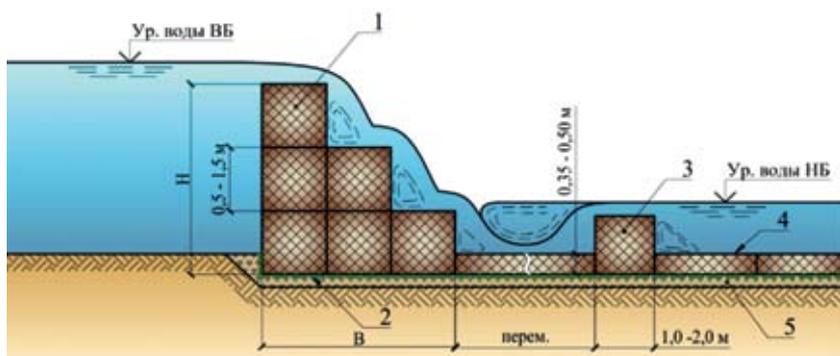


Рис. 7. Водопереливная плотина (вариант №1)

1 – кладка из габионов RockBox; 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).

Для определения коэффициента фильтрации можно воспользоваться следующей эмпирической зависимостью для каменной наброски [2]:

$$k_T = 28,7 \frac{n^{3/2}}{\sqrt{(1-n) \cdot \psi}} \cdot \sqrt{d_k} \quad (1)$$

где k_T – коэффициент фильтрации, см/с; n – пористость грунта; d_k – средний диаметр камня в см; ψ – коэффициент формы камня (или гальки), равный 1,15÷2,35.

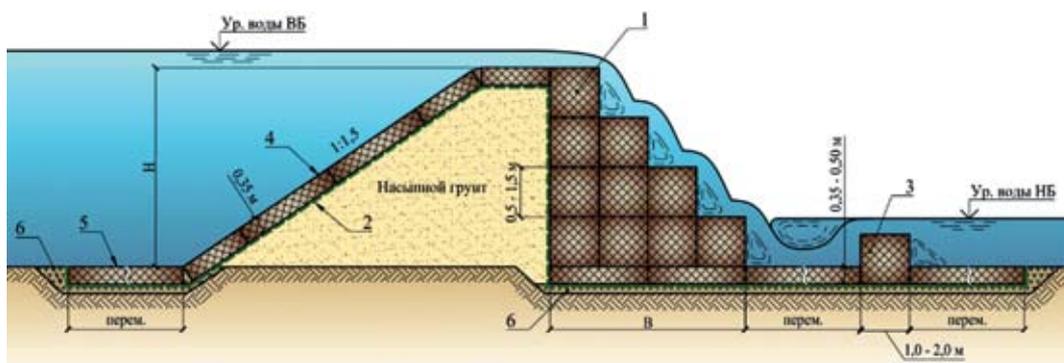


Рис. 8. Водопереливная плотина (вариант №2)

1 – кладка из габионов RockBox; 2 – геотекстиль; 3 – гаситель энергии потока из габионов; 4 – крепление верхнего откоса габионами; 5 – крепление дна в верхнем бьефе; 6 – подготовка из щебня;

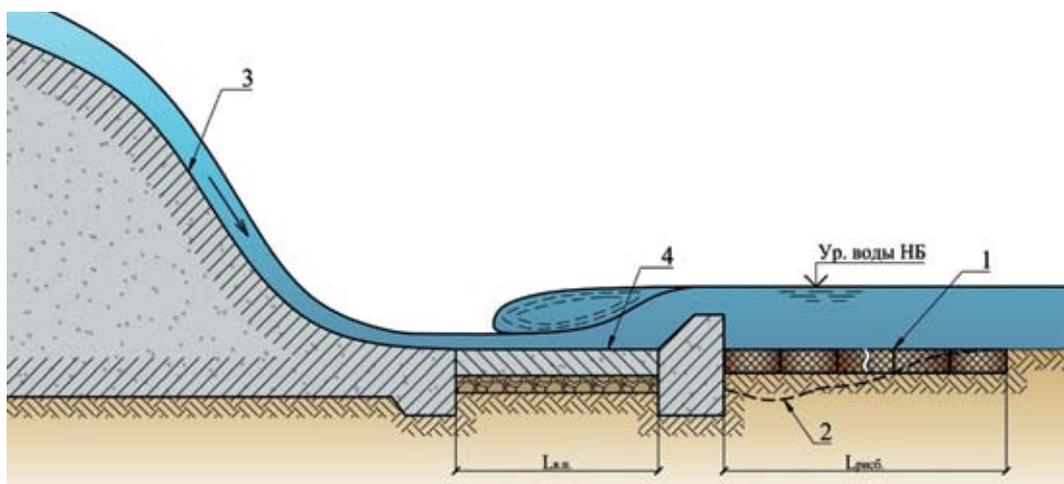
 H и B – высота и ширина плотины (назначаются на этапе проектирования).

