

Сохранение устойчивости климата при гидротехническом строительстве с помощью «Матрацев Рено Плюс»



Заглавное фото: stroy-podskazka.ru/gabion/osobennosti-matracev-reno/

Представляем вниманию читателей адаптированный перевод статьи «Сохранение устойчивости климата при гидротехническом строительстве с помощью инновационных берегозащитных габионов матрацного типа (Матрацев Рено Плюс)». Она была написана представителями немецкой компании Secon Systems Михаэлем Арндтом и Франческо Масолой и представляла главную тему третьего выпуска 2021 года международного электронного журнала GeoResources («Георесурсы»), выпускаемого в Германии на немецком и английском языках.

Инновационные плоские габионы Матрацы Рено Плюс для защиты берегов и русел водотоков, которым посвящена указанная статья, являются еще более экологичной и экономически выгодной версией Матраца Рено. Эту новую модель разработала итальянская транснациональная компания Massaferrì («Маккаферри»), которая с 1994 года имеет подразделение в России, представительства в остальных странах СНГ и собственный завод в Московской области.

Матрацы Рено Плюс не просто укрепляют берега и русла, но и способствуют сохранению устойчивости климата, сокращая поступление в атмосферу углекислого газа, а также позволяют экономить природные ресурсы и деньги при гидротехническом строительстве.

Консультационную помощь редакции в подготовке перевода оказал директор по маркетингу компании «Маккаферри СНГ» Иван Кукло.



АРНДТ МИХАЭЛЬ (ARNDT MICHAEL)

Исполнительный директор компании Secon Systems, г. Берлин, Германия
arndt@secon-systems.com



МАСОЛА ФРАНЧЕСКО (MASOLA FRANCESCO)

Инженер-строитель, ответственный за проекты в сферах развития водных путей, берегозащиты и сооружений из армированного грунта в компании Secon Systems (г. Берлин, Германия)
masola@secon-systems.com

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение устойчивости климата (защита климата) имеет большое значение для нашего общества, а следовательно и в гидротехническом строительстве при проектировании систем защиты берегов. И это ставит серьезные задачи в сфере гидротехники.

Для начала приведем три цитаты о важности берегозащитных систем для сохранения стабильности климата.

Германский федеральный инженерно-исследовательский институт водных путей и Германский федеральный институт гидрологии высказали следующие точки зрения на цели биоинженерных систем защиты берегов водотоков:

«С момента введения в действие “Европейской рамочной директивы по водным ресурсам” и разработанных на ее основе национальных законов при всех мероприятиях на водотоках должны все больше учитываться экологические аспекты. Цель здесь состоит в том, чтобы увеличить структурное разнообразие этих объектов в интересах их экологического развития и таким образом способствовать созданию прибрежных мест обитаний растений и животных, близких по условиям к естественным. В долгосрочной перспективе эти меры могут внести положительный вклад в улучшение качества водотоков и в изменение климата. В то же время, как правило, должна быть гарантирована стабильность берегов. Одним из способов совмещения этих требований является удаление покрытий из каменной наброски и их замена экологически безвредными берегозащитными системами» [1].

В 2017 году Германская федеральная (государственная) рабочая группа по водным ресурсам опубликовала следующую информацию о влиянии изменения климата на использование вод:

«Несмотря на все меры, принятые для защиты климата, выбросы парниковых газов продолжают расти во всем мире и приводят к глобальному потеплению. Даже если цели Парижской конференции по изменению климата (COP 21) будут достигнуты, это изменение будет невозможно остановить» [2].

Мельхер и соавторы [3] дали следующую информацию:

«Прибрежная растительность важна для водной экологии наших водотоков и имеет особое значение в связи с ожидаемым воздействием изменения климата на тепловой режим. Благодаря своему затеняющему эффекту она может снизить повышение температуры воды на величину до 2 градусов по Цельсию, особенно в жаркие периоды» [3].

Уже более 100 лет для защиты берегов и русел рек при обустройстве внутренних водных путей во всем мире используются габионы матрацно-тюфячного типа, а разработку таких продуктов впервые начала итальянская компания Massaferrì (далее – «Маккаферри»). (В XIX веке эта компания применила конструкции такого типа для укрепления берегов разлившейся реки Рено вблизи города Болонья и запатентовала их. В процессе своего дальнейшего развития они получили название по названию реки Рено и стали широко применяться для защиты речных и морских берегов и дна от размывания. – *Ред.*)

Такие матрацы представляют собой плоские коробчатые конструкции из полугибкой стальной сетки, защищенной от коррозии полимерным покрытием. Из-за их относительно небольшой толщины и горизонтальных размеров до 3 м х 6 м стал общепринятым термин «матрацы». Благодаря своей гибкости они легко прилегают к неровной поверхности берегов водотоков. К тому же габионы матрацного типа могут быть полностью покрыты растительностью. Таким образом, они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к условиям прибрежных мест обитания, которые должны быть близки к естественным. В зависимости от типа и размера матрацев растения способствуют затенению и снижению температуры окружающей среды и, кроме того, благодаря процессу фотосинтеза они дополнительно снижают содержание в воздухе углекислого газа. Берегоукрепительные системы с использованием габионов матрацного типа также обеспечивают долгосрочную защиту берегов от рытья нор животными [4].

