

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 532.533

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280

Комплексный мониторинг технического состояния концевого водоспуска Невинномысского канала, базирующийся на оценке параметров надежности

Михаил Александрович Бандурин¹, Виктор Алексеевич Волосухин²,
Игорь Александрович Приходько³, Артем Анатольевич Руденко⁴

^{1, 2, 3, 4}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация

¹cherura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

²director@ibgts.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>

³prihodkoigor2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>

⁴away704@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8724-6980>

Аннотация. Цель: проведение комплексного мониторинга для оценки технического состояния железобетонных элементов концевого водоспуска Невинномысского канала, базирующейся на определении параметров надежности с помощью неразрушающего контроля. **Материалы и методы.** Инструментальное обследование железобетонных элементов концевого водоспуска Невинномысского канала, включая подводящий и отводящий каналы, выполнено способом оценки технического состояния с применением приборов неразрушающего контроля с целью оценки технического состояния и остаточного ресурса гидротехнических сооружений (ГТС), а именно: деформации и перемещение конструкций относительно проектного положения, трещинообразование, разрушение поверхностных зон, коррозионное и кавитационное разрушения и т. п., соответствие проекту фактических условий работы сооружений, состояние оползневых участков и участков переработки берегов, состояние гидромеханического оборудования, коррозия металлических частей оборудования, выявление осадок, перемещений, деформаций, напряжений, кренов элементов и др. **Результаты.** Выполнено обследование технического состояния откосов и железобетонных элементов. Были обследованы примыкания земляных сооружений к бетонным, состояние температурно-осадочных швов бетонных и железобетонных сооружений, способных повлиять на устойчивость сооружений. **Выводы.** Современное состояние концевого водоспуска Невинномысского канала свидетельствует об имеющей место переработке грунтовых откосов за период эксплуатации ГТС. Установлено, что железобетонные конструкции водоспуска находятся в целом в удовлетворительном состоянии и отвечают своему функциональному назначению. Конструкции первого и второго отсеков уже подверглись масштабным разрушениям и потеряли часть несущей способности и даже часть материала, первый и второй отсеки нуждаются в срочном ремонте. Необходимо восстановить гидроизоляцию днища и бортов лотка в местах стыков отсеков и трещин в днище путем инъекций в швы и трещины водостойкого герметика.

Ключевые слова: конечной водоспуск, магистральный канал, надежность, остаточный ресурс, утечки оросительной воды, неразрушающие методы контроля

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.

Для цитирования: Комплексный мониторинг технического состояния концевого водоспуска Невинномысского канала, базирующийся на оценке параметров надеж-

ности / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, И. А. Приходько, А. А. Руденко // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 264–280. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Comprehensive monitoring of the technical condition of the end outlet of the Nevinnomyssky Canal, based on the assessment of reliability parameters

**Mikhail A. Bandurin¹, Viktor A. Volosukhin², Igor A. Prikhodko³,
Artem A. Rudenko⁴**

^{1,2,3,4}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

²director@ibgts.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>

³prihodkoigor2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>

⁴away704@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8724-6980>

Abstract. Purpose: Carrying out a comprehensive monitoring to assess the technical condition of the reinforced concrete elements of the Nevinnomyssky Canal end outlet, based on the assessment of reliability parameters using non-destructive control methods. **Materials and methods.** An instrumental examination of the reinforced concrete elements of the end outlet of the Nevinnomyssky Canal, including the inlet and outlet channels, was carried out by the method of assessing the technical condition using non-destructive method devices in order to assess the technical condition and residual resource of hydraulic structures, namely: deformation and structures displacement in regards to design position, cracking, destruction of surface zones, corrosion and cavitation damage, etc., compliance with the project of the actual conditions of structure operation, the state of landslide areas and areas of coastal reformation, the state of hydromechanical equipment, corrosion of metal parts of equipment, the detection of precipitation, displacement, deformation, stress, roll of elements. **Results.** A survey of the technical condition of slopes and reinforced concrete elements was carried out. The adjunctions of earthworks to concrete structures, the state of temperature-sedimentary seams of concrete and reinforced concrete structures that could affect the stability of structures were examined. **Conclusions.** The current state of the end outlet of the Nevinnomyssky Canal indicates the soil slopes reformation during the period of the hydraulic structure operation. It was determined that the reinforced concrete structures of the outlet are, in general, in a satisfactory condition and meet their functional purpose. The structures of the first and second compartments have already undergone large-scale destruction and have lost part of their bearing capacity and even part of the material, since the first and second compartments are in urgent need of repair. It is necessary to restore the waterproofing of the bottom and sides of the tray at the joints of the compartments and cracks in the bottom by injecting a waterproof sealant into the seams and cracks.