Рис. 9. Крепление дна за водобойным колодцем (рисберма водосливных плотин)

1 – укладка габионов RockBox; 2 – контур возможного размыва дна без крепления; 3 – водосливная плотина; 4 – водобойный колодец

С.В. Избашем даются следующие экспериментальные значения k_T (для значения пористости $n = 0,4$) [2, стр. 579] – табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. ЗАВИСИМОСТЬ k_T ОТ КРУПНОСТИ КАМНЯ

d_k , см	10	20	40	50	75
k_T , см/с	23,5	34,5	50	57	69

Габионы должны укладываться на основании с устройством обратного фильтра из геотекстиля с защитным слоем из щебня для предотвращения выноса грунта основания.

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. 7).

Водопереливная плотина из габионов может выполняться отсыпкой призмы грунта с креплением низового откоса габионами (рис. 8).

На судоходных шлюзах размывы возникают в нижних подходных каналах в результате воздействия потока воды, выходящего из галерей при опорожнении камеры шлюза, а также при работе винтовых движителей судов при входе и выходе из подходных каналов. Локализация зоны размыва на конечном участке рисбермы показана на рис. 9.

При креплении зон размыва дна у головы шлюза необходимо исключить воздействие следующих негативных явлений:

- фильтрационной суффозии из-под подошвы сооружения;

- наличия вальцов потока за уступом водосливного колодца.

Подбор типоразмера габионов должен учитывать оба фактора: их вес должен обеспечивать устойчивость крепления при динамических воздействиях потока воды, а для предотвращения выноса частиц грунта через габионы необходимо сформировать подстилающий слой в виде обратного фильтра из щебня и геотекстиля.

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 покрытия сплошного 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. 10).

Крепление от размыва устраивается на подтопленных 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.

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.

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

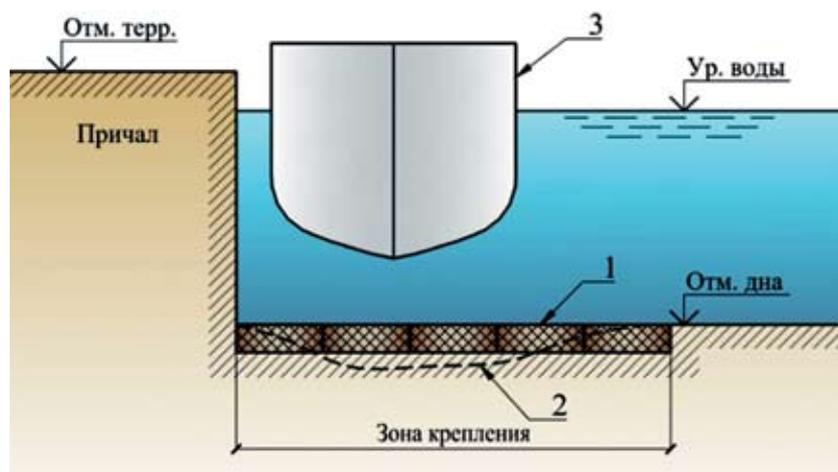


Рис. 10. Крепление дна у причалов при размыве судовыми винтами
1 – укладка габионов RockBox; 2 – контур возможного размыва дна без крепления; 3 – судно у причала

