



Научная статья

УДК 626/627

doi: 10.55186/25876740_2023_66_1_74

МОНИТОРИНГ НИЗКОНАПОРНОЙ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ РЕКИ ПСЕКУПС НИЖНЕЙ КУБАНИ

М.А. Бандурин, И.А. Приходько, А.С. РомановаКубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Аннотация. Эксплуатационный цикл большинства гидротехнических сооружений, входящих в комплекс Краснодарского водохранилища, на сегодняшний день составляет порядка 45-55 лет, износ в среднем — 72%, что свидетельствует о потере ранее определенных проектом характеристик, в том числе устойчивости. В связи с продолжительной эксплуатацией и недостаточными объемами производимых ремонтно-восстановительных работ происходит разрушение основных конструкций сооружений, заиливание водохранилищ и создается высокая вероятность чрезвычайных ситуаций, особенно при прохождении весенних половодий и паводков. Потеря устойчивости грунтового основания верхнего откоса оградительной земляной плотины инженерной защиты долины р. Псекупс происходит вследствие изменения состояния грунтов и потери прочности железобетонных плит, происходящих в результате динамического воздействия волн на железобетонное крепление откоса гидротехнического сооружения. В настоящей работе рассматривается современное состояние железобетонного крепления верхнего откоса оградительной плотины инженерной защиты долины р. Псекупс. Описаны виды и объемы разрушения швов, а также контролируемые показатели и их предельные значения (критерии безопасности гидротехнических сооружений), показаны методы изучения для выявления данных показателей. Выявлены типичные разрушения швов на оградительной плотине инженерной защиты долины р. Псекупс Краснодарского водохранилища. Целью данной работы является разработка необходимых вариантов для капитального ремонта швов на верхнем откосе гидротехнического сооружения, закрепленного монолитным бетоном, для обеспечения надежности и безопасности конструкций водохранилища при дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, водохозяйственный комплекс, водохранилище, эксплуатация, откос, железобетонное крепление, размывание бетона

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

Original article

MONITORING OF THE LOW-HEAD EARTH DAM OF ENGINEERING PROTECTION PSEKUPS RIVER OF THE LOWER KUBAN

M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, A.S. RomanovaKuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
Krasnodar, Russia

Abstract. The operational cycle of the majority of hydraulic structures included in the Krasnodar reservoir complex is about 45-55 years, wear on average is 72%, which indicates the loss of characteristics previously defined by the project, including stability. Due to prolonged operation and insufficient volumes of repair and restoration work, the main structures of structures are destroyed, reservoirs are silted up and a high probability of emergency situations is created, especially during the passage of spring floods and floods. The loss of stability of the soil base of the upper slope of the protective earthen dam of the engineering protection of the valley of the Psekups river occurs due to changes in the state of the soil and loss of strength of reinforced concrete slabs resulting from the dynamic effect of waves on the reinforced concrete fastening of the slope of the hydraulic structure. In this paper, the current state of reinforced concrete fastening of the upper slope of the protective dam of the engineering protection of the valley of the Psekups river is considered. The types and volumes of joint destruction are described, as well as controlled indicators and their limit values (safety criteria for hydraulic structures), and methods of studying to identify these indicators are shown. Typical destruction of seams on the protective dam of engineering protection of the valley of the Psekups river of the Krasnodar reservoir has been revealed. The purpose of this work is to develop the necessary options for major repairs of seams on the upper slope of a hydraulic structure fixed with monolithic concrete to ensure the reliability and safety of reservoir structures during further operation.

Keywords: hydraulic structures, water management complex, reservoir, operation, slope, reinforced concrete fastening, concrete erosion

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation and the Kuban Science Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 22-17-20001.

Введение. В Краснодарском крае оградительные плотины и дамбы обвалования являются основными сооружениями инженерной защиты от затопления и подтопления населенных пунктов и сельхозугодий. Эти защитные сооружения проектируются на расчетный уровень воды, при котором перелив через их гребень не допускается. Нормативный срок эксплуатации значительной части гидротехнических сооружений (ГТС) из комплекса Краснодарского водохранилища истекает в 2023 г., так как в эксплуатацию они были приняты более 45 лет назад, вследствие чего существенно возрастает риск аварий сооружений III и IV классов. Усугубляет ситуацию уменьшение объемов ремонтных работ, сокращение штатов эксплуатационного

персонала [1]. Кроме того, в отличие от сооружений I и II классов, гидротехнические сооружения III и IV классов имеют значительно меньшее количество контрольно-измерительной аппаратуры, или не имеют ее вообще, и эксплуатируются менее квалифицированными кадрами.

