

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

УДК 627.843:69.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭШКАКОНСКОГО ГИДРОУЗЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ****Волосухин Виктор Алексеевич** , *д-р техн. наук, профессор*

ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus AuthorID57201781001; РИНЦ AuthorID290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru; 8 (928) 214-75-11

Бандурин Михаил Александрович , *д-р техн. наук, доцент*

ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus AuthorID57201780087; РИНЦ AuthorID518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-2467; chepura@mail.ru 8 (950) 855-76-40

Приходько Игорь Александрович, *канд., техн. наук, доцент*

ORCID: 0000-0003-4855-0434; Scopus AuthorID57214098822; РИНЦ AuthorID970218; SPIN-код 4011-7185; prihodkoigor2012@yandex.ru

Руденко Артем Анатольевич, *аспирант*

ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus AuthorID57486226000; РИНЦ AuthorID1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

Аннотация. Основная цель исследований заключается в определении значения риска аварии гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшакон. Показатели риска возникновения аварии каменно-земляной плотины считались по двум сценариям как наиболее вероятным, подтвержденным результатами оценки состояния сооружений по данным комиссии по их обследованию, а также данными ранее имевших место аварийных ситуаций на других аналогичных объектах. Анализ конструктивных особенностей, показателей прочности, устойчивости и состояния гидротехнических сооружений Эшаконского гидроузла по данным проекта, поверочных расчетов и натурных наблюдений указывает на то, что наиболее уязвимым сооружением для воздействия факторов опасности природного и техногенного характера, способных вызвать гидродинамическую аварию, является каменно-земляная плотина. К качестве фактора природного воздействия на гидротехнические сооружения Эшаконского гидроузла может рассматриваться авария на плотине от сейсмического воздействия силой, превышающей расчетную величину. Выполняемые регулярные натурные наблюдения и исследования, техническое обслуживание и ремонтные мероприятия обеспечивают постоянное поддержание гидротехнических сооружений в работоспособном состоянии. Для локализации и ликвидации возможных опасных крупномасштабных повреждений и аварийных ситуаций на сооружениях материально-технических средств собственника объекта достаточно. Совершенствование технологии ликвидации аварий и усиление технических средств противоаварийного назначения достигаются проведением комплекса специальных мероприятий, включающих в себя организационные, профилактические, ремонтные и конструктивно-технические решения предотвращения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: мониторинг, техническое состояние, гидротехнические сооружения, надежность, сейсмические воздействия

Формат цитирования: Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А. Оценка технического состояния Эшаконского гидроузла при проведении мониторинга безопасной эксплуатации // Природообустройство. 2022. № 2. С. 72-80. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80.

© Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE ASHKAKON HYDROPOWER PLANT DURING THE MONITORING OF SAFE OPERATION

Volosukhin Viktor Alekseevich , Professor of the Department of Strength of Materials professor, doctor of technical sciences

ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus AuthorID57201781001; PIIHQ AuthorID290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru

Bandurin Mikhail Aleksandrovich , Dean of the Faculty of Hydroreclamation, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences

ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus AuthorID57201780087; PIIHQ AuthorID518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-246; chepura@mail.ru

Prihodko Igor Alexandrovich, Head of the Department of Construction and Operation of Water Facilities, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

ORCID: 0000-0003-4855-0434; Scopus AuthorID57214098822; PIIHQ AuthorID970218; SPIN-код 4011-7185; prihodkoigor2012@yandex.ru

Rudenko Artem Anatolyevich, Postgraduate Student

ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus AuthorID57486226000; PIIHQ AuthorID1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Annotation. An analysis of the design features, indicators of strength, stability and condition of the hydraulic structures of the Eshkakon hydroelectric complex according to the project data, verification calculations and field observations indicates that the most vulnerable structure to the impact of natural and man-made hazards that can cause a hydrodynamic accident is a rock-and-earth dam. As a factor of natural impact on the hydraulic structures of the Eshkakon hydroelectric complex, an accident at the dam from a seismic impact with a force exceeding the calculated value can be considered. Regular field observations and research, maintenance and repair activities carried out regularly ensure the constant maintenance of hydraulic structures in working condition. For the localization and liquidation of possible dangerous large-scale damage and emergencies at the facilities, the material and technical means of the owner of the facility are sufficient. Improvement of the technology of liquidation of accidents and strengthening of technical means of emergency protection is achieved by carrying out a set of special measures, including organizational, preventive, repair and structural and technical solutions for preventing accidents.