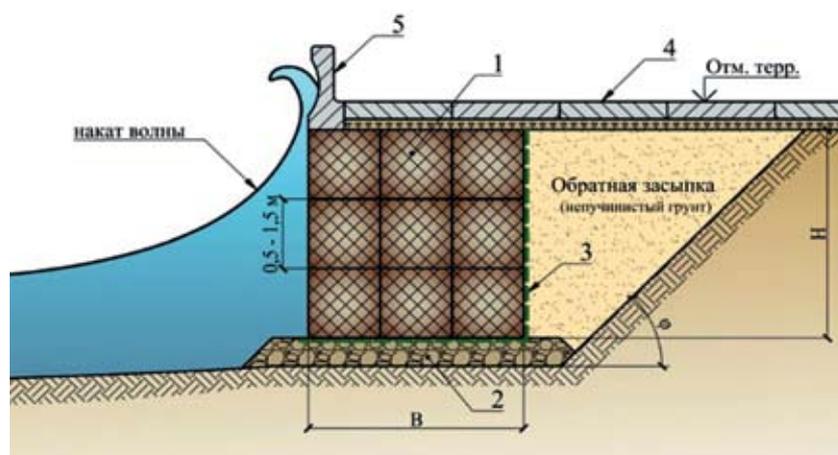


Рис. 11. Волнозащитная подпорная стена из габионов на нескальном основании
1 – подпорная стена из габионов RockBox; 2 – основание из щебня или камня;
3 – геотекстиль; 4 – покрытие территории; 5 – волноотбойный парапет;
φ – угол естественного откоса (зависит от грунтов основания);
H и B – высота и ширина стенки

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 причальной стенки гравитационного типа из габионной кладки RockBox® характерны следующие преимущества:

- не требуется устройство дренажа;
- в случае колебания уровней происходит быстрое выравнивание УГВ с уровнем акватории;
- испытывает меньшее боковое давление грунта.



Рис. 12. Берегоукрепление намывных островов (Дубай) пустотелыми бетонными блоками

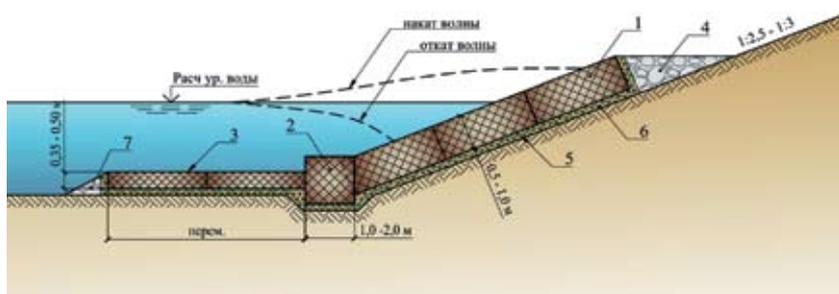


Рис. 13. Конструкция берегового укрепления из габионов RockBox®
1 – крепление откоса габионами; 2 – упор из габионов; 3 – крепление дна от размыва из габионов; 4 – камень или щебень; 5 – геотекстиль; 6 – щебеночная подготовка; 7 – каменная призма

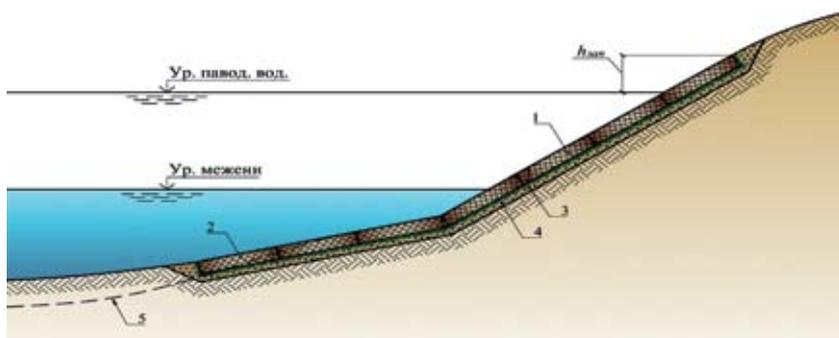


Рис. 14. Укрепление размываемого берега реки (вариант №1)
1 – откосное крепление габионами RockBox; 2 – крепление дна реки от размыва; 3 – подготовка из щебня; 4 – геотекстиль; 5 – контур местного размыва; $h_{зап}$ – запас высоты гребня дамбы

