

УДК [574+ 594]

Оценка эффективности эксплуатации берегозащитных сооружений на основе данных полевых обследований и технико-экономического анализа

Левкевич В. Е.¹, Бузук А. В.², Сударева Т. А.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

В представленной работе приведены результаты технико-экономических исследований по оценке эффективности различных типов крепления откосов дамб и плотин, используемых на водохранилищах Беларуси.

Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных конструкций и сооружений по данным натурных обследований, проведенных в период 2013–2021 гг., оценивается в пределах 120 км, что составляет около 50 % протяженности всех креплений на водохранилищах. Ниже на рис. представлены типичные примеры повреждения крепления берегов и откосов дамб и плотин, наблюдаемые в условиях Беларуси, которые получены и зарегистрированы при натурном обследовании ряда водохранилищ страны.



Рис. Характерные разрушения сборных и сборно-моноклитных креплений

В процессе исследований была оценена стоимость берегозащиты различных конструкций и типов, имеющих наибольшее распространение в Беларуси:

– тип «георешетка»;

- тип «гибкое бетонное крепление»;
- тип «искусственная самоотмостка»;
- тип «шпунтовая стенка»;
- тип «железобетонные плиты»;
- тип «каменная наброска».

При выделении величины годовых расходов на эксплуатацию берегозащитных сооружений в отдельную статью затрат, не входящую в расходы всего гидроузла, определение экономической эффективности рассматриваемых вариантов защиты производится путем сопоставления суммы капитальных вложений и эксплуатационных расходов:

$$\Pi_i = M_i + k_i E_n,$$

где Π_i – приведенные затраты (ПЗ) по каждому варианту, тыс. руб/год; M_i – годовые эксплуатационные расходы (по вариантам), тыс. руб/год; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимается 0,12; k_i – капитальные вложения (затраты) по типам, тыс. руб.

Главной составляющей экономической эффективности применяемых креплений откосов являются капитальные вложения k_i . Для определения капитальных вложений по строительству отдельных типов креплений на основании объемов работ составлялись локальные сметы. Расчет смет производился по НРР 2017 г. в текущих ценах на июль 2021 г. Нормативы расхода ресурсов (НРР) – нормативы, устанавливающие расход ресурсов в натуральном выражении, и нормативы, определяемые в процентном выражении, в том числе нормы общехозяйственных и общепроизводственных расходов, плановой прибыли, транспортных расходов, определялись на основе Приказа Минстройархитектуры от 31.10.2016 № 238 «Об утверждении нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении» и сборников НРР-2017. В расчетах НРР объединены по зонам строительства, видам работ и конструкций. Ежегодные эксплуатационные расходы C , тыс. руб., определялись по формуле

$$C = C_T + C_{з/п} + C_{з/п}^{\text{нач}} + C_{пр},$$

где C_T – транспортные расходы на доставку группы работников для мониторинга состояния берегозащиты, которые включают в себя стоимость топлива и амортизацию автотранспорта, составляют 0,04 тыс. руб. Расстояние до расчетного водохранилища туда и обратно принимается равным 15 км, $C_{з/п}$ – заработная группы работников из 5 чел. Средняя заработная плата в 2021 г. составляет в среднем 1400 руб. Выезд работников для мо-

ниторинга состояния крепления принимался два раза в год, т. е. два рабочих дня, тогда $C_{з/п} = (5 \cdot 1,4) / 21 \cdot 2 = 0,67$ тыс. руб. $C_{нач з/п}$ – налоговые начисления на заработную плату, принимались равными 40 % от $C_{з/п}$;

$$C_{нач з/п}^{нач} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{пр}$ – прочие расходы, включающие текущий ремонт, износ приборов измерения, командировки и так далее. Величина $C_{пр}$, тыс. руб., ориентировочно определяется в размере 40 % от суммы затрат на зарплату:

$$C_{пр} = 0,4 C_{з/п},$$

$$C_{пр} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда ориентировочные эксплуатационные расходы составят

$$C = 0,04 + 0,67 + 0,27 + 0,27 = 1,25 \text{ тыс. руб.}$$

Практика показала, что расходы на текущий ремонт инновационных типов берегоукрепления определить не представляется возможным. После сметных расчетов составлялись ведомости ресурсов по каждому из видов креплений. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы (ОХР и ОПР) – сумма средств, предназначенных для возмещения затрат подрядным организациям, связанных с созданием общих условий строительного производства.

К нормам ОХР и ОПР применялись корректирующие коэффициенты (1,0 и 0,57), доводимые в составе республиканской нормативной базы, рассчитанные исходя из изменения уровня размера заработной платы по строительству, материальных и иных затрат. Результаты расчета капитальных вложений при строительстве инновационных типов крепления («гибкое бетонное крепление», «георешетка», «искусственная самоотмостка», «шпунтовая стенка»), а также для классических методов («железобетонные плиты», «каменная наброска») приведены ниже. Сравнительный расчет стоимостей капитальных вложений k_i в крепления откосов различного типа производился на 10 м пог. условного берега (откоса) и составил:

- тип «георешетка» – 2,759 тыс. руб.;
- тип «гибкое бетонное крепление» – 7,817 тыс. руб.;
- тип «искусственная самоотмостка» – 6,548 тыс. руб.;
- тип «шпунтовая стенка» – 5,882 тыс. руб.;
- тип «ж/б плиты» – 8,290 тыс. руб.;
- тип крепления «каменная наброска» – 3,861 тыс. руб.

