

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-53-62>

УДК 627.8 (470.40)



КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ МАЛЫЙ ЧЕМБАР В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.П. Акпасов[✉], М.И. Морозов, Д.А. Греков, М.Е. Кадомцева, Р.Б. Туктаров

Федеральное государственное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»; 413123, Саратовская область, г. Энгельс-23, Рабочий поселок Приволжский, ул. Гагарина, 1, Россия

Аннотация. Цель исследований – комплексная оценка фактического технического состояния узла гидротехнических сооружений водохранилища на реке Малый Чембар в Пензенской области и его основного оборудования, определение остаточного ресурса элементов, а также установление дефицитов безопасности для оценки возможности продолжения эксплуатации ГТС сверх назначенного срока эксплуатации. Проведено детальное исследование состояния гидроузла (включая земляную плотину, водосбросные сооружения и донные водовыпуски) с целью определения остаточного ресурса их элементов и выявления дефицитов безопасности. В ходе визуального и инструментального обследования были выявлены значительные дефекты – такие, как просадки гребня плотины, коррозия бетона, неработоспособность гидромеханического оборудования и заиление дна водосбросного сооружения. Результаты исследований показали, что гидроузел находится в предельном (аварийном) состоянии, что требует немедленного проведения капитального ремонта для предотвращения возможных аварийных ситуаций. Подчеркивается необходимость усиления тела плотины, восстановления работоспособности водовыпусков и разработки аварийного плана действий. Исследование также включает в себя расчеты пропускной способности водосбросных сооружений и фильтрационных характеристик грунтовой плотины, что позволило оценить текущие риски и предложить меры по улучшению состояния гидротехнического объекта.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, техническое состояние, мониторинг, факторы, дефекты

Формат цитирования: Акпасов А.П., Морозов М.И., Греков Д.А., Кадомцева М.Е., Туктаров Р.Б. Комплексная оценка технического состояния гидроузла на реке Малый Чембар в Пензенской области // Природообустройство. 2025. № 3. С. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-53-62>

Scientific article

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE HYDRAULIC STRUCTURE ON THE MALY CHEMBAR RIVER IN THE PENZA REGION

A.P. Akpasov[✉], M.I. Morozov, D.A. Grekov, M.E. Kadomtseva, R.B. Tuktarov

Federal State Scientific Institution "Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation"; 413123, Engels-23, Saratov Region, Rabochy Posyolok Privolzhsky, Gagarin Street, 1, Russia

Abstract. The article is devoted to a comprehensive assessment of the technical condition of a hydraulic structure on the Maly Chembar River in the Penza Region. A detailed study of the hydraulic unit's condition was conducted, including the earthen dam, spillway structures, and bottom outlets, to determine the residual resource of their components and identify safety deficiencies. During visual and instrumental inspections, significant defects were identified, such as subsidence of the dam crest, concrete corrosion, malfunction of hydraulic equipment, and siltation of the spillway bottom. The results of the study showed that the hydraulic structure is in a critical (emergency) condition, requiring immediate major repairs to prevent potential accidents. The need to strengthen the dam body, restore the functionality of the outlets, and develop an emergency action plan is emphasized. The study also includes calculations of the spillway

capacity and filtration characteristics of the earthen dam, which allow for an assessment of current risks and propose measures to improve the condition of the hydraulic structure.

Keywords: monitoring, technical condition, hydraulic structure, factors, defects

Format of citation: Akpasov A.P., Morozov M.I., Grekov D.A., Kadomtseva M.E., Tuktarov R.B. Comprehensive assessment of the technical condition of the hydraulic structure on the Maly Chembar River in the Penza Region // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 3. P. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-53-62>

Введение. Обеспечение безопасности гидротехнических объектов и поддержание их функциональной надежности – ключевая задача на всех этапах жизненного цикла сооружений. Проектировщики и эксплуатационные службы несут ответственность за сохранение работоспособности конструкций, предотвращение аварийных ситуаций и минимизацию рисков деградации объектов. Изменения природно-техногенных условий региона, на территории которого расположено гидротехническое сооружение (ГТС), могут стать триггерами, ведущими к ускоренному ухудшению его технического состояния [1, 2]. Особую опасность представляет износ отдельных элементов: критическое ухудшение их состояния способно привести не только к экстренному выводу сооружений из эксплуатации, но и к масштабным техногенным катастрофам [3]. Вместе с тем последствия глобальных климатических изменений вносят существенные коррективы в условия эксплуатации объектов [4, 5]. В этой связи особое внимание должно уделяться мониторингу состояния гидротехнической системы. Крайне важно регулярно осуществлять комплексную оценку безопасности технического состояния [6], остаточного ресурса работоспособности гидротехнических сооружений, так как их повреждение может стать триггером цепных аварийных процессов.