Key words: end outlet, main canal, reliability, residual life, irrigation water leakage, non-destructive control methods

Funding: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation № 22-17-20001.

For citation: Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Prikhodko I. A., Rudenko A. A. Comprehensive monitoring of the technical condition of the end outlet of the Nevinnomyssky Canal, based on the assessment of reliability parameters. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):264–280. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280>.

Введение. Водоспуск Невинномысского канала был построен в 1958 г. и с этого момента эксплуатировался непрерывно. Он сооружен на склоне и сбрасывает воду Невинномысского канала в природный водоем, соединенный с Сенгилеевским водохранилищем. Направление конечного участка водоспуска – с юга на север. Вода через оголовок водосброса поступает в быстроток трапецеидального сечения, облицованный бетонными армированными плитами, имеющими ширину по дну 6,0 м и полукруглые откосы. Общая длина быстротока – 387 м. Уклон быстротока 0,018, и на последнем участке длиной 35,38 м уклон 0,18. Далее идет переходный участок длиной 12 м с уклоном 0,01 и участок водобойного колодца длиной 34,43 м. Быстроток имеет дренаж. Водобойный колодец имеет длину 10,75 м, ширину 12,8 м и глубину 1,05 м. Отметка на выходе водобойного колодца 281,87 м. Отводящий канал за водобойным колодцем укреплен армированными плитами на протяжении 29,2 м, двойной мостовой на протяжении 20 м, одиночной мостовой на протяжении 89 м и далее песчано-гравелистым креплением откосов на протяжении 300 м. По первоначальному проекту облицовку водобойного колодца намечалось выполнить камнем. Ввиду имевшихся затруднений с получением облицовочного камня, облицовка заменена железобетонной.

В водобойном колодце наблюдаются брызги и водяная пыль, особенно интенсивные при малых расходах. Для защиты от брызг устроены парапеты высотой 1,40 м, необходимо выполнить работы по устройству гравийно-песчаной подготовки под крепление мостовой отводящего канала гидростанции.

Цель исследований – проведение комплексного мониторинга для оценки технического состояния железобетонных элементов конечного водоспуска Невинномысского канала, базирующейся на определении параметров надежности с помощью неразрушающего контроля.

Материалы и методы. Концевой водоспуск Невинномысского ка-

нала выполнен в виде железобетонного лотка прямоугольного сечения с внутренней шириной 8,5 м и высотой борта от дна 1,9 м (рисунок 1а). Лоток опирается продольными несущими стенами на основание [1]. По длине состоит из отсеков, разделенных деформационными швами. Длина отсеков 15 м. Борты лотка первого отсека опираются на восемь малых подкосов и три больших. Два больших слиты с колоннами, малые расставлены равномерно по длине отсека, один большой – в середине. Сброс воды осуществляется с северного отсека в природный водоем (рисунок 1б).



a – общее техническое состояние железобетонных конструкций
концевого водоспуска; *b* – на бортах лотка видны следы заделки
трещин и деформационного шва цементным раствором

a – general technical condition of reinforced concrete structures of the end outlet; *b* – traces of
sealing cracks and an expansion joint with cement mortar are visible on the sides of the tray