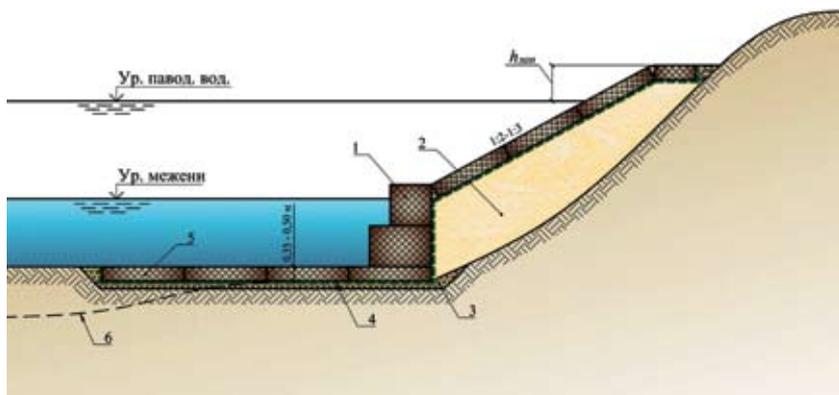


Рис. 15. Укрепление размываемого берега реки (вариант №2)
1 – упорная стенка из габионов RockBox; 2 – насыпной грунт; 3 – подготовка из щебня; 4 – геотекстиль; 5 – крепление дна реки от размыва; 6 – контур местного размыва; $h_{зап}$ – запас высоты гребня дамбы

Благодаря сквозной (пористой) конструкции отсутствует противодавление на подошву сооружения. При заполнении 35-45% пор водой уменьшается Архимедова сила взвешивания и повышается устойчивость.

По такому же принципу рекомендуется устройство молов и волноломов из габионных конструкций RockBox. В конструкции волнолома предлагается использовать габионы в качестве основания для искусственных блоков (тетраподов, гексабитов и др.).

В мировой практике для берегоукрепления с целью снижения высоты волны путем уменьшения ее энергии удара о пустотелые бетонные блоки применяются конструкции следующего вида (рис. 12).

Конструкция из габионов RockBox® способна действовать по такому же принципу: благодаря крупным ячейкам сетки (130 или 150 мм) и большой пористости, которая достигается заполнением крупным камнем, волна проникает в сооружение и откатывается уже с уменьшенной энергией и скоростью (рис. 13).

Для устранения возможного выноса частиц грунта основания при откате волн необходимо предусматривать под габионами подстилающий слой по схеме обратного фильтра со слоем геотекстиля (рис. 13). Выбор конкретного типа геотекстильного материала выполняется в зависимости от выполняемой им функции и типа прилегающего грунта.

Берегоукрепительные сооружения возводят в пределах всего диапазона колебания уровней воды у защищаемого берега или всей высоты затопляемых паводком берегов [10]. Для крепления возможно устройство откосного покрытия (рис. 14) или комбинированного крепления с упорными конструкциями из габионных подпорных стен, применяемого при относительно большой крутизне вогнутого берега излучины (рис. 15).

Для уменьшения общих габаритов габионной кладки возможен вариант конструкции вертикальных или ступенчатых подпорных стен с армированием грунта. Армирование грунта рекомендуется выполнять геосеткой или геомембраной (рис. 16).

Также габионные конструкции RockBox® применимы в качестве оснований для знаков судоходной обстановки.

При расположении береговых навигационных знаков на низких пойменных

берегах или непосредственно в акватории реки возникает необходимость создания искусственного основания – отдельных опор или территории с берегоукреплением (рис. 17).

Заключение

Габионные конструкции RockVox имеют ряд преимуществ перед аналогами: панели для габионов производятся из проволоки большего диаметра (до 8 мм), используется силовой каркас и специальные соединительные скобы, что расширяет возможности применения габионных конструкций в гидротехническом строительстве.

Компания «ТР Инжиниринг» выпустила Альбом технических решений по применению габионных конструкций RockVox в гидротехническом строительстве, выполненный проектно-изыскательским институтом АО «Ленгипроречтранс». В Альбом вошли типовые и новаторские решения с применением новых материалов, указания по проектированию и расчету, выполнен обзор нормативно-технической документации и специальной литературы, предложены конструктивные решения по применению габионов RockVox, разработаны рекомендации по строительству, обследованию и ремонту.

Библиографический список

1. Избаш С.В. *Руководство по расчету турбулентной фильтрации в каменно-набросных сооружениях* / С. В. Избаш // *Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидротехники им. Б.Е. Веденеева. Л.: Энергия, 1975, – 42 с.*
2. Чугаев Р.Р. *Гидравлика. Учебник для вузов – 4-е изд., доп. и перераб.* – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982, – 672 с.
3. Колосов М. А. *Защита от дождевых паводков посредством устройства русловых порогов* / М.А. Колосов, Н.В. Селезнева // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 2016, №4 (38), с. 85-94.*
4. Колосов М.А., Селезнева Н.В. *Инженерная защита от дождевых паводков на горных реках* / *Гидротехническое строительство, №3, 2020, с. 6-13.*
5. Селезнева Н.В., Колосов М.А., Боровков С.В. *Инженерная защита берегов и населенных пунктов от негативного воздействия вод* / *Гидротехническое строительство, №3 (60), 2020, с. 38-42.*
6. ОДМ 218.3.038-2015. *Рекомендации по проектированию и строительству берегозащитных сооружений автомобильных дорог* / Росавтодор, – М., 2015.
7. СТО НОСТРОЙ 2.33.22-2011. *Мелиоративные системы и сооружения. Габионные противоэро-*