Объектом исследований является узел гидротехнических сооружений водохранилища, территориально расположенный на реке Малый Чембар на территории Белинского района Пензенской области. Водохранилище представляет собой типичный пример объекта III класса

ответственности, фактический срок эксплуатации которого – 44 года при нормативном сроке 50 лет. Основное назначение – сельское хозяйство, а именно регулирование стока реки и орошение земель.

Комплекс включает в себя такие сооружения, как земляная плотина (высота – 12 м, длина – 529 м), открытый водосброс (пропускная способность $87,5 \text{ м}^3/\text{с}$), два донных водовыпуска (суммарный расход – $2,0 \text{ м}^3/\text{с}$). Водосбросное сооружение, выполненное по типовому проекту 820, предназначено для пропуска паводковых вод. Оно состоит из двух параллельных водосбросов с расходом $42 \text{ м}^3/\text{с}$, каждый построен из сборно-монолитного железобетона. Конструкция включает в себя входной оголовок докового типа с 6 водопропускными отверстиями шириной 3 м, оснащенными скользящими затворами на ручных винтовых приводах. От оголовка вода поступает на быстроток – лоток прямоугольного сечения, разделенный по длине температурно-осадочными швами. В теле плотины размещены два донных водовыпуска, обеспечивающих водозабор для орошения и возможность полного опорожнения водохранилища при одновременной работе. Оборудованные задвижками, они управляются из колодцев, расположенных в нижнем бьефе (рис. 1).

Вдоль русла реки Малый Чембар в 4-5 км ниже плотины располагается поселок Пушанино, а в 7-8 км от гидроузла – Чернышево. Непосредственно к водохранилищу примыкает село Гусятник. Риски затопления населенных пунктов, расположенных вблизи реки, существуют, однако их



а) водосбросное сооружение. Вид с верхнего бьефа
a) Spillway structure. View from the upper pool



б) водосбросное сооружение. Вид с нижнего бьефа
b) Spillway structure. View from the lower pool

Рис. 1. Общий вид плотины, ноябрь 2024 г.

Fig. 1. General view of the dam, November 2024

вероятность и масштабы зависят от ряда факторов. Регион относится к зоне умеренно-континентального климата (среднегодовая температура составляет $+5,1^{\circ}\text{C}$) с выраженной сезонностью: холодной зимой (III снеговой район) и умеренно жарким летом. Неблагоприятные физико-геологические процессы и явления на территории не наблюдаются за исключением возможности подтопления поймы доли в паводковый период и период выпадения обильных атмосферных осадков. Количество атмосферных осадков в течение года и в многолетнем ходе колеблется в больших пределах. Основной риск связан с весенним половодьем и неравномерным распределением осадков. Водохранилище «Гусятник» регулирует сток, но при аномальных паводках (превышающих проектные параметры) возможны переливы через гребень плотины или недостаточная пропускная способность водосброса. Износ металлических элементов (донные водовыпуски, затворы) и дренажной системы повышает вероятность аварийных сценариев – например, размыва тела плотины.

Цель исследований: комплексная оценка фактического технического состояния узла гидротехнических сооружений водохранилища на реке Малый Чембар в Пензенской области и его основного оборудования, определение остаточного ресурса элементов, а также установление дефицитов безопасности для оценки возможности продолжения эксплуатации ГТС сверх назначенного срока эксплуатации.

Материалы и методы исследований. Исследования базируются на данных Декларации безопасности ГТС, архивных материалов гидрогеологических изысканий и действующих нормативных документов в Российской Федерации [7].

Методология исследований включает в себя: натурные показатели и полное описание общих сведений о гидротехническом сооружении; характеристику природных условий, на территории которой располагается объект, в том числе топографические и гидрогеологические сведения; оценку инженерно-геологических параметров; расчет пропускной способности узла гидротехнических сооружений; фильтрационный расчет грунтовой плотины.

Освидетельствование элементов конструкций сооружений осуществлялось путем анализа, сопоставления предоставленной документации с данными визуального осмотра и инструментальных измерений с использованием программных комплексов («EngGeo» v.4.4.) и современных технических средств (GNSS приемник EFT

M3 plus GNSS, контроллер EFT H5, лазерный сканер TOPODRONE и однолучевой эхолот). Полученные данные были обработаны с использованием математико-статистических методов.

Оценка фактического состояния гидротехнического сооружения осуществлялась с использованием методов, основанных на применении интегральных, комплексных показателей, с определением пределов пороговых и допустимых изменений [8-10].

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных визуальных обследований гидротехнического сооружения были выявлены дефекты и повреждения, а также установлены причины их возникновения. Наиболее выраженные из них приведены на рисунке 2.

В результате недостаточного уплотнения локальных объемов или прослоек грунта, уложенного в плотину, наблюдается локальное образование колеиности гребня плотины (степень повреждения – 20%), а также на железобетонных плитах проезжей части гребня плотины отмечены просадки, сколы и разрушение бетона на площади 250 м^2 . Кроме того, зафиксирован провал на берме низового откоса с выходом фильтрационного потока в нижний бьеф по оси нерабочего донного водовыпуска № 2 (6 м^2).