**Рисунок 1 – Концевой водоспуск Невинномысского канала
(автор фото В. А. Волосухин)**

**Figure 1 – End outlet of the Nevinnomysky Canal
(photo by V. A. Volosukhin)**

Первые два отсека имеют большую длину по 24,5 м. Они включают три продольные балки-стенки, опирающиеся на колонны и имеющие консольные свесы за пределы колонн в продольном направлении длиной 4,5–4,75 м. Балки-стенки обеспечивают жесткость днища лотка. Борты лотка в верхней части представляют собой свободно стоящие стенки, в нижней они связаны с днищем и с крайними балками-стенками [2].

Балки-стенки отстоят одна от другой на 2,8 м и связаны между собой поперечными ригелями и днищем лотка. Расстояние между наружными гранями крайних балок-стенок 7,5 м, а ширина лотка брутто 9,0 м. Лоток имеет также свесы за пределы крайних балок-стенок. Эти свесы подкреплены железобетонными подкосами двух типоразмеров [3]. Большие подкосы высотой 1,3 м передают нагрузку от лотка, крайние на колонны, а средний на балку-стенку в середине отсека.

Малые подкосы высотой 0,4 м установлены в промежутках между большими и опираются на балки-стенки. Наружные поверхности отсеков [4, 5], расположенные ниже тротуаров, покрыты битумной гидроизоляцией.

Наиболее детально были обследованы первый и второй отсеки, так как почти все их конструкции обнажены, доступны для осмотра и измерений. Поверхность железобетона ниже тротуара была покрыта битумом [6]. Там, где это покрытие сохранилось, оно играет свою защитную роль – предохранение бетона от выветривания. Однако часть конструкций второго отсека получила серьезные повреждения, в частности, там, где разрушилось битумное покрытие.

Консольные части железобетонных элементов балок-стенок первого и второго отсеков разрушены по длине всей конструкции (рисунок 2а) [7]. Отслоение бетона произошло на глубину до 15–20 см, в местах отслоения арматура обнажена и сильно корродирована: стержни диаметром до 15 мм полностью сгнили, а диаметром до 40 мм потеряли свою несущую способность на 70–80 % (рисунок 2б).

На железобетонных элементах консолей второго и первого отсека обнаружены продольные трещины. Есть трещины, проходящие по нижним граням железобетонных элементов консолей, обнажающие арматурные стержни (рисунок 3а). Есть трещины в боковых гранях, направленные параллельно нижней грани и также повредившие боковые грани от колонн

до стыка [8]. Сильно разрушен стык балок-стенок первого и второго отсеков и ригелей, которые связывают балки стенки и подкрепляют края днищ этих отсеков. На рисунке 3*b* хорошо видны концы ржавой арматуры, обнажившейся после отслоения бетона.



a – консоль и ригели восточной балки-стенки повреждены коррозией, отслоился бетон, обнажилась и корродирована арматура; *b* – разрушение железобетона в месте сопряжения консоли первого отсека с колонной, образование трещин

a – the consol and crossbars of the eastern beam-wall were damaged by corrosion, the concrete is peeled off, the reinforcement was exposed and corroded; *b* – destruction of reinforced concrete at the junction of the console of the first compartment with the column, the formation of cracks

Рисунок 2 – Дефекты консольной части балок-стенок первого отсека (автор фото В. А. Волосухин)

Figure 2 – Defects in the console parts of the beam walls of the first compartment (photo by V. A. Volosukhin)

По железобетонным элементам нижних граней второго отсека идут продольные трещины с раскрытием до 15–20 мм, свидетельствующие о расслоении бетона, которое в дальнейшем приводит к обнажению арматурных стержней (рисунок 4*a*) и к разрушению бетонного тела конструкции [9, 10]. Трещины в бетоне есть также на вертикальных гранях бортов вблизи подкосов и в самих подкосах. Слабонаклонные, почти горизонтальные трещины рассекают полностью сечение северных колонн второго отсека (рисунок 4*b*). Раскрытие трещин достигает 0,7–2,2 мм, смещение краев трещин по горизонтали 0,5–1,2 мм, причем верхний край смещен к югу относительно нижнего.