Keywords: monitoring, technical condition, hydraulic structures, reliability, seismic effects

Format of citation: Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prihodko I.A., Rudenko A.A. Assessment of the technical condition of the Eshkakonsky hydroelectric complex during monitoring of safe operation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 72-80. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80.

Введение. На Ставрополье в апреле 2023 г. недалеко от г. Пятигорска, на глубине 15 км произошло землетрясение магнитудой в 4,6 балла, это отголоски недавнего разрушительного землетрясения в Турции. В настоящее время возникает вопрос долгосрочного прогноза сейсмической опасности для гидротехнических сооружений, а именно карт детального сейсмического районирования и микрорайонирования территории. На юге России только в Республике Северная Осетия есть такие нормативные документы, в Республиках Дагестане и Чечне формируются программы для создания такого районирования.

Комплекс гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшкаконе расположен в Карачаево-Черкесской республике на территории Кубанского бассейнового водного

управления и предназначен для снабжения водой питьевого качества г. Кисловодска и прилегающих поселков Малокарачаевского района Карачаево-Черкесской республики [1, 2]. Комплекс включает в себя такие сооружения, как каменно-земляная плотина, паводковый водосброс, водозаборные сооружения, строительно-эксплуатационный тоннель. Высота гребня плотины над уровнем моря составляет 1214,5 м [3, 4].

Район р. Эшкакон расположен на границе континентальной климатической области Европейской территории России с климатической областью высокогорья Большого Кавказа [5]. В непосредственной близости от гидроузла населенных пунктов нет, в случае аварии в нижнем бьефе в зону возможного затопления в долинах рек Эшкакон и Подкумок попадают следующие населенные пункты: с. Учкеев, с. Римгорское,

с. Джага, с. Красный Курган (КЧР); п. Садовая Долина, г. Кисловодск, г. Пятигорск, ст. Лысогорская, ст. Незлобная, г. Георгиевск (Ставропольский край); 3 железнодорожных моста и 28 автодорожных; 3 рекреационных водохранилища городов-курортов (Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск) [6, 7].

Материалы и методы исследований.

Определены значения риска аварии комплекса гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшпакон. Показатели риска возникновения аварии каменно-земляной плотины определялись по двум сценариям как наиболее вероятным, подтвержденным результатами оценки состояния сооружений по данным комиссии по их обследованию, а также исходя из данных ранее имевших место аварийных ситуаций на других аналогичных объектах [8].

Долина р. Эшпакон прорезает толщу осадочных пород мезозойского возраста, а затем врезается в верхнепалеозойские гранитоиды. Свидетельством растущей тектонической активности на Кавказе являются многочисленные подземные толчки, которые сейсмологи регистрирует в последние годы. Район характеризуется фоновой сейсмичностью 8 баллов, при изыскательских работах на площадке гидроузла проведено сейсмическое микрорайонирование. В настоящее время склоны долины находятся в равновесном состоянии.

Результаты и их обсуждение. За период эксплуатации на комплексе капитальный ремонт и реконструкции не проводились. В 2001 г. выполнены досыпка и асфальтирование гребня плотины. В первые годы эксплуатации для повышения устойчивости каменно-земляной плотины ее низовая призма от бермы до основания была расширена на 50 м присыпкой крупнообломочного грунта.

Паводковый водосброс – открытый, vyplненный из железобетона, с боковым автоматическим водосливом практического профиля, с быстротокком и консольным перепадом. В ходе проведенного визуального обследования паводкового водосброса были выявлены дефекты и повреждения, приведенные (рис. 1а). Представлено частичное разрушение железобетона вследствие атмосферных воздействий на паводковый водосброс, также образовались продольные трещины (рис. 1б), появились отслоения защитного слоя, отслоения бетона, образования как продольных, так и поперечных трещин, коррозии бетона и арматуры с последующие фильтрацией воды через данные повреждения. Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные [9].