Плотины из грунтовых материалов являются источниками потенциальной опасности, при их возможном нарушении территории нижнего бьефа с населенными пунктами, объектами народного хозяйства, историческими памятниками и т. д. попадают в зону возможного затопления прорывной волной и могут быть уничтожены. Особенно актуальным обеспечение безопасности ГТС становится после ряда аварий с прорывом напорного фронта плотин на Кисе-

левском и Тирляндском водохранилищах, после многочисленных аварий на прудах и малых водохранилищах в бассейнах рек Дон и Кубань [1, 2]. Только за последние годы в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях были разрушены десятки плотин и дамб, что вызвало затопление нижележащих территорий.

В связи с вышесказанным актуальным и своевременным является проведение анализа и оценки технического состояния длительно эксплуатирующегося железобетонного крепления верхнего откоса оградительной земляной плотины инженерной защиты долины р. Псекупс, Краснодарского водохранилища, для обеспечения большей надежности и, в то же время, экономичности проектных решений [3].



Основная цель работы — разработка вариантов восстановления нарушенных швов на верховом откосе, закрепленном железобетоном с целью обеспечения надежности и безопасности конструкций водохранилища при эксплуатации.

Материал и методика исследований

Расположение и основные параметры исследуемого участка инженерной защиты долины р. Псекупс. Исследуемый участок инженерной защиты долины р. Псекупс расположен на левом берегу Краснодарского водохранилища в 4,0-8,5 км от основной плотины.

Левобережная часть прилегающих к водохранилищу территорий находится ниже его НПУ и защищена от затопления оградительными ГТС [3, 5]. На левобережном участке размещаются 2 населенных пункта: а. Гатлукай и а. Пчегатлукай. Данная территория ограждена от затопления со стороны Краснодарского водохранилища поперечной оградительной земляной плотиной (рис. 1).

Оградительная плотина разбита пикетами через 100 м, начало плотины ПК 3+66, конец ПК 60+00, ее общая протяженность составляет 5634 м, максимальная высота плотины 11,5 м, ширина по гребню 8 м, с абсолютной отметкой верха 37,20 м, с заложением верхового откоса $m_1=3,5$, закрепленного железобетонными плитами и низовым задернованным откосом $m_2=3,5$ (рис. 2).

Железобетонное откосное крепление у гребня оградительной плотины заканчивается железобетонным парапетом свободной высотой 1,1 м (38,30 отметка парапета), выполненного в форме плоской плиты толщиной 0,30 м [6, 8]. Данный протяженный участок бетонного крепления в напорный фронт водохранилища не входит.

Верховой откос оградительной плотины закреплен монолитными железобетонными плитами [7] толщиной 0,25 м, за исключением участка плотины ПК 54-60, где толщина плит составляет 0,16 м (рис. 3).

На верховом откосе от ПК 43 до ПК 48 на отметке 32,0 устроена берма шириной 27,0 м (рис. 4).

Железобетонные плиты уложены по слою ГПС толщиной 0,2 м и песка толщиной 0,4 м (ПК 1+35 — 42+00), 0,45 м (ПК 42+00 — 54+00) и 0,54 м (ПК 54+00 — 60+00) соответственно. В основании железобетонное крепление заведено в ковш глубиной 1,2-1,5 м. Ковш засыпан ГПС слоем 0,4 м и камнем слоем 0,6 м средним диаметром 0,2 м.