В последние годы компания «Маккаферри» вкладывает значительные средства в постоянное развитие конструкций производимых ею матрацев, уделяя особое внимание следующему:

- улучшению систем защиты берегов и русел рек с помощью габионов матрацного типа путем проведения обширных исследований для обеспечения их достаточной стабильности при уменьшенной толщине;
- обеспечению дополнительного вклада таких систем в сохранение устойчивости климата.

Вложив около 500 000 евро в исследования и разработки и успешно завершив трехлетнюю серию международных исследований, компания «Маккаферри» на рубеже 2020/2021 годов представила новое поколение плоских габионов – Матрац Рено Плюс с диагональными стяжками (Reno mattress Plus with X-ties, RMP-X).

В данной статье рассматривается более чем столетнее развитие конструкций матрацев для укрепления берегов и русел рек на примере продуктов компании «Маккаферри». Также описываются инновационные изменения в матрацах последнего поколения, их влияние на возможные области применения и их вклад в достижение целей по защите окружающей среды и климата.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАБИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАТРАЦНО-ТЮФЯЧНОГО ТИПА

На рисунке 1 схематично показана история развития систем защиты берегов и русел рек в компании «Маккаферри» с 1910 года по настоящее время.



Рис. 1. Этапы развития конструкций для строительства берегоукрепительных систем в компании «Маккаферри» с 1910 по 2020 год

Примерно через 10 лет после получения компанией «Маккаферри» первого патента на габионы (примерно в 1910 году) ею была разработана первоначальная конструкция габиона матрацевидно-тюфячного типа под названием «Мантеллата Волга» (Mantellata Volga) (см. рис. 1, а; рис. 2, а). В верхней части берегового склона заанкеривался конец рулона проволочной сетки нужной длины (превышавшей двойную длину склона). Потом рулон разворачивался до подножия склона. Там сетку складывали пополам. С помощью вязальной проволоки скрепляли два слоя сетки по бокам на небольшом отрезке. Образовавшийся карман заполняли камнями, превышавшими по величине ячейки сетки, и скрепляли два слоя сетки над заполненным карманом. Затем повторяли эту процедуру, поэтапно разворачивая рулон в направлении вверх по склону, вплоть до достижения его бровки. В результате получалась заполненная камнем конструкция небольшой толщины с основанием и крышкой из проволочной сетки, соединенными по бокам, и с промежуточными соединениями поперек склона. Принцип работы этой конструкции уже соответствовал таковому для современных матрацев, используемых для укрепления берегов и русел рек.

В начале 1960-х годов этот сложный процесс был частично автоматизирован. Были разработана и внедрена конструкция «Матрац Рено» (Reno Mattress), в которой на сегодня основание и боковые стенки состоят из готовых компонентов (рис. 2, б) [5]. Однослойные перегородки (диафрагмы) устанавливаются и соединяются с остальными элементами на месте. После заполнения камнем коробчатой конструкции небольшой толщины сверху укладывается и прикрепляется крышка из проволочной сетки. Еще в 1980-х годах конструкция этого типа была подвергнута длительным обширным международным испытаниям с целью получения основы для методов проектирования берегозащитных систем [6, 7, 8, 9].

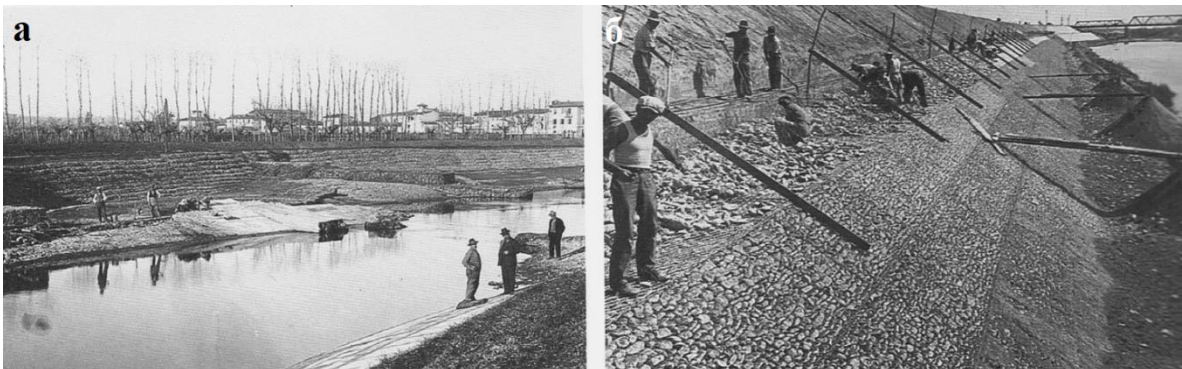


Рис. 2. Исторические фотографии берегоукрепительных систем в итальянском регионе Эмилия-Романья: а – укрепление берегов с помощью конструкций «Мантеллата Волга» в конце 1920-х годов; б – укрепление берегов габионами матрачного типа в начале 1960-х годов

С 1990-х годов компания «Маккаферри» автоматизировала производство матрацев с двойными поперечными перегородками (диафрагмами) на своих заводах по всему миру. Принцип их производства прост, а эффект значителен. В процессе непрерывного производства сетки ее лента через определенные отрезки длиной около 1 м стопорится на выходе с помощью временно выдвигаемого устройства, каждый раз образуя «волну» нужной высоты. С помощью прижимного устройства эта «волна» складывается и формирует очередную будущую двойную диафрагму матраца. И только после этого лента сетки попадает в намоточное устройство и скатывается в рулон. Такой принцип производства обеспечивает в последующем монтаж (на месте) конструкции, в которой основание и диафрагма выполнены из одной сплошной ленты сетки, что исключает любой изгиб или провисание диафрагмы, прикрепленной только к боковым стенкам. Это дает значительно более хорошие рабочие характеристики матраца по сравнению с конструкцией 1960-х годов [10].