Элементы паводкового водосброса в ходе продолжительной эксплуатации частично потеряли свою несущую способность, но продолжают выполнять в полном техническом объеме свои эксплуатационные качества, несмотря на приведенные дефекты и повреждения. Аварийные дефекты, угрожающие его эксплуатационным свойствам, на данном сооружении отсутствуют (рис. 2) [10].

По данным обследования, состояния бетона водосброса удовлетворительное. На поверхностях бетона трещины, каверны, отслоения защитного слоя, обнажения арматуры отсутствуют за исключением участка приемного бассейна в противоположной стороне от моста, где имеют место повреждения бетонной поверхности и обнажения арматуры. Статическая устойчивость водосброса обеспечивается в соответствии с нормами (основное сочетание нагрузок – $K_s = 2,0$; особое сочетание нагрузок – $K_s = 1,4$ при соответствующих нормативных значениях 1,20 и 1,08). Водозаборное сооружение (водоприемник) состоит из входного



Рис. 1. Обследование паводкового консольного водосброса:

а – общий вид; б – образование продольных трещин

Fig. 1. Inspection of the flood cantilever spillway:

a – general view; b – formation of longitudinal cracks

оголовка и наклонной галереи (рис. 3а). В ходе проведенного визуального обследования водозаборного сооружения были выявлены дефекты и повреждения, приведенные на рис. 3, б.

На рисунке 4а представлено частичное разрушение железобетона вследствие атмосферных воздействий на сооружение, также образовались продольные трещины (рис. 3б), появились

отслоения защитного слоя, отслоения бетона, коррозии бетона и арматуры с последующей фильтрацией воды через данные повреждения (рис. 4б). Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные.

Каменно-земляная плотина – с центральным ядром из суглинка и упорными призмами из каменной наброски и переходными зонами



Рис. 2. Дефекты паводкового консольного водосброса:

а – коррозия бетона; б – образование поперечных трещин с дальнейшей фильтрацией воды

Fig. 2. Defects of the flood cantilever spillway:

а – concrete corrosion; б – formation of transverse cracks, with further water filtration



Рис. 3. Обследование водозаборного сооружения:

а – общий вид; б – образование продольных трещин

Fig. 3. Inspection of the water intake structure:

а – general view; б – formation of longitudinal cracks

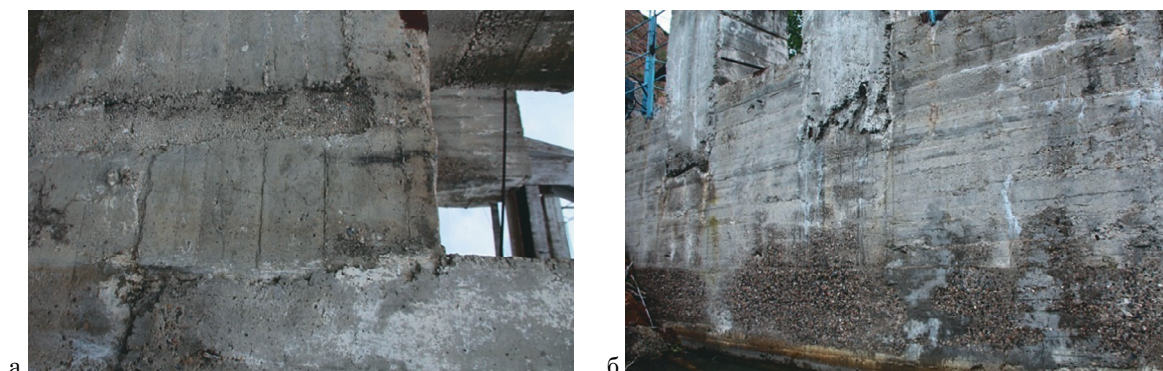


Рис. 4. Дефекты водозаборного сооружения:

а – ржавые потеки на стенках; б – эрозия бетона вследствие кавитационных процессов

Fig. 4. Defects of the water intake structure:

а – rusty streaks on the walls; б – erosion of concrete due to cavitation processes