Рисунок 1. Оградительная плотина инженерной защиты долины р. Псекупс. Использован снимок за 17.09.22 спутника Sentinel-2 L2A с разрешением 10м/пикс
 Figure 1. Protective dam of engineering protection of the valley of the Psekups river. The Sentinel-2 2A satellite image for 17.09.22 with a resolution of 10 m/pix was used



Рисунок 2. Оградительная плотина инженерной защиты долины р. Псекупс. Вид закрепленного железобетонными плитами верхового откоса
 Figure 2. Protective dam of engineering protection of the valley of the Psekups river. View of the upper slope fixed with reinforced concrete slabs



Рисунок 3. Участок плотины ПК 54-60, где толщина плит составляет 0,16 м
 Figure 3. Section of the PK 54-60 dam, where the thickness of the plates is 0.16 m



Железобетонное крепление по длине плиты через 40 м разрезано на секции температурно-осадочными швами. Ширина температурно-осадочных швов 25 мм. Уплотнение швов осуществлено деревянными просмоленными досками толщиной 24 мм, установленными «на ребро» на железобетонные доски толщиной

8 см и шириной 30 см, подложенные под швы. Железобетонные доски покрыты битумным матом. В пределах каждой секции крепления в обоих направлениях произведено непрерывное армирование, перепускаемое через температурные швы, которыми секция разрезана на плиты размерами 8,0 м на 8,0 м. Армирование

плит крепления выполнено фермопакетами (пространственными каркасами), состоящими из сеток. Ширина температурных швов 20 мм. Уплотнение их осуществлено аналогично уплотнению температурно-осадочных швов [8].

Маршрутное обследование и геофизические работы. Целью изысканий являлось изучение состояния верхового откоса оградительной плотины инженерной защиты долины р. Псекупс, входящей в состав сооружений Краснодарского водохранилища. Всего маршрутное обследование проведено на длине 5634 п. м, георадарное обследование — на длине 3536 п. м (в границах изучаемой территории). При проведении маршрутных наблюдений особое внимание уделялось проявлениям опасных геологических процессов, к числу неблагоприятных процессов, осложняющих инженерно-геологические условия освоения исследуемого участка, следует отнести абразивно-аккумулятивные процессы, а также высокую сейсмичность. В настоящее время, согласно действующим СП 14.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах») и территориальным строительным нормам Краснодарского края СНКК-22-301-2000, нормативная сейсмичность района Краснодарского водохранилища в целом определена в 8 баллов.

Класс гидротехнических сооружений назначается согласно СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования», по разделу 5 «Основные расчетные положения», в соответствии с Постановлением Российской Федерации от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [9]. В соответствии с этими документами оградительная плотина инженерной защиты долины р. Псекупс является сооружением III класса (критерии безопасности изучаемого ГТС представлены в таблице 1).

Минимальные уровни воды в водохранилище с отметками от 28,0 до 25,85 мбс бывают в осенне-зимний период с сентября по декабрь. Это наиболее оптимальный период проведения полевых работ. Фактический уровень воды на 14 сентября 2022 г. — 27,32 м, что меньше гребня оградительной плотины на ≈ 10 м. Полевые работы проводились в благоприятный период года, категория сложности инженерно-геологических условий — III, категория проходимости — хорошая.

Георадиолокационное профилирование и камеральные работы. Геофизическое обследование включало работу методом георадиолокации. Так как обследуемая территория перекрыта искусственным покрытием (бетон), являющимся экраном, основное обследование верхового откоса было выполнено методом георадиолокации. Измерения проводились георадаром ОКО-3 с антенным блоком АБ-400РЗ (производство ООО «Логис» г. Раменское МО), центральная частота зондирующего сигнала 150 МГц (рис. 5).

Георадиолокационное обследование проводилось в режиме профилирования по системе профилей: прибор перемещался непрерывно вдоль профиля наблюдения со скоростью 3-4 км/ч. Управление прибором и регистрация информации осуществлялись через блок управления. Параметры съемки: накопление — 8; время записи — 200 нс; шаг по профилю — 25-30 мм; режим измерения «по перемещению» (с измерителем пути ДП-32). Антенна АБ-400РЗ



Рисунок 4. Берма оградительной плотины инженерной защиты долины р. Псекупс
Figure 4. Berm of the protective dam of engineering protection of the Psekups river valley

Таблица 1. Контролируемые показатели и их предельные значения (критерии безопасности ГТС)
Table 1. Controlled indicators and their limit values (GTS safety criteria)