Повсеместное зарастание древесно-кустарниковой растительностью охватило 80% верхового откоса и 90% проводящего канала, что указывает на отсутствие регулярной расчистки.

Волновое воздействие и многолетние колебания уровня водохранилища привели к размыву креплений верхового откоса на площади 84 м^2 . Дополнительный ущерб нанесли природные факторы: температурные перепады, гидродинамические нагрузки и химическое выщелачивание бетона. Эти процессы вызвали деградацию подводящего канала (80% площади), верхних участков подпорных стенок (25%), а также коррозию бетона на стыках пролетов входного оголовка. На правой стенке быстротока было обнаружено расслоение бетона с оголенной арматурой, аналогичные дефекты выявлены между третьим и четвертым пролетами оголовка. Гидрогасители консоли быстротока изношены на 80%, а их основания подмыты, что угрожает устойчивости конструкции.

Отсутствие системного контроля усугубило ситуацию: второй пролет входного оголовка полностью зарос, а ледозащитное устройство деформировалось, получив крен в сторону плотины. Состояние затворов свидетельствует о неисправности механизмов: щиты № 1 и № 2 закрыты, № 3-№ 6 частично открыты с нарушениями



а) подъемный механизм гидромеханического оборудования отсутствует и находится в неработоспособном состоянии

a) The lifting mechanism of the hydro mechanical equipment is not available and in a non-working condition



б) сдвиг железобетонной плиты переезда водосбросного сооружения со стороны нижнего бьефа, износ гидрогасителей консоли быстротока и подмыв основания консоли с оголением железобетонных свай

b) Shifting of the reinforced concrete slab of the crossing of the spillway structure from the downstream side and wear of the hydraulic dampers of the high-speed console and washing out of the base of the console with the exposure of reinforced concrete piles



в) зарастание подводящего канала водосбросного сооружения и заиленность дна быстротока

c) Overgrowth of the supply channel of the spillway structure and silting of the bottom of the rapid current



Рис. 2. Фотофиксация наиболее выраженных дефектов

Fig. 2. Photographic fixation of the most pronounced defects

норм (СП 421.1325800.2018) [11], а подъемное оборудование отсутствует или является неработоспособным. Дно быстротока заилено на 15-20 см, а затопление смотрового колодца донного водовыпуска № 1 подтверждает износ запорной арматуры. Дополнительные риски создают локальные провалы включая участок площадью 1 м² у дренажного колодца быстротока.

Значительное воздействие транспортных средств, переезжающих водосбросное сооружение, привело к сдвигу железобетонной плиты переезда водосбросного сооружения со стороны нижнего бьефа на 0,1 м.

В соответствии с конструктивными особенностями узла гидротехнических сооружений водохранилища и условиями эксплуатации для оценки технического состояния и определения уровня безопасности выбираются диагностические показатели, представленные в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что значения нескольких диагностических показателей состояния сооружений (К1) превышают критерильные значения (К2). Для получения комплексной оценки технического состояния гидроузла был произведен расчет пропускной способности его объектов.

Таблица 1. Сравнение значений количественных показателей безопасности по результату многофакторного обследования

Table 1. Comparison of the values of quantitative safety indicators based on the results of a multifactor survey

№ п/п	Наименование показателя Indicator name	Критериальные значения диагностических по- казателей Criterial values of diagnostic indicators		Фактическое значение Actual value	Оценка Assessment
		Критериальное значение K1 Criterion value K1	Критериальное значение K2 Criterion value K2		
Земляная плотина / Earthen dam					
1	Ширина по гребню плотины, м Ridge width of the dam, m	6,0	5,5	6,0	Соответствует K1 Complies with K1
2	Отметка гребня, м Ridge elevation, m	177,05	176,55	177,0÷177,1	Необходимо провести подсыпку гребня с последующим уплотнением грунта $K1 \leq K_{\text{факт}} < K2$ It is necessary to fill the ridge with subsequent compaction of the soil $K1 \leq K_{\text{факт}} < K2$
4	Максимальная строительная высота, м Maximum construction height, m	12,0	11,6	12,0	Соответствует K1 Complies with K1
5	Длина напорного фронта плотины, м Length of the dam pressure front, m	529,0	520,0	529,0	Соответствует K1 Complies with K1
4	Заложение верхового откоса плотины Laying the upstream slope of the dam	1: 10	1: 8,5	1:10	Соответствует K1 Complies with K1
5	Заложение низового откоса плотины Laying tdownstream slope of the dam	1: 2	1: 1,5	1: 2	Соответствует K1 Complies with K1
Водосброс / Spillway					
1	Отметка нормального подпорного уровня, м Normal water level mark, m	174,55	174,0	174,3	Необходимо провести ремонт крепления входного оголовка $K1 \leq K_{\text{факт}} < K2$ It is necessary to repair the inlet head fastening $K1 \leq K_{\text{факт}} < K2$
2	Пропускная способность, м³/с Capacity, m³ / s	87,5	87,5	37,73	Гидромеханическое оборудование находится в неработоспособном состоянии. Превышает K2 Hydromechanical equipment is inoperative. Exceeds K2
Донные водоспуски № 1 и № 2 / Bottom drains No 1 and No 2					
1	Пропускная способность, м³/с Capacity, m³ / s	2,0	2,0	1,3	Донный водовыпуск № 2 находится в неработоспособ- ном состоянии. Превышает K2 Bottom water outlet No. 2 is inoperative. Exceeds K2