из песчано-гравийных грунтов (рис. 5а). Длина плотины по гребню составляет 220 м, отметка гребня – 1214,5 м. Возведение плотины производилось «насухо» послойной укладкой и уплотнением грунтов. Переходные фильтровые зоны по граням ядра выполнены двухрядными. Откосы закреплены отборным крупнообломочным камнем (наброской). На низовом и верховом откосах на отм. 1174,5 м предусмотрены бермы шириной 5 м. Для повышения устойчивости плотины ее низовая призма от бермы до основания была расширена на 50 м присыпкой крупнообломочного грунта. Грунты основания – массивные прочные граниты. Сопряжение суглинистого ядра со скальным основанием осуществлено с помощью сплошной бетонной плиты, площадной цементации и цементационной завесы (двухрядной – до отметки 1100,0 м, однорядной – до отметки 1060,0 м).

По данным визуального обследования на гребне, бермах и откосах плотины, деформации просадочного или оползневого характера не отмечены (рис. 5б). Размывы крепления (наброска) на верховом откосе отсутствуют.

По данным инструментальных натурных наблюдений, работа и техническое состояние плотины характеризуются следующими показателями (рис. 6а) [11, 12]. Осадка гребня плотины происходит закономерно и имеет плавный затухающий во времени характер. В последние годы приращения осадки находятся в пределах 1-5 мм/год, что близко к пределу точности ее измерений. По длине плотины величина осадки гребня закономерно меняется практически пропорционально ее высоте в контрольных створах. За весь период наблюдений максимальная осадка гребня составила 216 мм и оценивается как незначительная для плотины высотой около 84 м (относительно высоты плотины максимальная осадка не превышает 0,25%). Поперечные сезонные горизонтальные смещения гребня плотины от изменяющейся гидротехнической нагрузки со стороны верхнего бьефа в настоящее время носят упругий характер, величины их для различных наблюдательных створов составляют от $\pm 1,0$ до ± 18 мм. Отсутствие роста необратимых горизонтальных смещений гребня характеризует работу



Рис. 5. Обследование каменно-земляной плотины:

а – общий вид; б – разрушение железобетона на стыках моста

Fig. 5. Examination of the rock-and-earth dam:

а – general view; б – destruction of reinforced concrete at the joints of the bridge



Рис. 6. Дефекты каменно-земляной плотины:

а – произрастание растительности; б – разрушение стыков облицовки

Fig. 6. Defects of the rock-and-earth dam:

а – growth of vegetation; б – destruction of the joints of the cladding

плотины по данному показателю как нормальную (рис. 6б).

По берегам Эшкаконского водохранилища возникают оползневые процессы вследствие повышенной фильтрации по берегам (рис. 7а). В ходе проведенного визуального обследования водохранилища были выявлены дефекты и повреждения. Оползневые процессы угрожают нормальной эксплуатации сооружения [13]. Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные (рис. 7б).

Строительно-эксплуатационный тоннель выполнен в прочной гранитной скале в левобережном массиве (рис. 8а). Он имеет длину 330 м, площадь поперечного сечения 15 м^2 , толщину железобетонной обделки 30 см. Внутри тоннеля уложены два стальных напорных трубопровода диаметром 600 мм, идущие от водозабора. Трубопроводы защищены железобетонной рубашкой. Общая длина трубопроводов от водозаборного сооружения до камеры переключения № 1-350,55 м. Водоприток в середине вызван обратной отдачей воды из застойных

зон, образовавшихся за обделкой под влиянием напорной фильтрации воды в местах монтажных стыков железобетонных колец (рис. 8б) [14, 15].

Обделка напорных водоводов имеет продольные трещины и сколы (рис. 9а). На участке без обделки имеют место следы незначительных вывалов горной породы. В целом состояние скальных стенок свода тоннеля является нормальным. Протечки фильтрующей воды в тоннель через скальный массив весьма незначительны – менее 1 л/с. Железобетонная и торкретная обделки заметных повреждений не имеют, хотя на бетоне обделки правобережной и левобережной цементационных штолен, подходной штольни имеют место следы выщелачивания (рис. 9б).

С водозаборных сооружений вода поступает в отстойники с комплексом реагентного хозяйства и проходит двухступенчатую очистку через скорые и напорные фильтры. Производительность скорых фильтров – 95 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$, напорных фильтров – 15 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ Далее вода через резервуар чистой воды объемом 1 тыс. м^3 подается в магистральные водоводы.