№№ п/п	Количественные и качественные показатели	Ед. изм.	Критерии состояния (безопасности)		Современные показатели состояния
			1 уровень	2 уровень	
Количественные характеристики					
Инженерная защита долины р. Псекупс					
Оградительная плотина					
1	Отметка гребня	м	37,20		37,20-37,05
2	Отметка паралета	м	38,30		38,20-38,40
3	Заложение верхового откоса	-	3,5		3,5
4	Положение депрессионной кривой	м	0,70 м (ниже поверхности сухого откоса плотины)	0,70-0,0 м (замокание и выклинивание воды на откос)	0,70 м (ниже поверхности сухого откоса плотины)
5	Полная осадка	м	0,25 м		0,11-0,19
6	Норма осушения по линии дренажа	м	≥2,0 от поверхности земли, что достигается при горизонте воды в скважинах самоизлива не менее 3,0 м		>2,0



Рисунок 5. Антенный блок георадара ОКО-3 АБ-400РЗ и пример, как при помощи измерительной рулетки намечались места для дальнейших, более детальных георадарных обследований
Figure 5. The antenna unit of the GPR OKO-3 AB-400R 3 and an example of how, with the help of a measuring tape places were planned for further, more detailed GPR surveys



Рисунок 6. Типичные разрушения швов на оградительной плотине инженерной защиты долины р. Псекупс, Краснодарского водохранилища
 Figure 6. Typical destruction of seams on the protective dam of engineering protection of the valley of the Psekups river, Krasnodar reservoir

Таблица 2. Виды и объемы нарушений швов
 Table 2. Types and volumes of suture violations

Тип нарушения	Вид нарушения	Количество участков	Длина, м
1	Сколы вдоль шва глубиной до 0,5 см (с одной или двух сторон)	107	1143
2	Сколы вдоль шва глубиной более 5,0 см	142	1897
3	Сколы на нижней стороне ж/б плит (любые)	25	92
4	Сколы на верхней и нижней стороне ж/б плит	25	74,64
5	Сквозное разрушение ж/б плит вдоль шва	103	1257
6	Отсутствует доска в шве (или ее состояние такое, что требует замены)	177	2308
7	Размыв гравийно-песчаной подготовки на глубину до 20 см с вымывом полостей вдоль шва шириной до 0,5 м в каждую сторону	101	
8	Размыв гравийно-песчаной подготовки на глубину до 20 см с вымывом полостей более 0,5 м в каждую сторону	1	

в данных условиях имеет следующие характеристики: разрешающая способность по глубине — 0,1 м; глубина зондирования — до 3 м. Положение всех георадиолокационных профилей сохранялось для дальнейшего изучения.

Обработка и интерпретация полученных в полевых условиях геофизических данных выполнялась в специализированных программах [10]. При проведении обследования пройденные маршруты оценивались визуально, привязка осуществлялась при помощи GPS-навигатора Garmin C62, а при помощи измерительной рулетки намечались места для дальнейших, более детальных георадарных обследований (рис. 5).

В процессе работы анализировалась информация, полученная при маршрутном обследовании, и сопоставлялась с данными, полученными при георадарном обследовании, результаты выносились на карту фактического материала.

Результаты и их обсуждение. Состояние бетонного откоса на всем протяжении исследуемого участка в целом хорошее. Однако в результате обследования бетонного крепления выявлены значительные нарушения по температурно-осадочным швам. Отмечается разрушение закладной деревянной доски швов, в связи с чем швы, как правило, раскрыты [10, 11]. Во многих местах, при сохранившейся еще сплошности железобетонного крепления, швы из-за разрушения уплотнений стали сквозными и под плитами наблюдались пустоты глубиной до 0,2 м. Имеются множественные сколы бетона вдоль швов, в том числе и с оголением арматуры.

Изредка встречаются размывы бетона, не приуроченные к размыву швов и стыков. На всем протяжении видны следы ремонта, выполненные службой эксплуатации водохранилища, как хорошо сохранившегося, так

и подвергнувшегося разрушению вследствие влияния внешних факторов.

Выделено 151 нарушение общей длиной 1620 м (табл. 2). Преимущественно это сколы бетона вдоль швов и, как следствие, вымыв грунта основания под ними на отдельных участках. Типичные участки разрушения швов представлены на рисунке 6.