А). Расчет пропускной способности трубчатого водовыпуска № 1

Трубчатый водовыпуск работает как напорная труба, поэтому его пропускная способность определяется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где μ – коэффициент расхода; H – величина напора, м; ω – площадь поперечного сечения трубы, м²; g – ускорение силы тяжести, 9,81 м/с².

Коэффициент расхода определяем по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\text{потерь}}}},$$

где $\xi_{\text{потерь}}$ – величина потерь.

Потери напора по длине трубы определяются по формуле:

$$\xi_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot L}{d},$$

где $\lambda = 0,02$ для старых металлических труб; L – длина трубы донного водовыпуска (158 м)

$$\xi_{\text{тр}} = \frac{0,02 \cdot 158}{0,6} = 5,3.$$

Коэффициенты потерь на вход $\xi_{\text{вх}} = 0,5$.

Коэффициенты потерь на задвижки $\xi_{\text{зад}} = 0,2$.

Сумма потерь $\Sigma \xi = 5,3 + 0,5 + 0,2 = 6,0$.

Коэффициент расхода –

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + 6}} = 0,38.$$

Площадь поперечного сечения трубы определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,282 \text{ м}^2.$$

Результаты расчетов пропускной способности трубчатого водовыпуска № 1 сведены в таблицу 2 и визуализированы на рисунке 3.

Пропускная способность донного водовыпуска № 1 при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет: $Q_{\text{НПУ}} = 1,38 \text{ м}^3/\text{с}$.

Б). При напорах воды перед сооружением, превышающих отметку верха отверстия под щитовые затворы ($H > 2,2$ м), фактическая пропускная способность определялась, как при истечении воды из-под щита:

$$Q_{\text{факт}} = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g(H - \xi_a)},$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = \xi \cdot \phi$; ϕ – коэффициент скорости при вертикальном расположении плоского щита ($\phi = 0,97$); ω – площадь отверстия, $\omega = e \cdot a$, м²; a – фактическая средняя высота отверстия водосбросного сооружения ($a = 1,03$ м); ξ – коэффициент вертикального сжатия струи ($\xi = 0,7$).

Результаты расчета сведены в таблицу 3.

По данным таблицы 3 построен график пропускной способности водосбросного сооружения (рис. 4).

Расчетные паводковые расходы $Q_{0,5\%} = 91,88 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{3,0\%} = 87,5 \text{ м}^3/\text{с}$ проходят над порогом водослива при напорах $H_{0,5\%} = 2,7$ м и $H_{3,0\%} = 2,2$ м, что соответствует отметкам = 175,05 м, НПУ = 174,55 м.

В соответствии с действующей Декларацией безопасности ГТС 23-23(01)0032-13-СХЗ [12] суммарный сбросной расход через все водопропускные сооружения узла при нормальном подпорном уровне составляет 89,5 м³/с. С учетом того, что донный водовыпуск № 2 находится в неработоспособном состоянии, фактический суммарный сбросной расход через все водопропускные сооружения узла при НПУ будет составлять 39,11 м³/с, что меньше проектного на 50,4 м³/с, или 56%.

Таблица 2. Расчеты пропускной способности трубчатого водовыпуска

Table 2. Flow capacity calculations for the tubular outlet

H , м	d , м	ω , м ²	μ	η	Q м ³ /с Q м ³ /с	Отметка Level Y.B., m Level level
1	0,6	0,283	0,38	0,726	0,47634	166,75
2	0,6	0,283	0,38	0,726	0,67365	167,75
3	0,6	0,283	0,38	0,726	0,82505	168,75
4	0,6	0,283	0,38	0,726	0,95268	169,75
5	0,6	0,283	0,38	0,726	1,06513	170,75
6	0,6	0,283	0,38	0,726	1,16679	171,75
7	0,6	0,283	0,38	0,726	1,26028	172,75
8	0,6	0,283	0,38	0,726	1,34730	173,75
9	0,6	0,283	0,38	0,726	1,42902	174,75
10	0,6	0,283	0,38	0,726	1,50632	175,75