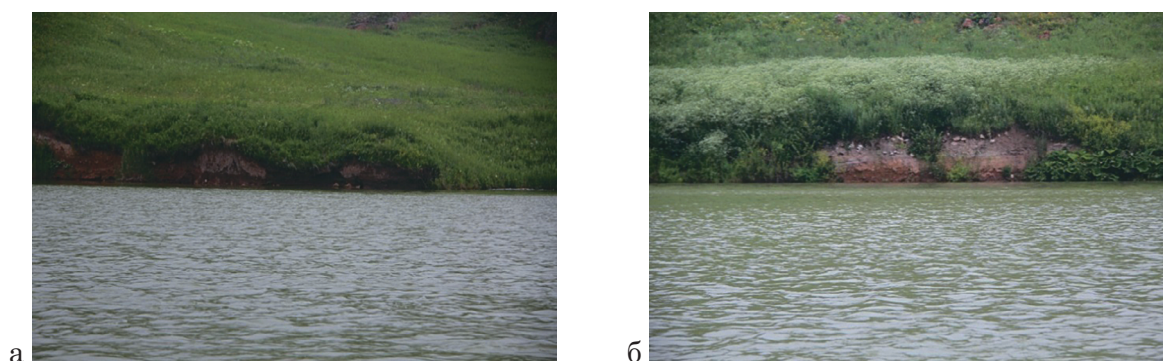


Рис. 7. Обследование береговой линии Эшкаконского водохранилища:

а – начало оползня; б – обрушение берега водохранилища

Fig. 7. Inspection of the coastline of the Eshkakon reservoir:

a – the beginning of the landslide; b – collapse of the shore of the reservoir

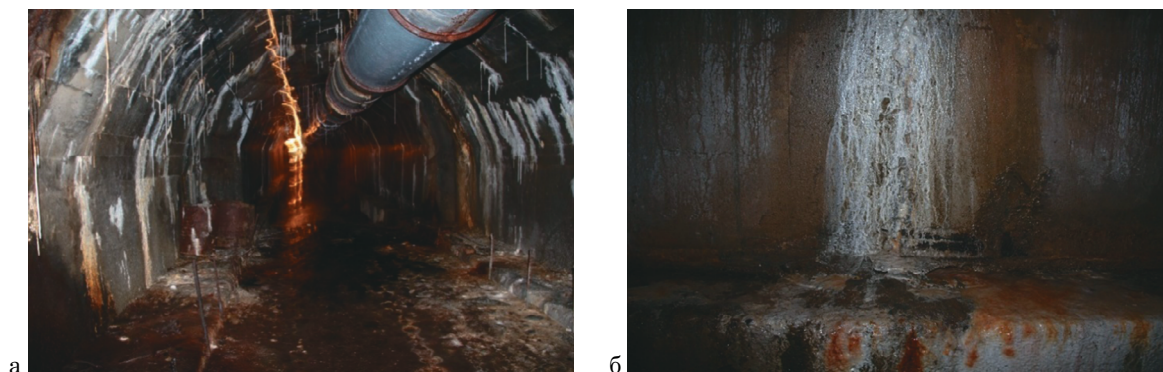


Рис. 8. Обследование строительно-эксплуатационного тоннеля:

а – современный вид;

б – на стенках тоннеля наблюдается эрозия бетона вследствие кавитационных процессов

Fig. 8. Inspection of the construction and maintenance tunnel:

a – modern view; b – concrete erosion is observed on the tunnel walls due to cavitation processes