Недавно появившиеся плоские габионы нового поколения Матрац Рено Плюс с диагональными стяжками (Reno mattress Plus with X-ties, RMP-X) были разработаны с четкой целью внесения технического и концептуального вклада в сохранение устойчивости климата, а также для того, чтобы появилась возможность применения габионов матрачного типа в новых областях. В результате может быть достигнуто существенное сокращение поступления в атмосферу парниковых газов и значительное уменьшение затрат на охрану природных ресурсов. Эти преимущества более подробно рассматриваются в следующих разделах.

ИННОВАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

В чем именно заключается инновационность? Матрацы нового поколения характеризуются двумя существенными изменениями (рис. 3):

- трехмерная система скрепления сеток основания и крышки в виде так называемых диагональных (X-образных) стяжек для повышения устойчивости конструкции;
- новое полимерное покрытие ПолиМак (PoliMac) со значительно более надежными эксплуатационными характеристиками для оптимизации долговременной защиты от коррозии.

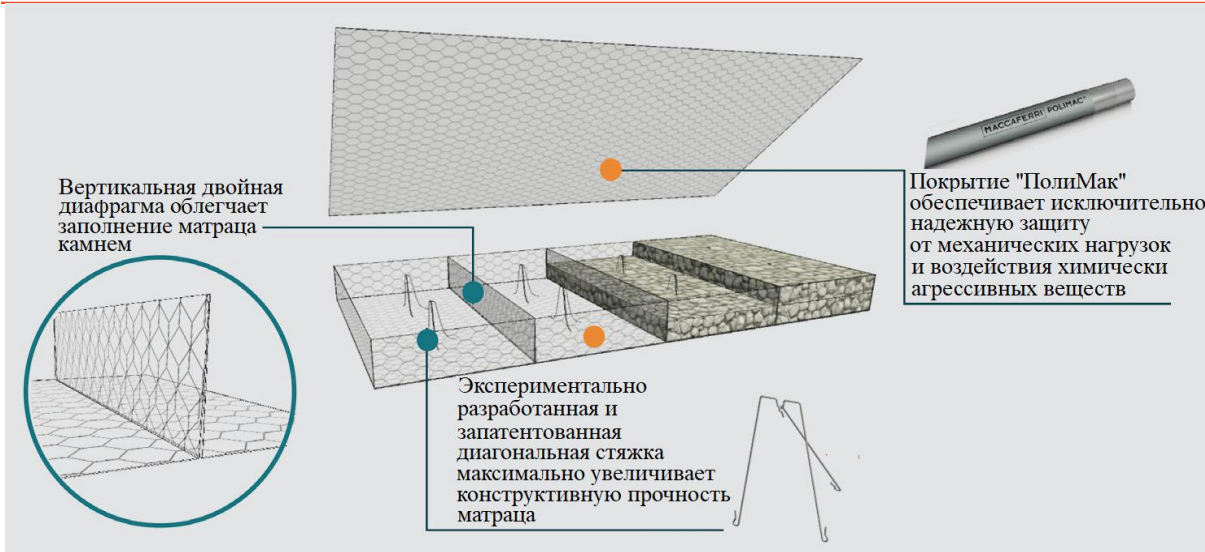


Рис. 3. Устройство инновационного Матраца Рено Плюс с двойными вертикальными диафрагмами, трехмерными диагональными (X-образными) стяжками и покрытием ПолиМак

Какое влияние эти новшества оказывают на работу матрацев, показанную при испытаниях, а также на возможности и экономичность их применения?

Повышение эффективности работы

Результаты испытаний [11, 12, 13] Матрацев Рено Плюс толщиной 17, 23 и 30 см на сопротивление потоку с прямым сравнением с продуктами-предшественниками показали увеличение эффективности их работы в 2 раза для всех трех вышеуказанных конструкций, а также повышение их прочности на сдвиг заметно больше чем на 100% по сравнению с матрацами с одинарными диафрагмами, которые все еще предлагаются на многих рынках (рис. 4). Однако компания «Маккаферри» использовала системы с одинарными внутренними перегородками в Европе только до 1980-х годов, а с 1990-х годов уже предлагала системы с двойными диафрагмами. Как показано на рисунке 4, эффективность работы Матрацев Рено Плюс более чем на 100% больше по сравнению с Матрацами Рено с одинарными перегородками и примерно на треть больше по сравнению с Матрацами Рено с двойными диафрагмами.