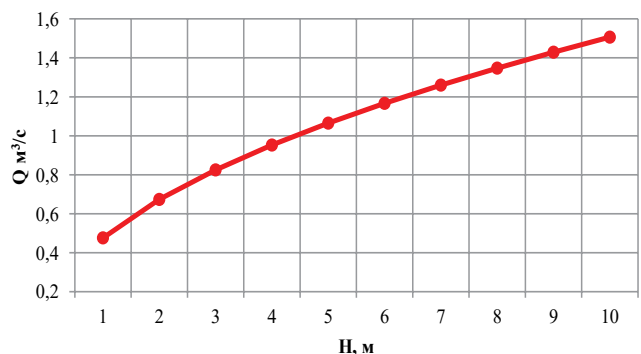


Рис. 3. График пропускной способности донного водовыпуска № 1

Fig. 3. Flow capacity graph of bottom outlet No. 1

Таблица 3. Расчеты пропускной способности донного водовыпуска № 1

Table 3. Flow capacity calculations for bottom outlet No. 1

$H, \text{ м}$	$a, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	a/H	ξ	μ	$\sqrt{2g}$	$\sqrt{H - \xi a}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1,6	1,03	10,3	6,437500	0,7	0,68	4,43	0,93755	29,09004
1,8	1,03	10,3	5,722222	0,7	0,68	4,43	1,038749	32,23002
2,0	1,03	10,3	5,150000	0,7	0,68	4,43	1,130929	35,09014
2,2	1,03	10,3	4,681818	0,7	0,68	4,43	1,216141	37,7341
2,4	1,03	10,3	4,291667	0,7	0,68	4,43	1,295762	40,20455
2,6	1,03	10,3	3,961538	0,7	0,68	4,43	1,370766	42,53175
2,8	1,03	10,3	3,678571	0,7	0,68	4,43	1,441874	44,73806
3,0	1,03	10,3	3,433333	0,7	0,68	4,43	1,509636	46,84055
3,2	1,03	10,3	3,218750	0,7	0,68	4,43	1,574484	48,85265
3,4	1,03	10,3	3,029412	0,7	0,68	4,43	1,636765	50,78509

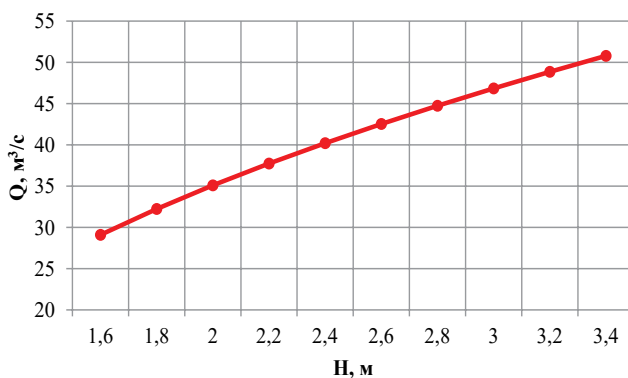


Рис. 4. График фактической пропускной способности водосбросного сооружения

Fig. 4. Actual flow capacity graph of the spillway structure

Таким образом, по результатам расчетов пропускной способности водосбросного сооружения и донного водовыпуска № 1 можно сделать вывод о том, что в случае непроведения срочных работ по капитальному ремонту узла гидротехнических сооружений присутствует высокая вероятность возникновения аварийной ситуации, при которой могут пострадать жители сел и деревень Белинского района Пензенской области.

Комплексная оценка фактического состояния ГТС включала в себя также осуществление фильтрационных расчетов грунтовой плотины вдоль оси донного водовыпуска № 1 для определения удельного и общего расхода фильтрации, положения кривой депрессии и оценки фильтрационной прочности грунтов основания и тела плотины.

При фильтрационных расчетах были приняты следующие допущения: фильтрация рассматривается в одной плоскости, грунт тела плотины считается однородно-анизотропным, водоупор считается теоретически водонепроницаемым, положение кривой депрессии не зависит от качества грунта, а определяется только геометрическими размерами тела плотины [13, 14].

Запроектированный поперечный профиль грунтовой плотины приведен к расчетной схеме (рис. 5). В верхнем бьефе за расчетный принимаем $\nabla \text{НПУ} = 157,0$ м, а в нижнем бьефе бытовой уровень воды на отметке $\nabla \text{НБ} = 149,80$ м, при котором будет наблюдаться установившийся расход фильтрационного потока в теле плотины.