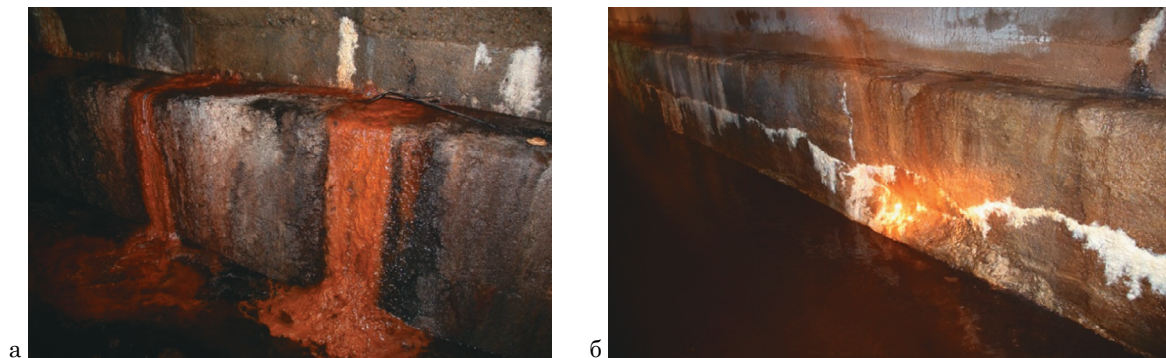


Рис. 9. Дефекты строительно-эксплуатационного тоннеля:

а – кавитационные процессы; б – биологическая коррозия бетонной облицовки на выходе из тоннеля

Fig. 9. Defects of the construction and maintenance tunnel:

a – cavitation processes; b – biological corrosion of concrete lining, at the exit from the tunnel

Выводы

Анализ конструктивных особенностей, показателей прочности, устойчивости и состояния комплекса гидротехнических сооружений Эшкаконского гидроузла по данным проекта, поверочных расчетов и натурных наблюдений указывает на то, что наиболее уязвимым сооружением для воздействия факторов опасности природного и техногенного характера, способных вызвать гидродинамическую аварию вследствие увеличивающейся сейсмической опасности, является каменно-земляная плотина. Ядро, переходные фильтровые зоны и цементационная завеса каменно-земляной плотины работают эффективно. Расчетные значения коэффициентов устойчивости откосов каменно-земляной плотины и коэффициентов устойчивости на сдвиг паводкового водосброса при основном и особом сочетании нагрузок удовлетворяют их критериальным (нормативным) значениям для сооружения II класса и составляют:

- для откосов плотины 1,52 и 1,31;
- для паводкового водосброса 2,0 и 1,64.

По данным инструментальных натурных наблюдений работа и техническое состояние плотины характеризуется следующими показателями. Осадка гребня плотины происходит закономерно и имеет плавный затухающий во времени характер. В последние годы приращения осадки находятся в пределах 1-5 мм/год, что близко к пределу точности ее измерений. По длине плотины величина осадки гребня закономерно меняется практически пропорционально ее высоте в контрольных створах. За весь период наблюдений максимальная осадка гребня составила 220 мм и оценивается как незначительная для плотины высотой около 85 м (относительно высоты плотины максимальная осадка не превышает 0,25%).

Поперечные сезонные горизонтальные смещения гребня плотины от изменяющейся гидротехнической нагрузки со стороны верхнего бьефа в настоящее время носят упругий характер, величины их для различных наблюдательных створов составляют от $\pm 1,0$ до ± 18 мм. Отсутствие роста необратимых горизонтальных смещений гребня характеризует работу плотины по данному показателю как нормальную. Продольные относительные деформации грунта гребня плотины по данным десяти летних наблюдений находятся в пределах $0,00024 \div 0,0009$, что на порядок меньше предельно-допустимого критериального показателя для суглинка ядра.

Предполагаемые сценарии возникновения возможной аварии:

– перелив воды через гребень каменно-земляной плотины при длительном паводке, в этом случае на плотине при переливе воды происходит прогрессирующий размыв участка сопряжения каменно-земляной плотины с левым берегом и размыв грунта на ее низовом откосе. Затем следует понижение и продвижение границы размыва в сторону напорного откоса, расширение прорана размыва, увеличение расхода воды, переливающейся через плотину и интенсивный размыв прорана;

– авария на плотине от сейсмического воздействия силой, превышающей расчетную величину, образование в плотине сквозных поперечных трещин значительной глубины и локальных обрушений откосов, в том числе с захватом оползнями гребня; сосредоточенная фильтрация по трещинам и перелив воды через локальные понижения гребня; увеличение расхода воды; образование прорана, размыв тела плотины, прорыв напорного фронта.