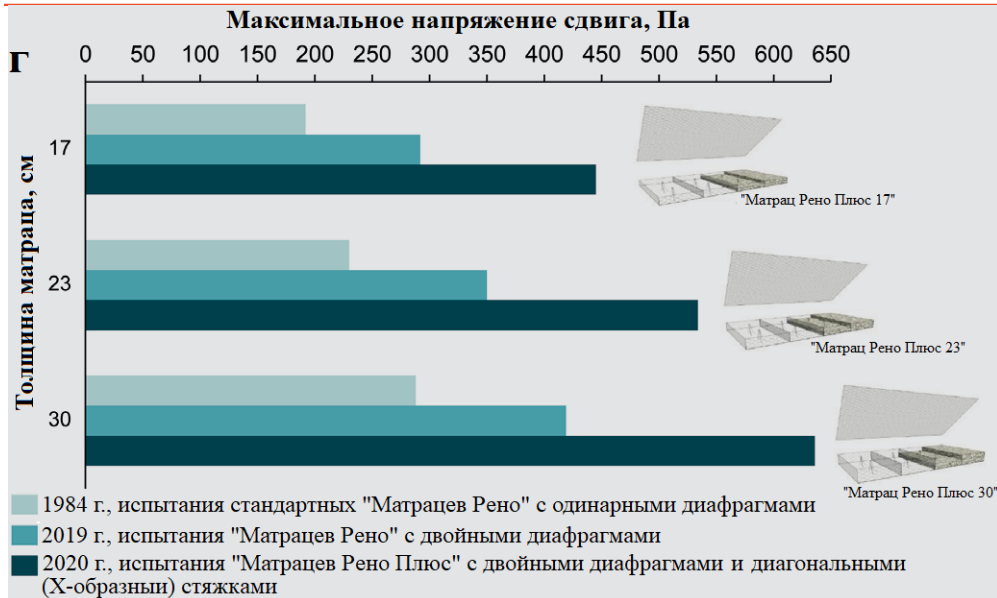
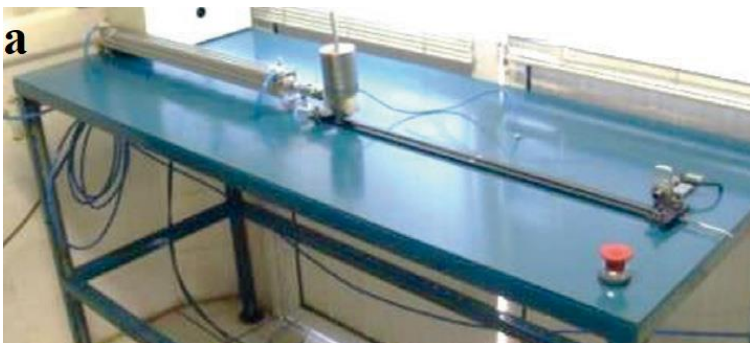


Рис. 4. Результаты испытаний трех поколений матрацев от компании «Маккаферри» в Колорадском университете в 2018–2020 годах: фотографии испытаний на сопротивление потоку (а–в) и полученные в их результате диаграммы максимальных напряжений сдвига для матрацев различной толщины (г)

Улучшенная защита от коррозии (покрытие ПолиМак) не влияет ни на предельное сопротивление сдвигу, выявленное при испытаниях на сопротивление потоку, ни на потенциальную экономию природных ресурсов, ни на затраты на монтаж систем матрацев, ни на поступление углекислого газа в атмосферу. Это инновационное защитное покрытие с большим запасом удовлетворяет требованиям в отношении стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения, экстремально низких температур или химически агрессивных веществ (но этим требованиям, в принципе, удовлетворяли и ранее использовавшиеся покрытия). Наиболее впечатляющим и важным улучшением его характеристик является десятикратное увеличение устойчивости к истиранию, что было доказано при соответствующих испытаниях в соответствии со стандартом DIN EN 60229 (рис. 5).