Помимо визуально наблюдаемых разрушений, под зоной ремонта и плит имеет место ослабление/вынос грунта на расстоянии 0,1-0,2 м в сторону уменьшения пикетажа и около 0,25 м в сторону увеличения. С высокой долей вероятности прогнозируется дальнейшее разрушение плиты на данных участках в ближайшем будущем [11].

При проведении обследования состояния нарушенных участков крепления также выявлено:

- нарушение швов на участках откосов выше ФПУ практически отсутствует;
- нарушение швов на участках откосов ниже УМО практически отсутствует;
- наиболее интенсивное разрушение происходит в зоне волновой переработки между уровнями воды УМО и ФПУ.

Данные результаты подтверждают, что наиболее интенсивное разрушение происходит в зоне волновой переработки между уровнями воды УМО и ФПУ. Уровни воды в водохранилище за весь период эксплуатации лишь дважды подошли к отметке ФПУ и держались от 2 до 5 дней. Уровни воды ниже УМО также опускаются крайне редко, в соответствии с правилами эксплуатации ГТС это должно происходить 1 раз в 5 лет. При этом малая глубина воды в водохранилище при горизонтах ниже УМО гасит волновое воздействие на откосы, в результате чего не приводит к разрушению конструкции швов откосов. Наиболее активное волновое воздействие происходит на участках откосов между УМО и ФПУ.

Существующий вариант конструкции шва и метод его восстановления. Вариант существующей конструкции шва представляется собой 2-элементную конструкцию с использованием просмоленной доски, установленной на железобетонную балку на всю высоту шва. Верх шва закрывается цементно-битумной смесью. В ходе эксплуатации данный вариант показал недостаточную надежность и значительные эксплуатационные затраты на поддержание конструкции шва в работоспособном состоянии. Даже внешне ненарушенный шов ведет к разрушению основания. В связи со снижением эластичности доски образуются щели, через которые происходит вынос песчаных грунтов при волновом воздействии. Мониторинг состояния этих участков затруднен в связи с отсутствием внешних дефектов сооружения, при визуальном осмотре невозможно определить участки выноса грунта основания.

Восстановление шва откоса с использованием отбойного молотка ранее применялся ФГУ «Краснодарское водохранилище» при проведении плановых ремонтов на небольших участках откосов. При использовании данной технологии демонтаж шва происходит со значительным разрушением железобетонных плит откосного крепления (шириной до 40 см в каждую сторону). После удаления остатков разрушенного бетона необходимо восстановление: основания, армирования плиты, бетонного покрытия с одновременным формированием полости для укладки шва.





В ходе работ по демонтажу существующего шва и бетонного покрытия с использованием отбойных молотков возникает вибрация бетонных плит и тела плотины, сложенного из песчаных грунтов [3, 11]. При длительном воздействии вибрации в теле плотины возможно возникновение процессов разжижения песчаных водонасыщенных грунтов, при которых возникает их повышенная текучесть и пески начинают перемещаться вниз по откосу, увеличивается вероятность образования обширных пустот в теле плотины, что значительно повышает вероятность гидродинамической аварии.

Положительной стороной данного варианта является обработанность технологии производства работ и невысокая стоимость, простота исполнения. Отрицательной стороной данного варианта является недолговечность конструкции швов, высокая трудоемкость и длительность производства работ, негативные воздействия, связанные с процессом разуплотнения грунтов плотины (особенно водонасыщенных песков), негативное воздействие на окружающую среду, так как при выполнении работ образуется большое количество отходов производства, что негативно воздействует на окружающую среду. Невысокая производительность и применение ручного труда [12].

Варианты решения. Учитывая вышесказанное, целесообразно принять унифицированный тип шва, единый для всех условий колебания уровней воды в водохранилище.

Технологию производства работ рекомендуется предусмотреть по варианту восстановления шва откоса с использованием стенорезной машины в комплектации с направляющими, который минимизирует возможность гидродинамической аварии на сооружениях напорного фронта водохранилища, а также увеличивает скорость производства работ и позволяет выполнить капитальный ремонт в срок.

