

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРЕПЛЕНИЙ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ

Н. Н. Линкевич, кандидат технических наук, доцент

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

Аннотация

Для оценки повреждений грунтовых сооружений проведено обследование гидротехнических объектов Республики Беларусь. Выявлены основные типы повреждений креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов. Приведены примеры разрушений креплений берегозащитных грунтовых сооружений на водохранилищах Беларуси. Рассмотрены виды контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений всех классов. Устанавливается организация наблюдения, периодичность проведения и состав осмотров, обследований и наблюдений. Даются предложения по обработке и обобщению данных измерений в натуре.

Ключевые слова: повреждение креплений, виды контроля, наблюдение, обследование креплений откосов, прочность, крепления откосов, волновое воздействие, разрушение креплений, эксплуатационный контроль.

Abstract

N. N. Linkevich

OPERATIONAL CONTROL OF THE DAMAGE FOLLOWING SLOPES PROTECTION OF SOIL STRUCTURES AND SHELVES

To assess the damage to soil structures, a survey of hydraulic structures of the Republic of Belarus was carried out. The main types of damage of slopes protection of soil structures and shelves have been identified. Examples of destruction of fastenings of coastal protection soil structures on reservoirs of Belarus are given. The types of control over the state of slopes protection of soil structures of all classes are considered. The organization, frequency and composition of examinations and observations is established. Suggestions are given for processing and generalizing.

Keywords: damage of protections, types of control, observation, inspection of slopes protection, strength, slopes protection, wave action, destruction of protections, operational control.

Введение

Надежность сооружения в значительной мере зависит от прочности и устойчивости крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений: плотин, дамб обвалования водохранилищ, ограждающих моллов судопропускных сооружений, береговых склонов и берегозащитных сооружений. Однако рекомендуемые методы расчетов прочности и устойчивости креплений [1, 2] не гарантируют безусловной надежности их работы:

- из-за невозможности точного, надежного прогнозирования расчетных параметров ветровых волн, характеристик ледового режима при периодических колебаниях уровня воды в водохранилище, стихийных явлений (землетрясения, катастрофические паводки, выбросы на откосы тяжелых плавающих тел и т. п.) ввиду вероятностного характера

изменения указанных факторов и недостаточного объема необходимых гидрологических и иных данных в районе размещения гидроузла;

- потери устойчивости грунтового основания под креплениями по истечении длительного периода их эксплуатации вследствие изменения геотехнических характеристик грунтов тела сооружения (вынос мелких фракций из слоя обратного фильтра, кольматация фильтра, разжижение мелкозернистых песков при динамическом воздействии волн и плавающих предметов на крепление откоса и т. п.);
- потери прочности материала крепления (бетона, асфальтобетона, камня) при продолжительной работе сооружения в условиях периодического изменения

уровня воды в водохранилище, замораживания и оттаивания воды в порах и трещинах материала, выветривания, выщелачивания, воздействия знакопеременной волновой нагрузки и др.

Учет вышеуказанных факторов при проектировании креплений весьма затруднен, а иногда и вообще невозможен. Это обстоятельство в ряде случаев становится причиной серьезных повреждений, а иногда и разруше-

ния креплений. Поэтому для обеспечения их надежности необходимо правильно рассчитывать и соответственно выполнять параметры креплений, своевременно осуществлять профилактические мероприятия по поддержанию их в работоспособном состоянии. Выбор этих мероприятий возможен на основе систематического эксплуатационного контроля креплений (визуальных осмотров, обследований и исследований) и диагностической оценки их состояния.

Виды контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений

Ознакомление с организацией натуральных наблюдений на действующих гидроузлах Республики Беларусь показало:

1) крепления откосов грунтовых сооружений не выделяются в самостоятельный объект контроля;

2) наблюдения в большинстве случаев проводятся не систематически, а начинаются лишь в тех случаях, когда повреждения и разрушения уже появились;

3) ввиду случайного характера наблюдений часто невозможно проанализировать развитие повреждений во времени и установить вызвавшие их причины;

4) результаты наблюдений не всегда увязаны с волновым и ледовым режимами и с изменениями уровня воды в водохранилище.