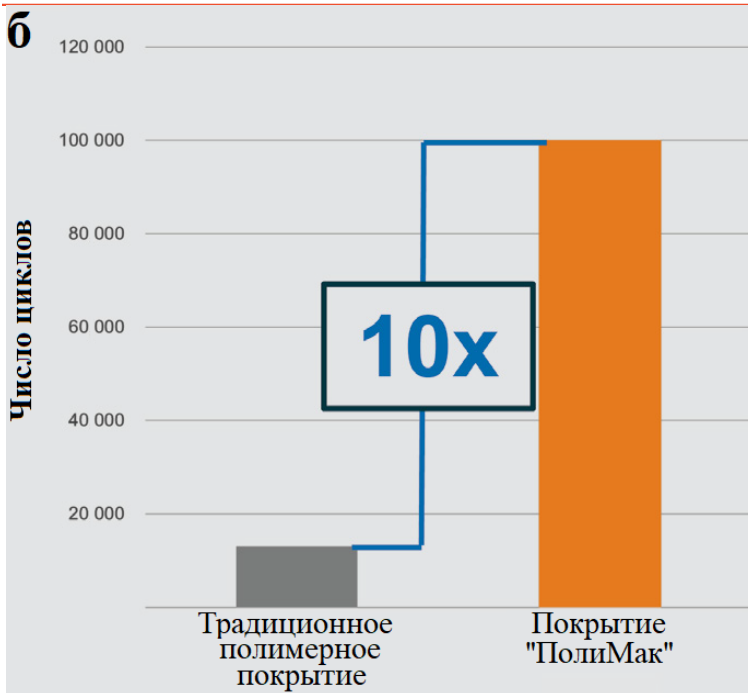


Рис. 5. Испытания нового покрытия ПолиМак в соответствии со стандартом DIN EN 60229 показали десятикратное увеличение его устойчивости к истиранию по сравнению с поливинилхлоридным (ПВХ) покрытием: а – фотография процесса испытания (специальное устройство типа пневматического пистона двигает прижатую к покрытию металлическую точку вверх и вниз со скоростью 300 мм/с. – *Ред.*); б – результаты тестов

Возможные области применения

Значение результатов рассмотренных выше испытаний можно очень легко проиллюстрировать с помощью предельных нагрузок при различной высоте конструкции.

Максимальная нагрузка, которую может выдержать Матрац Рено высотой всего 17 см с двойными диафрагмами, превышает таковую для стандартного матраца высотой 30 см с однослойными диафрагмами.

Предельная нагрузка, которую может выдержать Матрац Рено Плюс высотой всего 17 см с двойными диафрагмами и диагональными стяжками, превышает таковую для «Матраца Рено» высотой 30 см с двойными диафрагмами.

А Матрац Рено Плюс высотой 30 см обеспечивает предельное сопротивление сдвигу почти 650 Па, что ранее считалось недостижимым для габионов матрацного типа.

Это влияет на возможные области применения инновационных конструкций в двух аспектах.

1. Проекты, которые ранее были разработаны на основе предельных нагрузок для матрацев предыдущих поколений, теперь могут быть реализованы с помощью матрацев нового поколения со значительно меньшей толщиной слоя.

2. Проекты, для которых ранее нельзя было использовать плоские габионные конструкции из-за чрезмерных сдвигающих сил, теперь также могут быть реализованы с помощью матрацев нового поколения. Если такие новые области применения характеризуются большими силами сдвига, которые будут действовать на матрацы, необходимо учитывать все общие граничные условия. Силы, которые могут воздействовать на каменный наполнитель и вызывать его «скатывание», будут успешно рассеиваться за счет стабилизации его положения в результате повышения жесткости крышки с помощью новых диагональных стяжек. А значительно более высокая устойчивость полимерного покрытия к

истиранию (рис. 6) позволит выдерживать более сильные воздействия, связанные с высокими скоростями потоков.

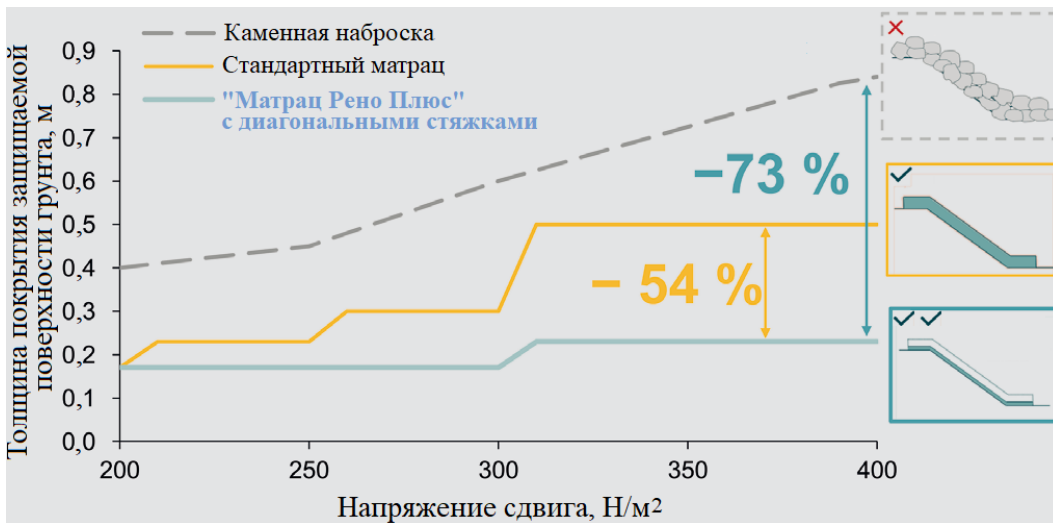


Рис. 6. Потенциальная экономия на каменном заполнителе матрасов при различных сдвигающих силах

Потенциал экономии

Совершенно очевидно, что уменьшение толщины матраса в сочетании с его превосходными эксплуатационными характеристиками приводит к экономии, поскольку используется меньше материалов для изготовления металлоконструкций и меньше каменного заполнителя (см. рис. 6). Соответственно, нужен меньший объем транспортировки этих материалов на строительную площадку, а строительство защитных систем будет выполняться быстрее.

К тому же указанное выше приводит к меньшему весу каждого матраса (что может, например, сыграть важную роль при подводной установке защитных систем с помощью грузоподъемной траверсы или монтажной стрелы), а также в целом к более эффективному и менее долгому использованию строительной техники и труда обслуживающего ее персонала и монтажников. В дополнение к более низким затратам на материалы и рабочую силу это также приводит к значительному снижению поступления в атмосферу углекислого газа.

А если сравнивать инновационные матрасы не с предыдущими их поколениями, а с системами берегоукрепления из каменной наброски, то потенциал экономии становится еще более впечатляющим: 73% по толщине слоя (см. рис. 6) и 82% по поступлению в воздух углекислого газа (рис. 7).

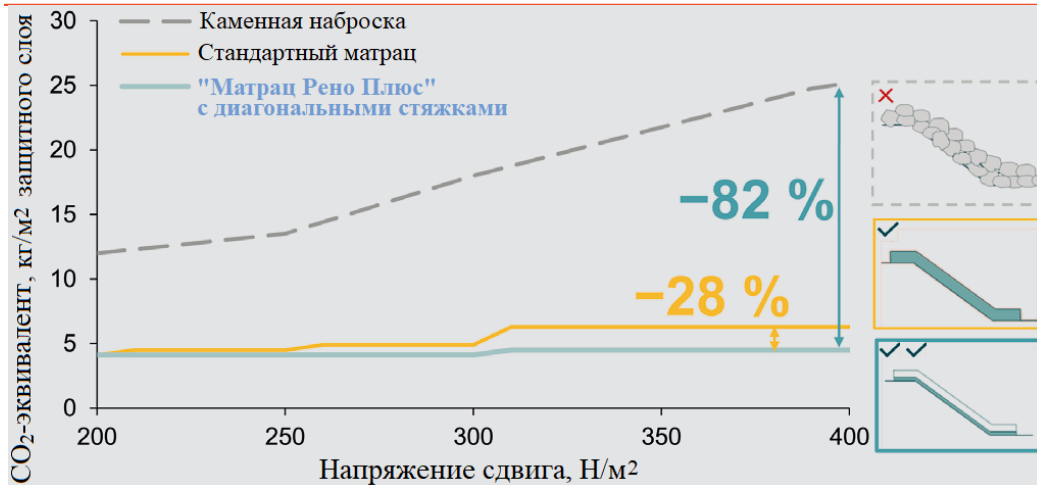


Рис. 7. Потенциальное уменьшение поступления в атмосферу углекислого газа для нового поколения берегозащитных систем при различных силах сдвига по данным из «Декларации о соответствии продукта экологическим нормам» – Environmental Product Declaration, EPD (CO₂-эквивалент обозначает, какой массе углекислого газа равна общая масса выбросов парниковых газов исходя из их воздействия на климат, но в первоисточнике на графике не указано, для какого срока приведены данные – для всего срока службы защитных систем или для иного периода времени. – *Ред.*)

В отношении конструкций и их антикоррозионного покрытия Матрацы Рено Плюс, безусловно, обладают потенциалом для строительства значительно более экономичных, долговечных и экологически безопасных систем защиты берегов и русел водотоков и в том числе обеспечивают значительную экономию природных ресурсов, денег и времени, а также сокращают поступление в атмосферу углекислого газа.

ЗАЩИТА ФЛОРЫ И ФАУНЫ / ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Наблюдения за берегоукрепительными и руслозащитными системами из габионов матрацно-тюфячного типа возрастом до 100 лет показывают, что флора и фауна «овладевают» этими заполненными камнем стальными конструкциями за сравнительно короткие промежутки времени (рис. 8, 9). Это относится, в частности, к быстрому развитию растительности на склонах и в переходных к воде зонах, где при отсутствии прополки приживаются даже древесные растения, причем сетка с годами не просто раздвигается, а интегрируется в древесину стволов.



Рис. 8. Берегоукрепление с помощью комбинации матрацевидных и обычных габионных конструкций: а – строительство берегоукрепительной системы; б – начало образования растительного покрова на ней; в – выросший на ней лес



Рис. 9. Берегоукрепление с помощью комбинации матрацевидных и обычных габионных конструкций: а – строительство берегоукрепительной системы; б – образовавшийся на ней растительный покров

Попадание мелкодисперсного материала в промежутки между заполняющими матрацы камнями в результате действия течений, дождей или ветра создает органическую основу для прорастания там многих видов растений. Этот естественный процесс можно ускорить, используя гидросмеси для посева местных трав.

А мелкие животные, в том числе амфибии, находят для себя безопасные убежища и спасение от хищников в узких щелях между поверхностями камней в матрацах.

То же самое относится и к участкам этих конструкций, покрытым водой, где более мелкие водные организмы и водные растения быстро закрепляются на поверхностях сеток и камней и в защищенных пространствах между ними (рис. 10).



Рис. 10. Колонизация подводной системы из матрацевидных габионов в Южной Африке офиурами, или змеехвостками (донными иглокожими, внешне напоминающими морских звезд, но имеющими членистые лучи, которые при питании поднимаются вверх. – *Ред.*)

Проверка того, что компоненты системы из Матрацев Рено Плюс не оказывают неблагоприятного воздействия на окружающую среду, была успешно выполнена в рамках национального «Германского экологического сертификата» в соответствии с инструкцией

М GeoК Е, основанной на европейских и международных стандартах и опыте строительства [14], и в соответствии с международно признанной процедурой испытаний для подготовки «Декларации о соответствии продукта экологическим нормам» (Environmental Product Declaration, EPD [15])

ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ С ПОМОЩЬЮ BIM

Проектирование систем берегоукрепления из инновационных Матрацев Рено Плюс поддерживается с помощью специального бесплатного программного обеспечения (рис. 11, а) со всеми необходимыми параметрами [16].