При использовании данной технологии демонтаж шва происходит с минимальным разрушением железобетонных плит откосного крепления (шириной до 3 см). Отсутствуют вибрационные нагрузки на тело плотины. Скорость раскрытия шва в сравнении с действующей практикой увеличивается в 8 раз. При выполнении работ образуются минимальные отходы производства, что приводит к минимальному негативному воздействию на окружающую среду. Минимальное использование ручного труда. Применение современной технологии позволяет увеличить срок эксплуатации ГТС и снизить эксплуатационные затраты на объект [13].

Отрицательной стороной данного варианта является повышенная стоимость, которая в сравнении с действующей практикой (увеличение стоимости СМР ориентировочно в 6 раз, согласно сравнительному расчету стоимости СМР, составленного в ценах 2001 г.).

Вариант 1. Для демонтажа нарушений конструкции выполняются 2 разреза бетонного покрытия по обоим краям шва. Резка бетона выполняется на всю толщину бетонного покрытия (16 см) дисковой стенорезной машиной.

Из прорезанного шва удаляются вручную элементы нарушенной конструкции (доска, цементно-битумная смесь, бетон). Затем выполняется прочистка шва от щепы и крошки бетона с помощью компрессора. После очистки шва производится восстановление бетона по обоим сторонам шва. Для этого места сколов

очищаются от растрескавшегося бетона и выполняется пескоструйная обработка восстанавливаемой поверхности для лучшей адгезии старого бетонного покрытия с ремонтным составом.

В качестве ремонтного состава для восстановления сколов используется ремонтная смесь (гидротехнический сульфатостойкий бетон В25, W4, F100). Шов в местах демонтажа отбойным молотком восстанавливается с помощью гидротехнического сульфатостойкого бетона В25, W4, F100.

После восстановления бетона, примыкающего к шву, выполняются работы по монтажу новой конструкции.

Новый шов представляет собой многослойную конструкцию, позволяющую учесть все возможные негативные факторы, направленные на его разрушение [8].

В низ шва укладывается резиновый шнур, превышающий ширину шва на 5 мм. Шнур выполняется из резины средней твердости (ГОСТ 6467-79), что позволяет без особых усилий установить его на нижней части бетонного крепления. После чего происходит изготовление и заливка в шов специальной мастики. Мастика состоит из трех компонентов портландцемента М500 в объеме 60%, 30% — битума БН-III и 10% — резиновой крошки диаметром 1 мм. Шов заполняется мастикой на глубину 7 см. Далее в шов заводится верхний резиновый шнур диаметром 25 мм на глубину 2 см от поверхности бетонного покрытия откоса.

Оставшийся участок шва заполняется герметиком двухкомпонентным эпоксиуретановым холодного отверждения Элур-Т (или аналог), перед нанесением герметика шов просушивается и обрабатывается однокомпонентной полиуретановой грунтовкой КТ пол Праймер ПУ 01 (или аналог). Суммарная длина шва соответствует толщине железобетона и равна 16 см.

В конструкции шва предусматривается пустота высотой 2 см между верхней частью мастики и верхним резиновым шнуром. Ее назначение — препятствовать выдавливанию элементов конструкции шва при температурном расширении конструкции.

Основные назначения элементов шва:

- нижний резиновый шнур служит для предотвращения вытекания мастики в пустоты, имеющиеся в местах нарушенных швов [13];
- мастика является основным противофильтрующим элементом, препятствующим возникновению суффозии при волновой нагрузке на откос;
- верхний резиновый шнур позволяет оставить пустоту в верхней части шва, необходимую при его работе на сжатие;
- герметик защищает резиновый шнур от вылезания из шва при возможных внешних воздействиях (плавающий мусор, человеческий фактор), а также выполняет противофильтрационную функцию.

Вариант 2. Шов, выполняемый по варианту 2, является наиболее массовым, он выполняется на участках бетонного крепления толщиной 25 см. Протяженность ремонта швов по варианту 2 составляет около 89% от общего объема работ.

Технология подготовки шва и его конструкция, практически, не отличается от шва, выполняемого по варианту 1, за исключением:

- ширина шва составляет 30 мм;
- шов прорезается не на всю глубину, а для всех вариантов равен 23 мм;

- высота заливки мастики увеличивается с 7 до 9 см;
- пустое пространство увеличивается с 2 до 3 см;
- резиновый шнур, укладываемый в шов, имеет диаметр 35 мм.