В связи с этим рекомендуется предусматривать следующие виды контроля:

- а) визуальные наблюдения;
- б) инструментальные обследования;
- в) исследование грунтов в зоне сооружения, прилегающей к креплению, колебания кривой депрессии при волновых воздействиях, волнового давления на верхнюю поверхность крепления и противодействия под креплением, вибрации плит и обусловленной ею потери устойчивости водонасыщенных грунтов в теле сооружения, изменения прочностных и деформационных характеристик материала крепления вследствие длительных динамических знакопеременных волновых воздействий, колебаний температуры и др.

Исследования проводят для определения характеристик прочности и устойчивости крепления и сопоставления их с проектными требованиями, а также в целях установления причин, вызвавших появление повреждений и разру-

шений. Исследования необходимо проводить в тесной увязке с данными наблюдений за волновым, ледовым и температурными режимами с учетом уровня режима водохранилища за длительный период времени, предшествовавший исследованиям.

Службу контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений и размывов берегов водохранилищ рекомендуется формировать в строительный период и передавать по завершении строительства руководству эксплуатируемого гидроузла. Как правило, эта служба входит в состав специализированного подразделения (цеха, участка, специалисты) эксплуатирующей организации (ГЭС, ТЭС). Ответственность за организацию и проведение контроля всех видов (осмотры, инструментальные обследования и исследования) возлагают на дирекцию эксплуатирующей организации (ГЭС, ТЭС).

Перед началом работ персонал группы визуальных наблюдений проходит подготовку (обучение, аттестацию и стажировку): он должен быть детально ознакомлен с проектом грунтового сооружения и с исполнительной документацией, отражающей отклонения от проектных решений в конструкции крепления и в технических характеристиках его элементов (материал плит, прочность камня, гранулометрический состав обратного фильтра, плотность фунта в теле сооружения, армирование плит и т. п.). В дополнение к исполнительной документации разрабатывают маршрутную схему обхода откосов сооружения и берегов водохранилища, которая обеспечивала бы их полный осмотр. Для этого весь фронт сооружения со стороны верхнего и нижнего бьефов разбивают на участки осмотра, которые маркируют и привязывают к геодезической сети.

Подразделение наблюдателей снабжают необходимым инвентарем и приборами: нивелиром и теодолитом с набором геодезических реек, фотоаппаратом, рулеткой, отвесом строительным, масштабными линейками, секундомером, чертежными принадлежностями, калькулятором, щупами, щелемерами гибкими, эхолотом, прибором для контроля прочности бетона.

Плановые (обязательные) осмотры креплений и береговых склонов должны проводиться ежегодно на откосах по всему фронту сооружения, независимо от сроков его эксплуатации, с периодичностью один раз в квартал и в период наибольшей сработки водохранилища; внеплановые — в экстремальных случаях (землетрясения, катастрофические паводки, выбросы на откосы тяжелых плавающих тел и т. п.). В состав визуальных наблюдений обязательно включают проведение осмотра креплений в подводной части откоса водолазами, прошедшими специальную подготовку.

При наблюдениях за состоянием облицовок и креплений особое внимание обращают на следующее [3]:

1) вынос и разрушение уплотняющих материалов из швов бетонных элементов крепления, вынос гравийно-песчаной подготовки из под крепления через швы и трещины;

2) образование промоин под облицовками, которые могут быть вызваны затеканием дождевых вод, движением грунтовых вод, появлением ходов, проложенных землеройными животными, а также строительными дефектами;

3) деформацию плит креплений;

4) смещение отдельных плит относительно друг друга;

5) состояние креплений плит между собой;

6) появление морозного пучения грунта, конвективного льдообразования и морозного выветривания каменной наброски;

7) развитие и характер растительности, а также поведение землеройных животных на плотине (дамбе).