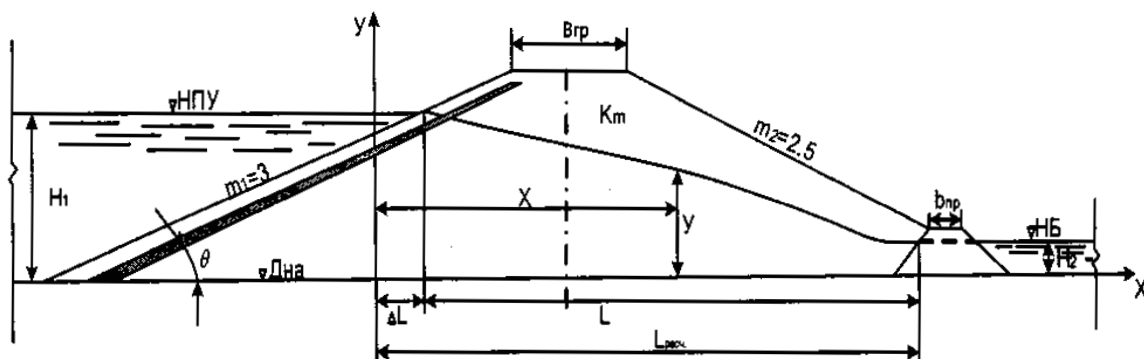


Рис. 5. Расчетная схема к фильтрационному расчету

Fig. 5. Calculation scheme for filtration calculation

Расчет выполнен в такой последовательности. Сначала было найдено положение раздельного сечения по формуле Михайлова:

$$\Delta L = \frac{m_1}{2 \cdot m_1 + 1} \cdot H_1 = \frac{10}{2 \cdot 10 + 1} \cdot 9 = 4,3 \text{ м.}$$

С использованием расчетной схемы к фильтрационному расчету определена длина проекции кривой депрессии на горизонтальную ось:

$$\begin{aligned} L &= (\nabla \Pi - \nabla \text{НПУ}) \cdot m_1 + B_{\text{тр}} + \\ &+ (\nabla \Pi - \nabla \text{Др.}) \cdot m_2 - (\nabla \text{Др.} - \nabla \text{НБ}) \cdot m_3 \\ L &= (177,00 - 174,55,00) \cdot 10 + 6,0 + \\ &+ (177,05 - 166,35) \cdot 2 - (166,35 - 163,7,80) \cdot 2 = 47,1 \text{ м} \\ L_{\text{расч.}} &= \Delta L + L = 4,3 + 47,1 = 51,4 \text{ м} \end{aligned}$$

Величина удельного фильтрационного расхода q_m вычислена с использованием следующего уравнения:

$$\frac{q_m}{k_m} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_{\text{расч}}} = \frac{9^2 - 1^2}{2 \cdot 51,4} = 0,78,$$

тогда $q_m = 0,78 \cdot k_m = 0,78 \cdot 0,82 = 0,64 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Положение кривой депрессии определяется с использованием уравнения:

$$Y^2 = H_1^2 - 2 \frac{q_m}{k_m} \cdot x.$$

Для построения кривой депрессии находим координаты точек, расчет сводим в таблицу 4.

По полученным координатам построена кривая дисперсии (рис. 6).

Проверка фильтрационной прочности грунтов тела плотины и основания осуществлена по значению выходного градиента:

$$I_{\text{вых}} \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{Y_{n-1} Y_n}{x_n - x_{n-1}} = \frac{2,47 - 0,50}{51,4 - 48,0} = 0,58 \leq I_k = 0,80.$$

На основании данного расчета можно сделать вывод о том, что фильтрационная прочность грунтов тела плотины и основания обеспечена, так как выходной градиент меньше критического показателя для суглинка (0,8), из которого выполнено исследуемое сооружение.

Таблица 4. Расчет координат дисперсионной кривой

Table 4. Calculation of dispersion curve coordinates

X, м	51,4	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21
Y, м	0,9	2,47	3,29	3,93	4,49	4,98	5,43	5,85	6,23	6,6	6,9

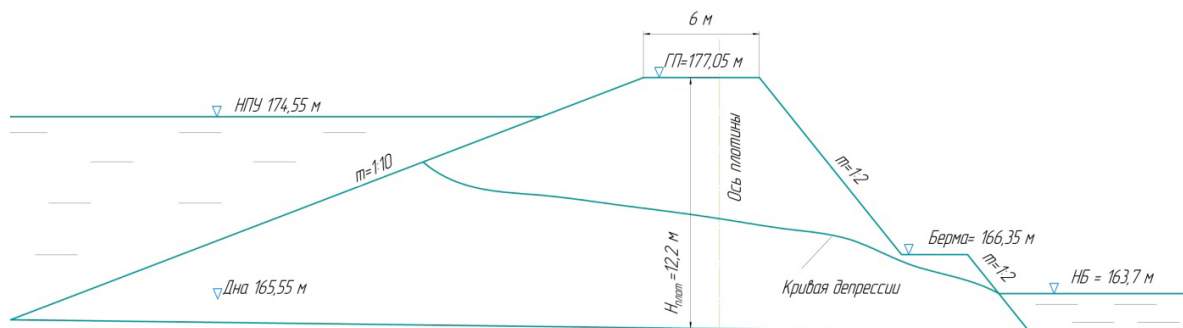


Рис. 6. Поперечный профиль грунтовой плотины вдоль оси донного водовыпуска № 1

Fig. 6. Cross-sectional profile of the earth-fill dam along the axis of bottom outlet No. 1

Выводы

По результатам визуального и инструментального обследования узел гидротехнических сооружений на реке Малый Чембар был признан находящимся в предельном (аварийном) техническом состоянии. Данное заключение обусловлено рядом критических факторов.