В качестве итоговой величины среднегодовой вероятности реализации возможной аварии

принята наибольшая величина по сценарию 2 ($P_a = 5 \times 10^{-4}$ 1/год) Выполняемые регулярные натурные наблюдения и исследования, техническое обслуживание и ремонтные мероприятия обеспечивают постоянное поддержание гидротехнических сооружений в работоспособном состоянии. Для локализации и ликвидации возможных

опасных крупномасштабных повреждений и аварийных ситуаций на сооружениях материально-технических средств собственника объекта достаточно. Диагностические показатели работы и технического состояния комплекса гидротехнических сооружений отвечают критериям безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001 Система мониторинга комплексной оценки безопасности технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса работоспособности гидротехнических сооружений юга России при возрастающих природных и техногенных катастрофах с учётом изменения климатических и сейсмических условий региона).

Financing. The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-2001 A system for monitoring a comprehensive assessment of the safety of the technical condition and forecasting the residual resource of operability of hydraulic structures in the south of Russia under increasing natural and man-made disasters, taking into account changes in the climatic and seismic conditions of the region).

Список использованных источников

1. **Волосухин Я.В.** Безопасность комплекса гидротехнических сооружений в бассейне малой горной реки Эшкакон // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2017. № 2 (194). С. 85-90.
2. **Волков В.И., Снежко В.Л., Козлов Д.В.** Прогноз уровня безопасности низконапорных и бесхозных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2018. № 11. С. 35-41.
3. **Финагенов О.М.** Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений / О.М. Финагенов, Штильман С.Г. Шульман, А.М. Юделевич // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7-20.
4. **Волосухин В.А.** Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных водохранилищ и обводнительно-орошительных систем / В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, Я.В. Волосухин и др.; Под общ. ред. В.А. Волосухина. Новочеркасск: ООО «Лик», 2010. 338 с.
5. **Панов С.И.** Роль ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева в развитии оценки состояния грунтовых ГТС на базе натурных исследований и расчетных методов / Е.А. Филиппова, О.А. Буряков и др. // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 74-84.
6. **Волосухин Я.В., Иванкова Т.В., Потапенко Ю.Я.** Экологические аспекты зон санитарной охраны основного источника водоснабжения города-курорта Кисловодска // Природообустройство. 2020. № 3. С. 91-99. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-91-99.
7. **Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А.** Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50-56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.
8. **Волосухин В.А., Бандурин М.А.** Проблемные вопросы реализации мониторинга водопользования на Юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 2-1 (24). С. 113-123.

References

1. **Volosukhin Ya.V.** Safety of the complex of hydraulic structures in the basin of the small mountainous river Eshkakon / Ya.V. North Caucasian region. Technical science. 2017. No. 2 (194). pp. 85-90. – DOI 10.17213/0321-2653-2017-2-85-90.
2. **Volkov V.I., Snezhko V.L., and Kozlov D.V.** Forecast of the safety level of low-pressure and ownerless hydraulic structures, Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2018. No. 11. pp. 35-41.
3. Development of methods for assessing the reliability of hydraulic structures / O.M. Finagenov, V.B. Shilman, S.G. Shulman, A.M. Yudelevich // Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics. B.E. Vedeneeva. 2021. Vol. 300. pp. 7-20.
4. **Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Volosukhin Ya.V.** Safety monitoring of hydraulic structures of low-pressure reservoirs and water-irrigation systems [and others]; Under the general editorship of V.A. Volosukhin. Novocherkassk: ООО "Lik", 2010. 338 p.
5. **Panov S.I.** The role of VNIIG them. B.E. Vedeneeva in the development of assessing the state of soil hydrotechnical systems based on field studies and calculation methods / E.A. Filippova, O.A. Buryakov [et al.] // Proceedings of the All-Russian Research Institute of Hydrotechnics named after. B.E. Vedeneeva. 2021. Vol. 300. pp. 74-84.
6. **Volosukhin Ya.V.** Ecological aspects of sanitary protection zones of the main source of water supply in the resort city of Kislovodsk / Ya.V. Volosukhin, TV Ivankova Yu.Ya. 2020. No. 3. pp. 91-99. – DOI 10.26897/1997-6011-2020-3-91-99.
7. **Volosukhin V.A.** Climate change: causes, risks for the water management complex of the Krasnodar Territory / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, I.A. Prihodko // Nature Engineering. 2022. No. 4. pp. 50-56. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.
8. **Volosukhin V.A.** Problematic issues of implementation of water use monitoring in the South of Russia in the conditions of growth of technogenic loads and climatic changes / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin // Bulletin of the Don State Agrarian University. 2017. No. 2-1 (24). pp. 113-123.