При проведении визуальных наблюдений фиксируют следующие повреждения: поверхностные и сквозные трещины в бетоне; разрушение бетона в защитном слое и места обнажения арматуры, ржавление арматуры; разломы в уплотнениях стыков по контуру плит, ширина открытых стыков, длина участков раскрытия, сколы бетона на боковых гранях плит;

осадка плит, длина участков прогиба и стрела наибольшего прогиба; вертикальное смещение смежных плит относительно друг друга с образованием выступов; смещение плит вниз в плоскости откоса; размыв каменной наброски (размеры области размыва и отложения); смещение плит (поворот относительно нижнего ребра) в результате воздействия льда; размыв низового откоса ливневыми стоками воды, кольматаж дренажа и обусловленный им выпор грунта в зоне повышения выхода кривой депрессии на поверхность откоса; размыв берегового склона. Кроме того, необходимо фиксировать толщину и длину консоли ледяного припая, а также размеры зоны припая (примерзшего массива льда).

Трещины на поверхности крепления, разломы, сколы, места обнажения арматуры, каверны выщелачивания бетона, места нарушения герметичности стыков между плитами, разрушение боковых граней плит фиксируют путем зарисовки на заранее заготовленных схемах размещения плит на откосе с привязкой их к геодезической сети. При этом следует пользоваться едиными обозначениями каждого вида повреждений. Зарисовку повреждений при последующих осмотрах следует производить так, чтобы она являлась продолжением предыдущей. Для удобства сопоставления последовательных зарисовок их следует наносить на схемах разными обозначениями. Зафиксированные повреждения крепления должны быть окрашены тем же цветом, что и на схемах и чертежах.

Съемка участков размыва береговых склонов осуществляется обычными геодезическими приборами (нивелиром, теодолитом, тахеометром, мензулой), а в труднодоступных местах на крутых береговых обрывах — фото-теодолитом или цифровыми фотокамерами. Размеры оползневых массивов определяются по удалению оползневых трещин от края берегового уступа. Перспективно использование аэрофотосъемки беспилотными летательными аппаратами и данных космического зондирования с высоким разрешением для оценки состояния сооружений и их креплений.

Для примера на рис. 1–7 приведены фотографии, иллюстрирующие разрушение бетонных креплений берегозащитного грунтового сооружения на водохранилищах «Зельва», «Тетеринская ГЭС», «Заславское», судходной пло-

тине гидроузла № 12 «Стахово» и у шлюза-регулятора на р. Лань [4–7]. Причины разрушений: недостаточное уплотнение швов и грунта в подплитном слое; отклонение ширины стыков между плитами от ширины, предусмотренной в про-

екте; дефекты в устройстве обратных фильтров; некачественное выполнение бетонных работ и подготовки; размораживание бетона; физический износ; низкий уровень эксплуатации и др.



а

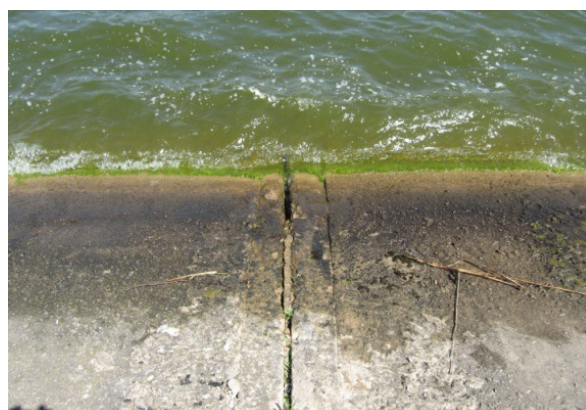


б

Рис. 1. Разрушение уплотнений швов сборных железобетонных плит крепления берегов в верхнем бьефе шлюза-регулятора на р. Лань (*а*) и водохранилища «Зельва» (*б*)



а



б

Рис. 2. Зарастание (*а*) и разрушение (*б*) уплотнений температурно-осадочных швов сборных железобетонных плит крепления берегов в верхнем бьефе водохранилища «Тетеринская ГЭС»



а



б

Рис. 3. Разрушение крепления откоса камнем (*а*) и размыв правобережного откоса (*б*) судоходной плотины гидроузла № 12 «Стахово»



а



б

Рис. 4. Крепление монолитными бетонными плитами верхового откоса земляной плотины (а) и крепление крупным камнем отводящего канала паводкового водосброса (б) водохранилища «Заславское»