Во-первых, в ходе проверки выявлены существенные дефекты конструктивных элементов включая повреждения, которые напрямую влияют на безопасность и функциональность сооружений. Во-вторых, диагностические показатели водосбросного сооружения превысили допустимые значения критериев безопасности второго

уровня (К2). Особую тревогу вызывает фильтрация воды через тело плотины в зоне донного водовыпуска, что создает риск постепенного разрушения конструкции. По причине невозможности проведения предупредительной сработки водохранилища возникает угроза переполнения в период паводков. Дополнительные проблемы связаны с подтоплением смотрового колодца донного водовыпуска № 1 и полной неработоспособностью водовыпуска № 2. Это делает невозможным осуществление санитарных попусков – минимальных сбросов воды, необходимых для предотвращения заиливания и поддержания экологического баланса водоема.

С учетом вышеизложенного дальнейшая эксплуатация ГТС без проведения капитального ремонта или реконструкции является недопустимой. Для устранения аварийного состояния гидроузла требуется комплексный подход, объединяющий срочные ремонтные работы, долгосрочное планирование и системный мониторинг. Необходимо усилить тело плотины, ликвидировать фильтрационные каналы, восстановить работоспособность донных водовыпусков и провести

ремонт верхового откоса. Ключевыми должны стать ремонтно-восстановительные мероприятия, в рамках которых должен быть осуществлен демонтаж всех 6 щитов затворов для обеспечения беспрепятственного пропуска воды в период экстремальных паводков. Без реализации перечисленных мероприятий существует риск негативных последствий, угрожающих как экосистеме водохранилища, так и безопасности населенных пунктов в прилегающей зоне.

Список использованных источников

1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 70566-202 «Системы и сооружения мелиоративные. Правила обследования и мониторинга технического состояния»: утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 декабря 2022 г. № 1522-ст.
2. Середовских Б.А. Состояние водозащитных сооружений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры для защиты населения и территорий от гидрологических опасностей / Б.А. Середовских, В.В. Дерябина, Д.А. Ярош // Природообустройство. 2024. № 4. С. 83-91. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-83-91>
3. Кузнецов Д.А. Диагностика аварийного состояния земляной плотины Камского водохранилища / Д.А. Кузнецов, Л.П. Иванова // Водное хозяйство России. 2020. № 3. С. 55-67.
4. Смирнов А.В. Оценка технического состояния водохранилищных гидроузлов в условиях климатических изменений (на примере Волжско-Камского каскада) / А.В. Смирнов, К.И. Петров // Гидротехническое строительство. 2023. № 5. С. 34-42.
5. Кадомцева М.Е. Методология оценки влияния климатических изменений на устойчивое развитие агропродовольственного комплекса. Саратов: Саратовский источник, 2024. 294 с.
6. Свод правил СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003». 2020. 35 с.
7. Туктаров Р.Б. Краткий обзор современной нормативно-методической базы проведения инженерно-гидрографических работ на водных объектах для целей гидромелиорации земель и пути ее совершенствования / Р.Б. Туктаров, А.П. Акпасов // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8, № 6. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_6_288
8. Талалаева В.Ф. Результаты натурных обследований технического состояния гидротехнических сооружений Черноземельской обводнительно-оросительной системы / В.Ф. Талалаева, О.А. Баев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 1-15.
9. Финагенов О.М. Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений / О.М. Финагенов, В.Б. Штильман, С.Г. Шульман, А.М. Юделевич // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7-20. EDN: IANMJK
10. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59873-2021. Гидроэлектростанции. Методика определения критериев безопасности для декларируемых сооружений: введ. 1 января 2022 г. М.: Стандартинформ, 2021. 24 с.

References

1. National standard of the Russian Federation GOST R70566-2022 "Reclamation systems and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition" (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 16, 2022 No. 1522-st)
2. Seredovskikh B.A., Deryabina V.V., Yarosh D.A. (2024). Condition of water protection structures in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra for protecting the population and territories from hydrological hazards. Prirodoobustrojstvo No. 4, P. 83-91. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-83-91>
3. Kuznetsov D.A., Ivanova L.P. (2020). Diagnostics of the emergency condition of the earth-fill dam of the Kama Reservoir. Vodnoe Khozyaistvo Rossii No. 3, P. 55-67.
4. Smirnov A.V., Petrov K.I. (2023). Assessment of the technical condition of reservoir hydroelectric complexes under climate change (case study of the Volga-Kama Cascade). Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo No. 5, pp. 34-42.
5. Kadomtseva M.E. (2024). Methodology for assessing the impact of climate change on the sustainable development of the agro-food complex. Saratov: Saratovskii Istoch-nik, 294 p.
6. The Code of rules of JV 58.13330.2019. Hydraulic structures. The main provisions of SNiP 33-01-2003, 2020, 35 p.
7. Tuktarov R.B., Akpasov A.P. A brief overview of the modern regulatory and methodological framework for engineering and hydrographic work on water bodies for the purposes of land reclamation and ways to improve it. // Moscow Economic Journal. 2023. Vol. 8, No. 6. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_6_288.
8. Talalaeva V.F., Baev O.A. (2024). Results of field surveys of the technical condition of hydraulic structures of the Chernozemelskaya irrigation and water supply system. Puty Povysheniya Effektivnosti Oroshaemogo Zemledeliya, Vol. 93, No. 2, P. 1-15.
9. Finagenov O.M., Shtilman S.G., Shulman A.M., Yudelevich (2021). Development of methods for assessing the reliability of hydraulic structures. Izvestiya Vserossiiskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva, Vol. 300, P. 7-20. EDN: IANMJK
10. National standard of the Russian Federation GOST R59873-2021. Hydroelectric power plants. Methodology for determining safety criteria for declared structures. – Introduction. 2022-01-01. Moscow: Standartinform, 2021. 24 p.
11. Code of Rules SP 421.1325800.2018 "Reclamation systems and structures. Rules of operation" М.: 2019. 83 p.
12. GTS Safety Declaration "GTS reservoir Node on the Maly Chambar River of the Belinsky district of the Penza Region" No. 23-23(01)0032-13-SHZ. Saratov. 2023.

11. Свод правил СП 421.1325800.2018 «Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации». М., 2019. 83 с.

12. Декларация безопасности ГТС «Узел ГТС водохранилища на реке Малый Чамбар Белинского района Пензенской области» № 23-23(01)0032-13-СХЗ. Саратов, 2023.

13. Черных О.Н. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотинной: Методические указания. / О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко М.: РГАУ-МСХА, 2022. 172 с.

14. Свод правил СП 421.1325800.2018 «Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации»: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2018 г. № 854/пр.

13. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. (2022). Ensuring the safety of hydraulic structures of a reclamation hydroelectric complex with an earth-fill dam: Methodological guidelines. Moscow: RGAU-MSHA, 172 p.

14. Code of Rules SP 421.1325800.2018 "Reclamation systems and structures. Operating Rules" (approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 24, 2018 No. 854/pr)

Об авторах

Антон Павлович Акпасов, канд. техн. наук; ORCID: 0000-0002-3252-7849; Author ID: 958277; 1a9@mail.ru

Максим Игоревич Морозов, ORCID: 0009-0005-1347-4314; 793141; jamster777@mail.ru

Дмитрий Алексеевич Греков, ORCID: 0000-0001-5869-7419; Author ID: 973060; grekov.dmitry@yandex.ru

Марина Евгеньевна Кадомцева, канд. экон. наук; WoS Researcher ID: AAO-4585-2020; Scopus Author ID: 57216494307; ORCID: 0000-0002-9547-5564; SPIN-код: 7331-6249; Author ID: 574194; kozyreva_marina@mail.ru

Ренат Бариевич Туктаров, канд. с.-х. наук; ORCID: 0000-0001-6063-3801; Author ID: 512045; tuktarov.rb@gmail.com

About the authors

Anton P. Akasov, CSc (Eng); ORCID: 0000-0002-3252-7849; Author ID: 958277; 1a9@mail.ru

Maxim I. Morozov, ORCID: 0009-0005-1347-4314; 793141; jamster777@mail.ru

Dmitry A. Grekov, ORCID: 0000-0001-5869-7419; Author ID: 973060; grekov.dmitry@yandex.ru

Marina E. Kadomtseva, CSc (Econ); WoS Researcher ID: AAO-4585-2020; Scopus Author ID: 57216494307; ORCID: 0000-0002-9547-5564; SPIN-code: 7331-6249; Author ID: 574194; kozyreva_marina@mail.ru

Renat B. Tuktarov, CSc (Agro); ORCID: 0000-0001-6063-3801; Author ID: 512045; tuktarov.rb@gmail.com

Критерии авторства / Authorship criteria

Акпасов А.П., Морозов М.И., Греков Д.А., Кадомцева М.Е., Туктаров Р.Б. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.03.2025

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 15.04.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 15.04.2025

Akpasov A.P., Morozov M.I., Grekov D.A., Kadomtseva M.E., Tuktarov R.B. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.