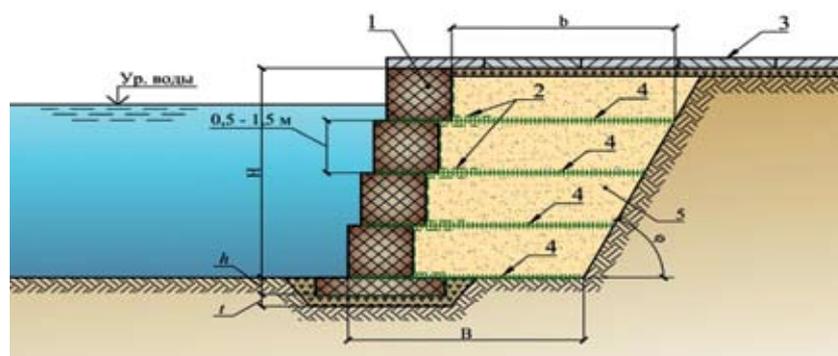


Рис. 16. Подпорная стена из габионов с армированием грунта
1 – подпорная стена из габионов RockVox; 2 – геотекстиль; 3 – покрытие территории; 4 – анкерка геосетки (или геомембраны); 5 – обратная засыпка (непучинистый грунт); H и B – высота и ширина стенки, ϕ – угол естественного откоса (зависит от грунтов основания), b – длина заделки геосетки (или геомембраны) в грунт, h – заглубление подошвы сооружения, t – толщина подготовки из щебня

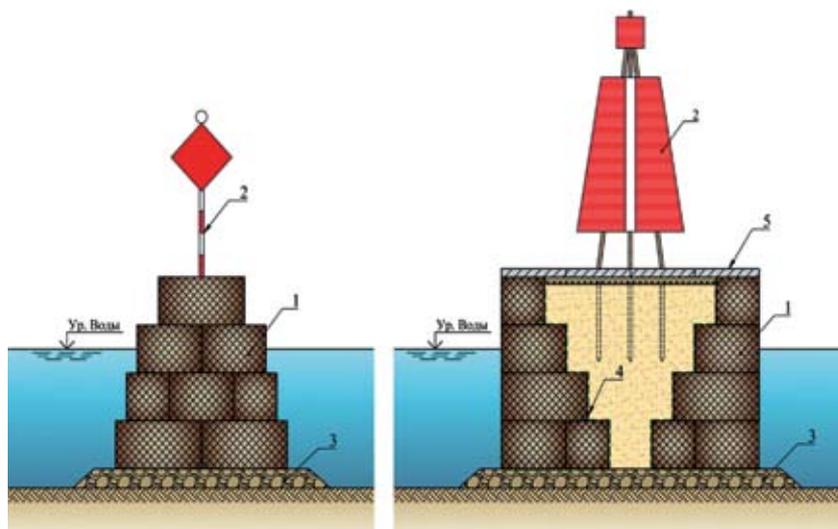


Рис. 17. Искусственное основание из габионов под знаки судоходной обстановки
1 – кладка из габионов RockVox; 2 – знаки судоходной обстановки (ходовые, створные и т.д.); 3 – подготовка из камня; 4 – геотекстиль; 5 – покрытие искусственной территории

зионные сооружения. Общие требования по проектированию и строительству (с Поправкой). / НОСТРОЙ. – М.: 2012.

8. ТУ 25.93.13-001-15215947-2019. *Сетки плетеные для габионных конструкций RockVox. Технические условия.* – СПб.: 2019.
9. ТУ 25.93.13-003-15215947-2019. *Изделия из панелей для габионных конструкций RockVox. Технические условия.* – СПб.: 2019.
10. *Альбом технических решений по применению габионных конструкций RockVox в гидротехническом строительстве, СПб.: Проектно-изыскательский институт АО «Ленгипроречтранс» (по заказу ООО «ТР Инжиниринг»), 2020, – 112 с.*

Данная статья подготовлена на основе доклада, представленного на III Международной научно-практической конференции «Современные технологии проектирования и строительства гидротехнических сооружений» 22-23 сентября 2020 года.