На монолитных бетонных плитах крепления верхового откоса правобережной плотины водохранилища «Заславское» имеются отдельные поверхностные разрушения и несквозные трещины, вызванные размораживанием бетона (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Поверхностное разрушение монолитных бетонных плит крепления верхового откоса правобережной плотины (а) и несквозные трещины в монолитных бетонных плитах крепления левобережного конуса земляной плотины (б) водохранилища «Заславское»



а



б

Рис. 6. Трещина с оголением арматуры в парапете земляной плотины (а) и разрушенное уплотнение температурно-осадочных швов в плитах крепления откоса земляной плотины (б) водохранилища «Заславское»

Проверка прочности плит крепления верхового откоса земляной плотины водохранилища «Заславское» (рис. 7) с помощью электронного измерителя прочности бетона ИПС-МГ4.03 показала достаточную их прочность. Прочность бетона при всех измерениях изменялась в пределах от 17,3 МПа до 19,9 МПа, что в соответствии с СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» превышает класс бетона С10/12,5.



Рис. 7. Определение прочности бетона плит крепления верхового откоса земляной плотины водохранилища «Заславское»

По результатам систематических осмотров в сочетании с данными о волновом и ледовом режимах составляется заключение о состоянии креплений (приблизительная оценка прочности и устойчивости креплений, ориентировочный прогноз развития зафиксированных повреждений) с отражением в нем – в случае необходимости – корректировок для последующих наблюдений, решения о целесообразности или необязательности проведения обследований и исследований, утверждаемого техническим руководством гидроузла. При необходимости к рассмотрению результатов осмотров и составлению заключения привлекаются специалисты проектных и научно-исследовательских организаций.

Инструментальные обследования крепления проводят на тех участках, где визуальными наблюдениями обнаружены признаки появления повреждений (трещины в плитах, смещение камня из слоя крепления, разрушение поверхности бетона, смещение плиты относительно смежной с ней в вертикальной плоскости, повреждения уплотнений стыков между плитами и т. п.). Они дают основание для выводов о возможности дальнейшего развития зафиксированных повреждений до стадии, угрожающей безопасности дальнейшей эксплуатации сооружения. Основной *целью обследований* является установление причин появления повреждений, прогноз дальнейшего их развития и оценка степени опасности для

надежности дальнейшей эксплуатации сооружения. Обследования должны проводиться с обязательным привлечением представителей проектной организации и специалистов-гидротехников из научно-исследовательских организаций. Их результаты позволяют получать численные характеристики повреждений (осадки, размыв грунта под креплением, раскрытие стыков между плитами, изменение гранулометрического состава обратного фильтра, разрушение бетона на поверхности крепления, повышение кривой депрессии на низовом откосе и т. п.).

Деформация крепления в вертикальной плоскости определяется путем нивелирования креплений, а смещение плит в плоскости откоса — теодолитной съемкой. Нивелирование производится по маркам, заделанным в плиты по четырем углам и в центре. Нивелирование поверхности каменной наброски производится по маркам, нанесенным красителем на отдельностях, имеющих диаметр $d > d_{70...80}$, определяемый по исходному гранулометрическому составу каменной наброски. В дополнение к зарисовкам следует производить фотографирование повреждений. Последующие фотосъемки должны производиться с одних и тех же позиций и ракурса. Размер пустот под креплением при осмотрах может быть определен лишь в доступных для измерения местах — вблизи стыков между плитами, например, масштабной линейкой или

гибким пластинчатым щупом. Это позволяет обнаружить наличие пустоты и ориентировочно оценить ее размеры.

По результатам инструментальных обследований принимают решение о необходимости (или необязательности) более обстоятельного контроля состояния крепления — натурных исследований. Последние проводятся службой контроля эксплуатируемого гидроузла с привлечением специалистов в области расчетов прочности и устойчивости креплений на участках крепления, состояние которых оценено в результате предшествовавших обследований как угрожающее для надежности сооружений.

Оценка состояния креплений проводится на основании инструментальных обследований и исследований, в состав которых может входить:

- измерение параметров волн и положения кривой депрессии в подплитной области;
- измерение волнового давления на верхнюю и нижнюю поверхности плит;
- определение интенсивности сработки водохранилища;
- измерение частоты и амплитуды колебаний плит при ударном воздействии волн с последующим определением ускорений колебания грунта под креплением с целью оценки его динамической устойчивости;
- определение характеристик физико-механических свойств бетона (модуля упругости и коэффициента Пуассона, прочности при растяжении и сжатии, предельной растяжимости, коэффициента линейного температурного расширения);
- определение морозостойкости бетона и камня;
- накопление данных для построения графиков изменения во времени осадок и деформации плит;
- определение гранулометрического состава обратного фильтра, каменной наброски и грунта тела сооружения в подплитной области, пористости, плотности, модуля деформации, коэффициента фильтрации, допустимого градиента давления по условию недопущения суффозии;
- определение размеров участков трещинообразования, обнаружение и измерение пустот под плитами;
- измерение или определение расчетным путем (на основе данных о параметрах волн)

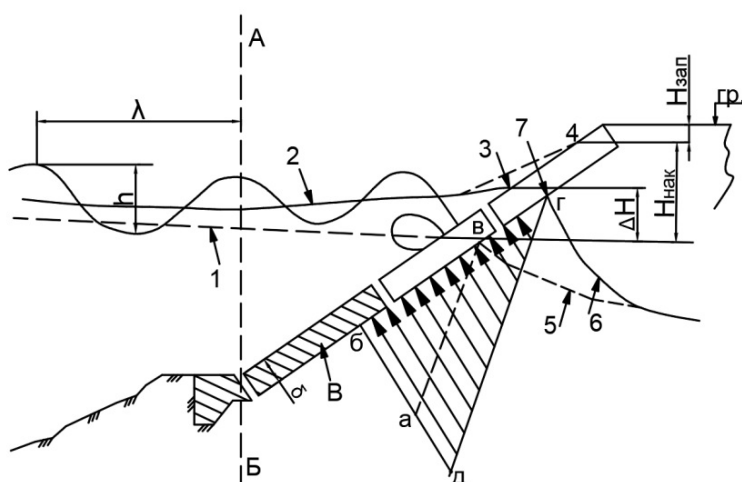


Рис. 8. Подъем кривой депрессии при волнении

- 1 — уровень спокойной воды до начала волнения; 2 — уровень воды при ветровом и волновом нагоне; 3 — урез воды при волнении; 4 — линия наката волн на откос; 5 — кривая депрессии до начала волнения; 6 — кривая депрессии при воздействии волн; 7 — положение кривой депрессии на нижней поверхности плит при волнении; АБ — створ измерения параметров волн; h — высота волны; λ — длины волн; В — плиты крепления; δ — толщина плиты; $авг$ — гидростатическое давление в подплитной области при отсутствии волнения; $дбг$ — то же при волнении; $авгд$ — повышение гидростатического давления при волнении; ΔH — повышение уровня воды при волнении; $H_{нак}$ — высота наката волн на откос; $H_{зап}$ — запас возвышения гребня плотины

трах волн) скорости волнового (колебательного) движения воды у поверхности откоса и на прибрежном подводном склоне с целью оценки размываемости каменного крепления и грунта берегового склона;

- определение размеров ледяного припая и прочностных характеристик льда с фиксацией средней, максимальной и минимальной температуры воздуха, продолжительности ледостава и уровня воды в водохранилище.

На основании результатов исследования делают выводы о возможности дальнейшей эксплуатации сооружений или необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ или реконструкции крепления.

Регистрация характеристик волнения в водохранилище (направления, высоты, длины и периода волн) должна проводиться независимо от класса капитальности сооружения, сроков их эксплуатации и состояния креплений. Регистрации подлежат все случаи волнения с высотой волн 0,5 м и более. При этом обязательна фиксация продолжительности волнения. Для получения таких статистических характеристик волнения, как математическое ожидание (средние значения высоты, длины и периода волн), среднеквадратическое отклонение, вероятность превышения зафиксированных параметров, волнограмма должны содержать запись не менее 100 непрерывно следующих одна за другой волн [8].

Параметры волн измеряются непосредственно перед сооружением в створе АБ (рис. 8). Одновременно с регистрацией волны определяют: положение кривой депрессии (точка 7) и высоту наката волн на откос (положение точки 4).

Подъем кривой депрессии при волнении определяется путем фиксации уровня воды в пьезометрах. Высота наката определяется визуальными наблюдениями по линиям, нанесенным на поверхности крепления параллельно урезу воды с интервалом 10...20 см. На каждой линии должны быть указаны их геодезические отметки. Линии следует пронумеровать для удобства наблюдений. При нерегулярных волнах на подходе к сооружению накат их на откос является вероятностным, поэтому для численной оценки высоты наката следует

фиксировать положение точки 4 при накатывании не менее 100 последовательных волн. По результатам измерения определяются средняя и максимальная высота наката, а также высота нормативной обеспеченности [1, 2].

Разность отметок гребня сооружения и точки наката является нормируемым запасом его высоты, равным $0,1h_{расч}$ ($h_{расч}$ — высота расчетной волны в системе волн нерегулярного волнения). Уменьшение величины $H_{зап}$ по сравнению с ее значениями, принятыми в проекте, может быть следствием двух факторов: превышение высоты волны по сравнению с принятой в проекте и осадки сооружения.

На водохранилищах суточного регулирования необходимо производить измерения уровня воды с целью определения скорости сработки в пределах от НПУ до УМО (или иного наименьшего уровня сработки) с фиксацией уровней через интервалы времени $\Delta T = (0,2...0,25)T$ (T — продолжительность сработки). При этом одновременно проводят измерения положения уровня воды в подплитной области. По результатам измерения определяют подъемную силу, действующую на плиты крепления. При этом возможно несовпадение положения уровней воды над креплением и под ним. Наличие перепада уровней воды под плитой и в водохранилище Z свидетельствует об уменьшении коэффициента фильтрации грунта обратного фильтра вследствие его кольматажа. Наличие перепада Z может быть обнаружено визуально по фонтанированию воды из-под крепления в зоне наката-ската волны.

Допустимая величина перепада Z определяется двумя требованиями [8]:

1) соблюдением условия $Z \leq 4\delta$ (δ — толщина плиты);

2) градиент гидростатического давления в слое i толщиной $y = 1...1,5$ м не должен превышать критический градиент $i_{кр}$, при котором начинается суффозия в обратном фильтре и грунте тела сооружения (должно соблюдаться условие $i < i_{кр}$). Критический градиент определяется экспериментально или расчетным путем.

При значениях $Z > 4\delta$ необходимо провести обследование подплитной области: определить гранулометрический состав обратного фильтра и его фильтрационно-суффозионные характеристики.

При наличии волнения на промежуточных уровнях сработки подъемная сила гидростатического давления P суммируется с силой волнового противодействия.

Для измерения параметров волн (высоты, длины и периода) можно использовать первичные преобразователи (волнографы) и регистрирующую аппаратуру. В качестве первичных преобразователей применяют электродные и контактные волнографы, работающие на принципе изменения электропроводности или электрической емкости в зависимости от колебания уровня воды при волнении. Два волнографа следует устанавливать в одном створе непосредственно у сооружения по нормали к урезу воды с расстоянием между ними 4...5 м. Монтажные крепления волнографа позволяют демонтировать перед ледоставом.

Для сбора и обработки информации о волнении, волновом давлении, изменении уровня воды в водохранилище и положении кривой депрессии в подплитной области можно использовать автоматизированную систему обработки экспериментальных данных и метод стереофотограмметрической съемки, позволяющий получать характеристики поля волн без установки первичных преобразователей.

Для определения положения кривой депрессии под креплением и на низовом откосе устанавливают трубчатые пьезометры в шурфах на участке верхового откоса от гребня сооружения до наинизшего уровня сработки водохранилища, на низовом откосе — в полосе 2...3 м выше дренажа.

Для измерения волнового давления могут быть использованы индуктивные или тензометрические преобразователи механического воздействия на приемную мембрану в электрический сигнал (датчики давления). Для измерения волнового давления в зоне обрушения волны датчики давления монтируют с интервалом 10...15 см в передвижной кассете, перемещаемой на откосе соответственно изменению уровня воды в водохранилище. Вне зоны обрушения волны расстояние между датчиками Δx должно быть в 10 раз меньше средней длины волны λ , то есть $\Delta x < 0,1 \lambda$.