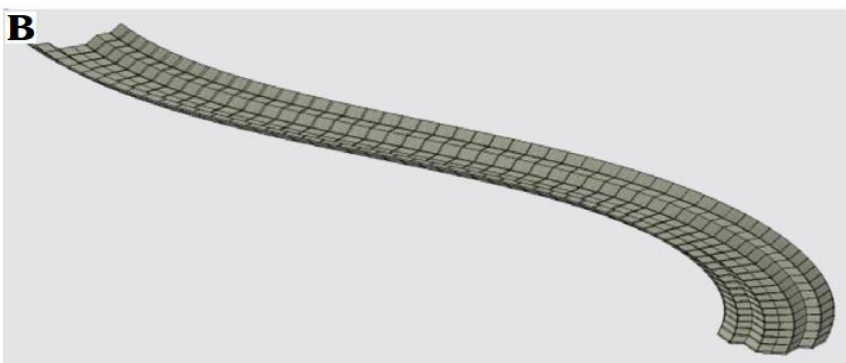
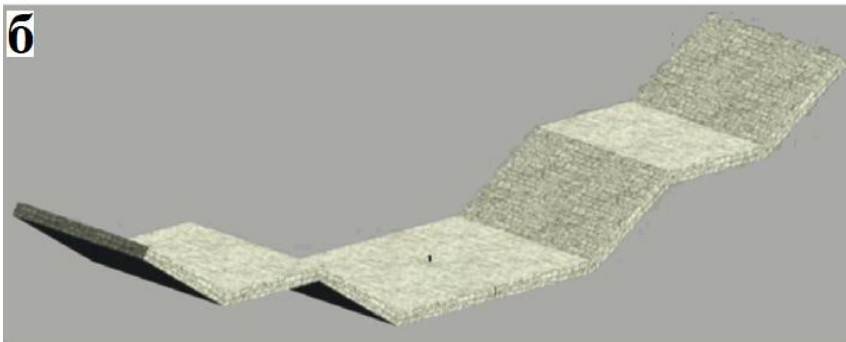
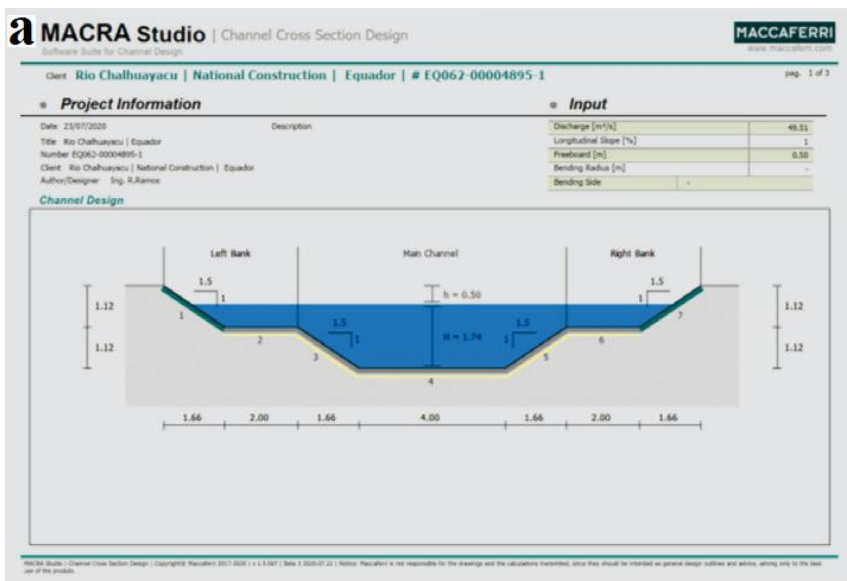


Рис. 11. Проект берегоукрепительной системы с использованием программного обеспечения Macra Studio 1.5 (а); 3D-визуализация этой системы с элементами планирования BIM: короткий участок системы (б), изображение укрепленного русла и берегов реки на более длинном участке (в)

Гидротехнические проекты все чаще реализуются с использованием информационного моделирования объектов строительства (Building Information Modeling, BIM), которое позволяет разработать трехмерную модель системы защиты русла и берегов водотока (например, рис 11, б, в), а также поддерживает процессы планирования, проведения конкурсных торгов (тендера), получения заказа, развития проекта на всех этапах, в том числе на этапе эксплуатации.

Компания «Маккаферри» предоставляет проектировщику элементы планирования, которые можно использовать непосредственно для информационного моделирования [17].

Объекты BIM включают подробную геометрическую и физическую информацию о продукте для технического описания, определения количеств элементов и составления ведомости объемов работ. Они подходят для интеграции в программный комплекс для автоматизированного проектирования Autodesk Revit или (в формате файлов ICF) в другие системы, также реализующие принципы BIM. Необходимые данные, относящиеся к продукту, также можно импортировать в конечноэлементную программу Plaxis и эффективно использовать для дополнительных расчетов.