9. **Скрипка Г.И.** Мониторинг опасных береговых процессов Цимлянского водохранилища с использованием ГИС-технологий / О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова и др. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26, № 2. С. 253-263. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.

10. Mechanical stresses in building structures and dry friction-ways to improve the durability of architectural structures / Z. Jing, D. Benin, V. Snezhko et al. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12, № 2. Pp. 578-585. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP2/SP20201107.

11. **Снежко В.Л., Сидорова С.А., Симонович О.С.** Прогноз уровня безопасности грунтовых низконапорных плотин // Природообустройство. 2019. № 2. С. 72-79. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80.

12. Seismic input models for tuned mass damper designing / Y.U. Albert, A.A. Dolgaya, T.V. Ivanova et al. // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 8 (76). Pp. 98-105. DOI: 10.18720/MCE.76.9.

13. **Denisov G.V.** Condition of the Gotsatli Hydroelectric Power Plant Dam During Filling of the Reservoir According to Field Observations and Numerical Modeling / G.V. Denisov, O.Y. Davydkin, K.M. Vorob'ev // Power Technology and Engineering. 2017. Vol. 51. № 3. Pp. 267-273. DOI: 10.1007/s10749-017-0823-y.

14. **Гурьев А.П.** Рекомендации по предупреждению кавитационной эрозии бетона на примере водосброса № 2 Богучанской ГЭС / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, В.А. Фартуков и др. // Природообустройство. 2019. № 4. С. 69-77. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77.

15. **Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф.** Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. № 1. С. 12-15.

Критерии авторства

Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023

Одобрена после рецензирования 17.02.2023

Принята к публикации 21.02.2023

9. **Skripka G.I.** Monitoring of hazardous coastal processes of the Tsimlyansk Reservoir using GIS technologies / Ivlieva O.V., Bepalova L.A. [et al.] // InterKarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. No. 2. pp. 253-263. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.

10. Mechanical stresses in building structures and dry friction-ways to improve the durability of architectural structures / Z. Jing, D. Benin, V. Snezhko [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. – No S2. P. 578-585. – DOI 10.5373/JARDCS/V12SP2/SP20201107.

11. **Snezhko V.L., Sidorova S.A., and Simonovich O.S.** Prediction of the safety level of soil low-pressure dams, Prirodoobstroystvo. 2019.No. 2. pp. 72-79. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80.

12. Seismic input models for tuned mass damper designing / Y.U. Albert, A.A. Dolgaya, T.V. Ivanova [et al.] // Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 8 (76). pp. 98-105. – DOI 10.18720/MCE.76.9.

13. **Denisov G.V.** Condition of the Gotsatli Hydroelectric Power Plant Dam During Filling of the Reservoir According to Field Observations and Numerical Modeling / G.V. Denisov, O.Y. Davydkin, K.M. Vorob'ev // Power Technology and Engineering. 2017. Vol. 51.No 3. P. 267-273. – DOI 10.1007/s10749-017-0823-y.

14. **Guriev A.P., Khanov N.V., Fartukov V.A.** [et al.] Recommendations for the prevention of cavitation erosion of concrete on the example of the spillway No. 2 of the Boguchanskaya HPP. 2019. No. 4.pp. 69-77. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77.

15. **Karpenko N.P.** Theoretical substantiation of the structure of the classifier of safety criteria for HTS of the reclamation water management complex / N.P. Karpenko, I.F. Yurchenko // Nature Engineering. 2015. No. 1.pp. 12-15.

Criteria for authorship.

Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A. performed theoretical studies, on the basis of which they made a generalization and wrote the manuscript, They have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was received in the editorial office 13.01.2023

Approved after review 17.02.2023

Accepted for publication 21.02.2023