Результаты обработки данных натуральных измерений представляют в виде соответствующих графических зависимостей в координатах «измеренная величина — время». Обработка

данных о волновом режиме сводится к построению кривой обеспеченности высот волн при нерегулярном волнении, определению средней и максимальной высоты волны, средней длины и среднеквадратического отклонения. По волнограмме, записанной одиночным волнографом, могут быть получены два параметра: высота волн и период. Для определения длины волны необходимо иметь на одной ленте две волнограммы, записанные разными волнографами, расположенными на расстоянии l один от другого по направлению распространения волн.

Длина волны определяется по зависимости [8]

$$\lambda = \tau l / \Delta t,$$

где τ — период волны; l — расстояние между волнографами; Δt — интервалы времени, $\Delta t = 0,1\tau$.

Обработка данных измерения волнового давления на плиты и устойчивость каменного крепления и грунта берегового склона может проводиться по методике, приведенной в соответствующих нормах и требованиях [8].

Оценка устойчивости откоса производится из условия $a > a_{кр}$ (a — ускорение колебаний грунта; $a_{кр}$ — критическое значение ускорения колебаний, при котором начинается разжижение водонасыщенного грунта, определяемое по графику или путем экспериментальных исследований в лабораторных условиях).

Устойчивость каменного крепления и грунта берегового склона оцениваются на основании неравенства $v_{макс} < v_0$, в котором $v_{макс}$ — максимальная скорость колебательного движения воды, которая определяется по измеренным параметрам волн [8]; v_0 — скорость трогания частиц грунта.

Для расчета формы профиля динамического равновесия Э. И. Михневич предложил критерии устойчивости поперечного и продольного профилей берега водохранилища, подверженного волновой переработке. Для расчета параметров креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия на основе теории предельного равновесия сдвигающих и удерживающих сил на откосе разработаны формулы по определению диаметра камня наброски и толщины железобетонных плит, пригодные для водохранилищ различных размеров, в том числе малых во-

дохранилищ Беларуси. Формулы учитывают основные нагрузки, создаваемые волновым потоком, и физико-механические свойства материала крепления [9—11]. В. Е. Левкевичем рассмотрены наиболее часто применяемые в Беларуси основные типы берегозащиты и крепления берегов, а также представлены материалы исследований устойчивости креплений берегов и откосов [12—14]. Результаты исследований, проведенных Э. И. Михневичем и В. Е. Левкевичем, могут быть рекомендованы

к практическому применению в проектных организациях. Правильно рассчитанные и выполненные параметры креплений значительно повысят долговечность и надежность креплений и, следовательно, надежность грунтового гидротехнического сооружения в целом.

По совокупности диагностических признаков и количественной оценке их на основе данных измерений делается вывод о состоянии крепления и берегового склона по критериям надежности, приводимым в таблице.

Таблица. Критерии надежности крепления откоса и берегового склона [8]

Условия надежности работы	Диагностируемое состояние	Диагностические признаки, параметры	Критерии надежности
Запас высоты сооружения над отметкой НПУ	Накат волны на откос	Максимальная высота наката волн расчетной высоты в системе	Превышение гребня сооружения над отметкой НПУ не менее $0,1h_{рас}$
Допустимое повышение кривой депрессии при волнении	Положение кривой депрессии в подплитной области	Превышение кривой депрессии при волнении над кривой депрессии при отсутствии волн	Сила противодействия под креплением
Допустимая скорость сработки водохранилища	Положение кривой депрессии в подплитной области	Перепад Z уровней воды под плитой и в водохранилище	$Z < 4\delta$ (δ – толщина плиты)
Допустимый подъем кривой депрессии на низовом откосе	Превышение выхода кривой депрессии над верхом дренажа низового откоса	Средний выходной градиент давления	Критический градиент по условию недопущения суффозии для данного вида грунта
Устойчивость бетонного крепления	Деформация крепления	Осадки, прогибы, смещение плит в плоскости откоса. Экстремальное значение силы волнового противодействия	Осадка плит $\delta < 0, 2 \delta$; прогиб $\delta_2 < \delta$
Устойчивость каменно-набросного крепления	Размыв откоса: нарушение скелета наброски	Смещение камня вниз по откосу, максимальная скорость колебательного движения воды у поверхности откоса v_{max}	Глубина области размыва $< d_{расч}$ ($d_{расч}$ – расчетный диаметр камня, принимаемый равным $d_{70\%}$ по кривой грансоства. $v_{max} < v_0$ (v_0 – неразмывающая скорость)
Прочность бетона	Напряженное состояние	Экстремальная сила волнового давления на верхнюю поверхность крепления	Предельное допустимое значение напряжений сжатия и растяжения
Динамическая устойчивость грунта тела сооружения	Ускорение a колебаний грунта	Критическое значение ускорения колебаний водонасыщенного грунта $a_{кр}$	$a < a_{кр}$

Продолжение таблицы

Гашение энергии волн на прибрежном подводном склоне	Уклон и ширина подводного склона	Максимальная скорость колебательного движения воды у поверхности подводного склона v_{\max}	$v_{\max} < v_0$ (v_0 – неразрывающаяся скорость)
Устойчивость берегового склона и прибрежной подводной отмели	Начало оползня, обвала и размыва прибрежной отмели	Оползневые трещины, уклон и ширина прибрежной отмели	Стабильность профиля прибрежного подводного склона (отмели) и условие: накат расчетной волны $\nabla_{\text{нак}} \leq \nabla_{\text{уст}}$ $\nabla_{\text{нак}}$ – наивысшая отметка наката волны; $\nabla_{\text{уст}}$ – отметка основания берегового уступа

Первичные материалы, сгруппированные по видам контроля, и результаты их обработки регистрируют в журнале учета и хранят в установленном на ГЭС (ТЭС) порядке, а на гидроузлах неэнергетического назначения — в подразделениях в соответствии со структурой их технического руководства. Схемы размещения контрольно-измерительной аппа-

ратуры наносят на соответствующие чертежи сооружения с высотной и плановой привязкой к геодезической сети. По результатам контрольных наблюдений и измерений ежегодно составляют технический отчет с приложением к нему заключения о состоянии креплений и выводов о необходимых ремонтно-восстановительных мероприятиях.

Заключение

Проведено обследование гидротехнических объектов Беларуси. Выявлены основные типы повреждений креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов, приведены примеры повреждений грунтовых сооружений, рассмотрены виды контроля за со-

стоянием креплений откосов грунтовых сооружений всех классов. Устанавливается организация наблюдения, периодичность проведения и состав осмотров, обследований и наблюдений. Даются предложения по обработке и обобщению данных измерений в натуре

Библиографический список

1. Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов) : ТКП 45-3.04-170-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2011. – 80 с.
2. Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-150-2009 (02250). – Введ. 01.03.2010. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва и Респ. Беларусь, 2010. – 64 с.
3. Линкевич, Н. Н. Эксплуатация гидротехнических сооружений: учебное пособие / Н. Н. Линкевич, М. В. Нестеров. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. — 520 с.
4. Обследовать состояние и дать экспертную оценку риска аварий подпорных гидротехнических сооружений потенциально опасных водохранилищ Республики Беларусь при пропуске половодий и паводков [Электронный ресурс] : отчет о НИР (заключ.) : ГБ 16-29 / Белорус. нац. техн. ун-т ; науч. рук. В. В. Ивашкин ; исполн.: Г. Г. Круглов [и др.]. – Электрон. дан. – Минск : [б. и.], 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – № ГР 20162259.
5. Исследование технического состояния сооружений гидроузла на водохранилище «Заславское» : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2013. – 76 с.

6. Исследование технического состояния судоходной плотины гидроузла №12 «Стахово» Лунинецкого района Брестской области : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2015. – 35 с.
7. Исследование технического состояния шлюза-регулятора на реке Морочь и шлюза-регулятора на реке Лань : отчёт о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2018. – 32 с.
8. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования : СТО 70238424.27.140.003-2010. – Введ. 2010-09-30. – М. : НП «ИНВЭЛ», 2010. – 222 с.
9. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.
10. Михневич, Э. И. Устойчивость русл открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.
11. Михневич, Э. И. Методика расчета устойчивости креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия / Э. И. Михневич // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. – № 2. – С. 100–105.
12. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.
13. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 201 с.
14. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 306 с.

Поступила 5 августа 2020 г.