Вариант 3. Данный вариант шва применяется при ремонте шва с глубоким вымывом основания. На участках с размывом до 20 см используется вариант 2, при размыве более 20 см — вариант 3.

Технология подготовки шва и его конструкция полностью соответствует варианту 2. Однако по данному варианту предусматриваются работы по восстановлению основания. После восстановления шва по описанному выше варианту 2 предусмотрены следующие виды работ:

- сверление отверстия в нижней части ремонтного участка диаметром 10 см для заливки под плиту бетона с целью создания пробки, препятствующей перетеканию ремонтного раствора на участки с меньшими размывами (менее 20 см);
- далее по обеим сторонам восстановленного шва на расстоянии 20 см от оси шва, в шахматном порядке через 1,5 м сверлятся отверстия для подачи ремонтного раствора под плиты крепления. В качестве ремонтного раствора используется пенобетон Пенозолон D150 (или аналог), его подачу производят снизу вверх. После выдавливания раствора из вышележащего отверстия нижнее отверстие закрывается цементной «пробкой», и подача раствора осуществляется через отверстие, из которого выдавливается раствор. В том же порядке производится заполнение основания до полного завершения работ [5].

Выводы. Развитие негативных процессов, влияющих на устойчивость грунтового основания верхового откоса оградительной земляной плотины инженерной долины р. Псекупс, может привести к образованию серьезных повреждений, а в экстремальных ситуациях и к разрушению бетонных креплений, провоцирующих полный выход из строя гидротехнического сооружения.

Для оценки надежности креплений необходим систематический эксплуатационный контроль их состояния. Учитывая, что грунты скрыты под железобетонными плитами крепления, обследование нужно проводить неразрушающими дистанционными методами диагностики. Среди инструментальных методов неразрушающего выборочного контроля (вибраакустический, тепловой, ультразвуковой) явными преимуществами обладает георадиолокационный метод, благодаря обеспечению высокой эффективности и оперативности. Важным достоинством георадиолокационного обследования является возможность проведения наблюдений на некотором удалении от поверхности объекта. Дистанционное расположение антенн обеспечивает проведение съемки при непрерывном их движении. В сочетании с узкой диаграммой направленности электромагнитной антенны это существенно повышает детальность, а следовательно, и пространственную разрешающую способность исследований [4].

Перед появлением видимых разрушений крепления верхового откоса плотины внутри ее насыпного тела протекают скрытые негативные процессы (образование пустот, зон разуплотнения грунта земляного полотна, инфильтрация



грунтовых вод по деформационным и межплиточным швам), своевременное выявление которых позволило бы вовремя принимать соответствующие меры. Периодическое получение новых георадиолокационных разрезов и их сравнение с предыдущими результатами георадиолокационного зондирования по одним и тем же профильным линиям позволяют оперативно и своевременно выделять участки плотины, подверженные негативным процессам.

По данным визуального и инструментального обследования определен объем работ по капитальному ремонту швов в разрезе изучаемого участка. Разработана и предложена технологическая последовательность при выполнении ремонтных работ, а также основные мероприятия и технические решения по капитальному ремонту.

Результаты исследования представляют интерес с точки зрения инженерной практики и будут полезны при проектировании, ремонте и разработке рекомендаций по оптимизации работ, схожих с исследуемыми в работе ГТС. Ожидается, что данная работа послужит основой для последующего анализа и оценки надежности креплений откосов ГТС при аналогичных выявленных дефектах.

Список источников

1. Бандурин М.А., Волосухин В.А. Мониторинг сооружений водного хозяйства // Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы, Зерноград, 25-26 октября 2012 г. / Правительство Ростовской области, Министерство сельского хозяйства и продовольствия; ФГБОУ ВПО АЧГАА. Зерноград, 2012. С. 98-101.
2. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*, no. 931, pp. 214-218.
3. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. *Journal of Agriculture and Environment*, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15
4. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Необходимость многофакторной диагностики Донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 346-354.
5. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). *Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region*. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010
6. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.

tion Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.