Анализ показал, что самый экономически выгодный типом крепления является на этапе строительства – крепление георешеткой, самое дорогое – крепление железобетонными плитами.

Наряду с оценкой экономической эффективности на стадии строительства была проведена оценка эффективности конструкций различных типов креплений с учетом определенного периода эксплуатации. Период оценки составлял 5 лет с момента ввода в эксплуатацию объекта. Для оценки был предложен коэффициент эффективности крепления при эксплуатации ($k_{эф}$), который определяется по формуле:



$$k_{эф} = m_2 \cdot St / m'_2 \cdot L_{отк},$$









где m_2 – заложение исходного расчетного профиля, покрытого креплением; St – величина линейной переработки (деформации) надводной части профиля; m'_2 – заложение профиля откоса, покрытого креплением после 5 лет эксплуатации; $L_{отк}$ – расчетная полоса участка откоса ($L_{отк} = 1$ м).

Значения $k_{эф}$ для различных типов креплений приведены ниже в табл.

Таблица

Коэффициент эффективности крепления $k_{эф}$

Типы крепления берегов и грунтовых откосов	Форма крепления	Состояние крепления после 5 лет эксплуатации	Коэфф. эффективн. крепления ($k_{эф}$)
1	2	3	4
1. Георешетка			0,43
2. Каменная наброска			0,65

1	2	3	4
3. Железобетонное крепление гибкое			0,5
4. Плиты железобетонные			0,65
5. Крепление самоотмосткой			0,9
6. Шпунтовая стенка			1,0

В практике отечественной берегозащиты применяются стандартные (классические) крепления откосного типа различных конструкций – асфальтобетонные, бетонные или железобетонные, каменная наброска. Обследование объектов с различными типами креплений показало, что бетонные и железобетонные крепления за время эксплуатации, зарекомендовали себя как надежное средство защиты откосов. Деформации таких креплений представлены раскрытием межплиточных строительных, температурных и осадочных швов. Однако существует необходимость применения инновационных типов крепления: георешетки, гибких бетонных матов, самоотмостки, шпунта из ПВХ.

В результате обобщения материалов натуральных обследований берегозащитных сооружений страны, находящихся в эксплуатации не менее 5 лет, можно отметить:

– крепление в виде георешетки – страдает тем, что в результате вымыва грунта из-под геотекстиля происходит просадка крепления. Это крепление требует периодической подсыпки щебня и замены разрушенных ячеек георешетки;

– крепление каменной наброской – требует постоянной подсыпки дорогостоящего камня и гравия в местах локальных размывов. Распространено, т. к. имеет простую технологию возведения и использование только природных материалов;

– крепление «гибкий бетон» – наблюдаются разрушения крепления при воздействии ледовой нагрузки, характеризуется дороговизной материала крепления;

– крепление «железобетонными плитами» – страдает повышенным раскрытием межплиточных швов, через которые вымывается грунт обратный фильтр. Имеет широкое распространение и проверенную временем положительную эффективность;

– крепление «искусственная самоотмостка» – наблюдения показали экономическую эффективность (практически отсутствуют эксплуатационные затраты при этом используются только природные материалы – грунты с повышенной неоднородностью), стабилизирует берег. Используется только в грунтах с включениями гравия, гальки, валунов и т. п.;

– крепление «шпунтовая стенка» – долговечное и надежное крепление, не подверженное размыву и коррозии. Требуется наличие специальной техники. При использовании металлических (а не ПВХ) шпунтов при большой глубине забивки стоимость возведения крепления очень дорогостоящая.

Проведенный анализ капитальных затрат показал, что самый экономически выгодный тип крепления на этапе строительства – крепление георешеткой, самое дорогое – крепление железобетонными плитами.

После анализа состояния креплений по натурным наблюдениям крепления после 5 лет эксплуатации наблюдаются локальные разрушения креплений, которые могут привести в будущем к разрушению берегозащиты в целом. Для оценки эффективности сравнивается $k_{эф}$ – коэффициент эффективности крепления. Как оказалось наиболее высокий коэффициент имеют крепления типа «искусственная самоотмостка» ($k_{эф} = 0,9$) и «шпунтовая стена» ($k_{эф} = 1,0$). Наиболее низкой эффективностью обладает тип «георешетка» ($k_{эф} = 0,43$) и «гибкий бетон» ($k_{эф} = 0,5$). Можно сделать вывод о неэффективности использования данных креплений ниже уровня

воды по склону, однако эффективность возрастает при использовании выше уровня воды (например, при комбинированном креплении).

УДК [574+504](576)

Экспериментальное исследование подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью дистанционных методов

Левкевич В. Е.¹, Мильман В. А.², Решетник С. В.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Приведены некоторые результаты полевых исследований процессов подтопления и абразии прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Для оценки подтопления территории в прибрежной зоне водоемов различного хозяйственного назначения и прогнозирования процессов абразии (переработки берегов) с применением БПЛА был определен ряд тестовых водоемов. К ним были отнесены: Заславское, Дубровское, Чижовское водохранилища, а также водохранилище Волковичи (Птичь). Для дистанционной съемки был использован БПЛА модели DJI Phantom 3 Professional, представленный ОИПИ НАН Беларуси. Аппарат оборудован цветной 12-мегапиксельной камерой, позволяющей выполнять видеосъемку формата HD и делать 12-мегапиксельные фотографии. Внешний вид квадрокоптера показан на рис. 1.



Рис. 1. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional