

# **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Артемичик<sup>1</sup> А. А., Левкевич<sup>2</sup> В. Е.*

*<sup>1</sup>М.т.н., ассистент кафедры водоснабжение и водоотведение БНТУ  
Минск, Беларусь, artemchik.aliaksandr@gmail.com*

*<sup>2</sup>Д.т.н., профессор, профессор кафедры водоснабжение и водоотведение БНТУ  
Минск, Беларусь, v.lev2014@mail.ru*

## **Введение**

На территории Республики Беларусь расположено около 155 водохранилищ с полным объемом более 1 млн м<sup>3</sup> каждое, общей площадью зеркала более 834 км<sup>2</sup>, полным объемом – более 3,1 км<sup>3</sup>, полезным – более 1,27 км<sup>3</sup>.

Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных конструкций и сооружений оценивается в пределах 120 км, что составляет около 50 % протяженности всех креплений на водохранилищах.

В общем случае выбор типа защиты откоса от разрушения должен основываться на соблюдении баланса между экономичностью и эффективностью строительства и эксплуатации, а также надежностью и долговечностью при наименьших эксплуатационных затратах, простотой возведения и возможностью проведения ремонтно-восстановительных работ.

## **Факторы и условия, влияющие на устойчивость откосов и берегов**

Степень эрозии в основном зависит от преобладающего направления ветра (ветро-волнового режима), ориентации к нему плотины и берегов, крутизны откосов и берегов, колебаний уровня воды, геологических и гидрогеологических, ледовых явлений, активности водного транспорта и других факторов.

## **Анализ существующих способов креплений откосов подпорных сооружений и берегозащиты**

Проведя сравнительный анализ традиционных и инновационных способов защиты откосов подпорных сооружений и берегов на основе натуральных стационарных наблюдений и экспедиционных обследований, а также литературных источников, было выделено несколько основных групп.

1. По характеру взаимодействия с водным потоком берегоукрепительные сооружения подразделяются на *активные*, использующие энергию потока для намыва и сохранения береговых наносов (буны, шпоры, волнорезы (молы, волноломы) и т. д.), и *пассивные*, противостоящие водному потоку за счет прочности своей конструкции и лишь защищающие береговой откос от размыва (бетонные и железобетонные плиты, каменная наброска и др.).

Активные берегоукрепительные сооружения практически не используются в Беларуси ввиду малых плановых размеров водоемов. Такие сооружения применены лишь на водохранилищах: Заславское, Вилейское, Погост, Солигорское и некоторых др.

2. Второе условное принятое нами деление всех креплений на проницаемые или непроницаемые типы. По нашему мнению, проницаемость крепления является ключевой характеристикой, которая в свою очередь прямо влияет на устойчивость сооружения.

3. Немаловажным критерием при классификации является гибкость (полностью отсутствующая или малая) тела крепления и его деформируемость.

Практика эксплуатации креплений показала, что жесткие железобетонные конструкции не решают проблему эффективной защиты берегов, в худшем положении оказываются именно те участки побережья водных объектов, где проводилось активное берегоукрепление с применением железобетона. Причина этого состоит в том, что внедрение жестких конструкций в береговую зону приводит к существенной перестройке всей системы взаимосвязей и взаимозависимостей гидро- и литодинамических процессов.

Критериям проницаемости и гибкости соответствуют: каменные наброски и каменные наброски, покрытые полиуретановыми составами; матрацнотюфячные габионы; гибкие бетонные покрытия (ГБП); геоматы, геомембраны и георешетки в сочетании с креплениями из каменной наброски, залужения и т. д.; другие набросные и насыпные крепления (тетраподы, отсыпки из отработанных железобетонных конструкций и т. д.); инженерно-биологические способы защиты.

На основании вышесказанного было выполнено упрощенное и укрупненное макромоделирование, которое представляло из себя гибкие бетонные маты (ГБМ) из квадратных блоков, соединенных двумя разными способами, а также треугольных и шестиугольных блоков. Визуализация принципиальной работы гибких креплений из элементов шестиугольной формы показана ниже на рисунке.

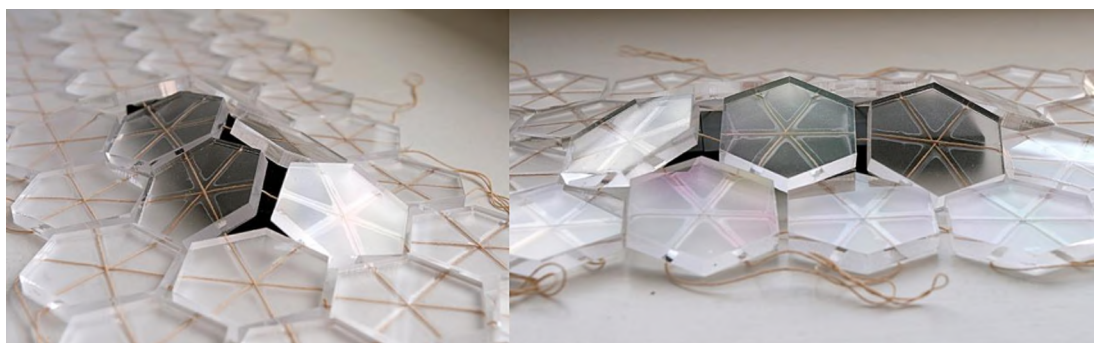


Рисунок – Крепление из шестиугольных блоков

Моделирование подтвердило и показало, что «классические» ГБМ из квадратных блоков не могут полностью покрыть изгибы защищаемой поверхности, а связи блоков по углам не дали никакого преимущества, а наоборот повлияли на жесткость конструкции в худшую сторону. Треугольные блоки не показали своей эффективности ввиду «расхлябанности» конструкции, это связано со способом их соединения между собой (середины сторон) и количеством связей (трех). Самым эффективным типом, как и ожидалось, стали шестиугольные блоки, они обладают лучшей покрывной способностью, чем привычные квадратные блоки, это связано как с их «уплотненной» формой, так и количеством связей, т. е. такие блоки более эффективны на полигональных поверхностях, которыми берега водоемов и являются. Это и подтвердили публикации о ряде объектов с применением ГБМ из шестиугольных блоков в Канаде.

Хоть ГБМ нельзя назвать инновационным типом крепления, однако на данный момент нет простой и удобной методики расчета для определения устойчивости такого покрытия, а влиянием гидрогеологического режима основания в принципе пренебрегают, равно как и устойчивостью такого крепления на откосе, если традиционный обратный фильтр в виде слоев из каменной наброски заменяется на геосинтетические материалы.

### **Заключение**

Выделены основные факторы и условия, влияющие на абразию берегов водохранилищ и крупных естественных водоемов в условиях Республики Беларусь.

Проведен анализ традиционных способов крепления берегов и откосов, применяемых в Беларуси, а также инновационных, выявлены перспективные способы крепления.

На основе физического имитационного моделирования определена наиболее эффективная конструкция гибкого крепления откосов подпорных сооружений и берегов в условиях Беларуси.