7. Кузнецов Е.В., Хаджи А.Е., Приходько И.А. Способ подготовки почвы к посеву риса в паровом поле рисового севооборота // Патент № 2457650 С1 Российской Федерация, МПК А01В 79/02, А01Г 16/00. № 2010153809/13: заявл. 27.12.2010: опубл. 10.08.2012; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.
8. Кантаржи И.Г., Губина Н.А., Гусаров Р.Н. Воздействие длинных волн на береговые гидротехнические сооружения // Гидротехническое строительство. 2021. № 2. С. 48-52.
9. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Хохлова О.Б. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2010. 240 с.
10. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeyev, A.E. (2020). *Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems*. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202021005014
11. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.
12. Чеботарев М.И., Приходько И.А. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса // Патент № 2482663 С2 Российской Федерация, МПК А01Г 16/00: № 2011123829/13: заявл. 10.06.2011: опубл. 27.05.2013; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.
13. Юрченко И.Ф., Носов А.К. О критериях и методах контроля безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сборник научных трудов. 2014. № 53. С. 158-165.

References

1. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A. (2012). Monitoring сооружений водного хозяйства [Monitoring of water facilities]. *Innovatsionnye puti razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: zadachi i perspektivy, Zernograd, 25-26 oktyabrya 2012 g.* [Innovative ways of development of the agro-industrial complex: tasks and prospects, Zernograd, October 25-26, 2012]. Zernograd, pp. 98-101.
2. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*, no. 931, pp. 214-218.
3. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. *Journal of Agriculture and Environment*, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15
4. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A. (2017). Neobkhodimost' mnogofaktornoj diagnostiki Donskoi shlyuzovannoy

noi sistemy v usloviyakh rosta defitsita vodnykh resursov i bezopasnosti sooruzhenii [The need for multifactorial diagnostics of the Donskoy sluice system in the conditions of growing water resources deficit and the safety of facilities]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, vol. 9, no. 2, pp. 346-354.

5. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). *Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region*. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010
6. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.
7. Kuznetsov, E.V., Khadzhi, A.E., Prikhod'ko, I.A. (2012). *Sposob podgotovki pochvy k posedu risa v parovom pole risovogo sevooborota* [Method of soil preparation for sowing rice in a fallow field of rice crop rotation]. Applicant and patentee Kuban GAU No. 2010153809/13; app. 12/27/2010; publ. 10.08.2012, 6 p.
8. Kantarzhii, I.G., Gubina, N.A., Gusarov, R.N. (2021). *Vozdeistvie dlinnykh voln na beregovye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [The impact of long waves on coastal hydraulic structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], no. 2, pp. 48-52.
9. Kireicheva, L.V., Karpenko, N.P., Khokhlova, O.B. (2010). *Novye tekhnologii proektirovaniya, obosnovaniya stroitel'stva, ehksploatatsii i upravleniya meliorativnymi sistemami* [New technologies for design, justification of construction, operation and management of land reclamation systems]. Moscow, All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 240 p.
10. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeyev, A.E. (2020). *Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems*. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202021005014
11. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.
12. Chebotarev, M.I., Prikhod'ko, I.A. (2013). *Sposob melioratsii pochvy risovoi orositel'noi sistemy k posedu risa* [The method of soil reclamation of the rice irrigation system for sowing rice]. Applicant and patentee Kuban GAU No. 2011123829/13; app. 06/10/2011; publ. 05.27.2013, 6 p.
13. Yurchenko, I.F., Nosov, A.K. (2014). O kriteriyakh i metodakh kontrolya bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenii meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa [On the criteria and methods for monitoring the safety of hydraulic structures of the reclamation water management complex]. *Puti povysheniya ehffektivnosti oroshayemogo zemledeliya: sbornik nauchnykh trudov* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture: collection of scientific papers], no. 53, pp. 158-165.

Информация об авторах:

Бандурин Михаил Александрович, доктор технических наук, доцент, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, декан факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru
Приходько Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru
Романова Анна Сергеевна, обучающаяся 4 курса бакалавриата факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9035-917X>, ny30082002@mail.ru

Information about the authors:

Mikhail A. Bandurin, doctor of technical sciences, associate professor, Honored inventor of the Russian Federation, dean of the faculty of hydroreclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru
Igor A. Prikhodko, candidate of technical sciences, associate professor, acting head of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru
Anna S. Romanova, 4th year undergraduate student of the faculty of hydroreclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9035-917X>, ny30082002@mail.ru