Объекты BIM были утверждены Британским советом по лицензированию (British Board of Agreement, BBA).

РЕЗЮМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Водотоки Германии имеют общую длину около 7 200 км. В большинстве систем берегоукрепления, основанных преимущественно на положительном историческом опыте, используется каменная наброска. Такие системы регулярно ремонтируют и местами обновляют.

Результаты трехлетней серии исследований показали, что защита берегов и русел водотоков в значительной мере может быть выполнена также с помощью систем из инновационных Матрацев Рено Плюс, описанных в данной статье, которые имеют огромный потенциал экономии в отношении первоначальных затрат, транспортировки материалов и потребления ресурсов. Эти системы также обеспечивают эффективную защиту от роющих животных. И соответствуют требованиям об учете аспектов долговременной защиты окружающей среды и климата [18].

Матрацы Рено Плюс с диагональными стяжками обеспечивают снижение поступления в атмосферу углекислого газа на 82% и уменьшение толщины слоя каменного заполнителя на 73% по сравнению с обычной каменной наброской и, таким образом, защищают климат и природные ресурсы. То, что системы из таких матрацев со временем могут полностью покрыться растительностью, означает, что они идеально вписываются в естественную среду и пейзажи берегов рек или каналов.

При подготовке новых проектов можно получить доступ к 140-летнему опыту в области гидротехники, к бесплатному современному программному обеспечению для проектирования и к бесплатным библиотекам элементов для BIM.

Благодаря доказанному существенному уменьшению поступления в атмосферу углекислого газа, значительному сокращению потребления ресурсов и почти естественному зеленому внешнему виду укрепленной береговой линии использование рассмотренных инновационных матрацев может внести большой вклад в сохранение устойчивости окружающей среды и климата.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА

Michael M., Masola F. Sustainable climate protection in hydraulic engineering with innovative river mattresses for bank protection // GeoResources Journal. 2021. Vol. 3. P. 14–20. Special Topic. URL: georesources.net/download/GeoResources-Journal-3-2021.pdf.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ

1. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG): Technisch-biologische Ufersicherungen an Bundeswasserstraßen. URL: ufersicherung-baw-bfg.baw.de/.
2. LAWA-Expertengruppe „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“: Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. 2017. URL: umweltministerkonferenz.de/documents/top_29_wasserwirtschaft_bericht_1532603521.pdf.
3. Melcher et al. Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur unter gewässertypspezifischer Berücksichtigung von Fischen und benthischen Evertebraten am Beispiel von Lanitz und Pinka. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. 2016. Vol. 68. S. 308–323. DOI: 10.1007/s00506-016-0321-8.
4. Arndt M. Hoherer Überstromungswiderstand von Deichen und Ufern durch Sicherungen gegen Nage- und Wuhltiere. GeoResources Zeitschrift. 2017. Vol. 4. S. 12–18. URL: georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2017.pdf.
5. Agostini R., Cessario L., Ferraiolo F., Papetti A. Flexible gabion and Reno mattress structures in river and stream training works. Section two. Longitudinal structures. Bologna, Italy: Officine Maccaferri S.p.A., 1988.
6. Simons D.B., Chen Y.H., Swenson L.J. Hydraulic test to develop design criteria for the use of Reno mattresses. Fort Collins, Colorado, USA, 1983.
7. Sogreah Ingenieurs Conseil: Protection de berges de 1/3 contre le battillage par matelas Reno: Report 320839 R1, Grenceia, France, July 1983.
8. Incyht Laboratorio De Hidraulica Aplicada: Ita.
9. Brea A.E., Lasarthe H.J. Hopwood: Estudio de colchort no sometidas a oleaje. Ezeiza, Buenos Aires, 1987.
10. Eggleston S. Hydraulic testing and data report for phase 1 – rock gabion mattress testing.
11. Galante F. Hydraulic Handbook. Bologna: Officine Maccaferri s.p.a., 2017 (in-house publication).
12. Eggleston S., Hogan T., Thornton C.I., Keen A. Test Report. Colorado State University, January 2019.
13. Pietro P.D., Thornton C., Hogan T., Mandavkar S., Mazon N. Experimental study onrevet mattresses in open channel flow: a new design approach against erosion. ICSE, 2020.
14. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV: Merkblatt über die Anwendung von Gekunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (M Geok E). FGSV-Nr. 535. 2016.
15. EPD in accordance with ISO 14025 and EN 15804:A1+PCR:2012:01. Construction products and construction services. Version 2.2. Geographical scope. GlobalEPD registration number: S-P-01466. Date of publication (issue): 2019-01-18. Date of validity: 2023-12-17 (5 years).

16. Maccaferri Group. MACRA Studio Software. URL: maccaferri.com/com/wp-content/uploads/2020/08/MACRA-Studio-v1.5.zip.
17. Maccaferri Group. BIM-Store. URL: maccaferri.com/bim/.
18. Schneider T., Schmidt V. Rechtsgutachten umweltfreundliche öffentliche Beschaffung. Umweltbundesamt, Aktualisierung 2020, Texte 188/2020. 2020. URL: umweltbundesamt.de/publikationen/rechtsgutachten-umweltfreundliche-oeffentliche.