a – вид стыка между первым и вторым отсеками снаружи, слева видны кальцитовые натеки; *b* – вид с запада на стык первого и второго отсеков, разрушен бетон, обнажена и корродирована арматура
a – view of the joint between the first and second compartments from the outside, calcite deposits are visible on the left; *b* – view from the west at the junction of the first and second compartments, the concrete is destroyed, the reinforcement is exposed and corroded

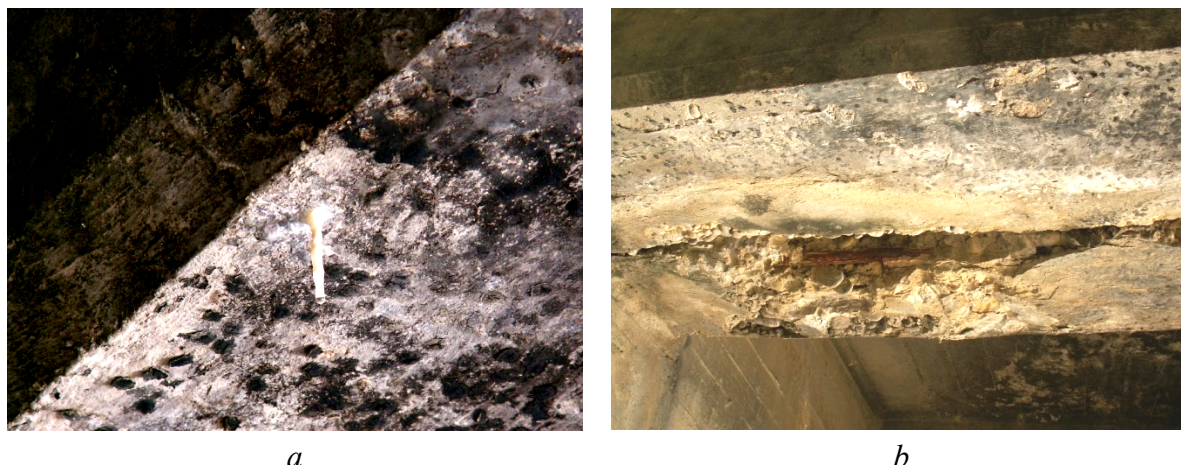
**Рисунок 3 – Дефекты консольной части второго отсека
(автор фото В. А. Волосухин)**
**Figure 3 – Defects in the console parts of the second compartment
(photo by V. A. Volosukhin)**



a – полностью сгнившая арматура ригеля второго отсека; *b* – расслоение бетона и образование трещины на нижней грани восточного борта лотка второго отсека
a – completely rotted fittings of the crossbar of the second compartment;
b – stratification of concrete and formation of a crack on the lower edge of the eastern side of the tray of the second compartment

**Рисунок 4 – Дефекты несущих элементов консольной части
(автор фото В. А. Волосухин)**
**Figure 4 – Defects in load-bearing elements of the console parts
(photo by V. A. Volosukhin)**

Балки-стенки, подкосы и детали бортов второго отсека покрыты в нескольких местах кальцитовыми натеками (рисунок 5а), на горизонтальных гранях растут кальцитовые сталактиты длиной до 50–90 мм [11]. Они вырастают на трещинах в бетоне, по которым сочится вода из лотка. Интенсивность капли в момент обследования составляла одну каплю в 1,5–2 мин (при диаметре сталактита 4 мм). Это свидетельствует о непрерывности подпитки каналов фильтрации из лотка с водой [12, 13]. Следовательно, бетон борта и днища лотка находится в состоянии полного водонасыщения. Разрушение ригелей в северной части первого отсека, поддерживающих днище лотка, весьма велико: отслоение бетона и гниение арматуры практически полностью вывели ригели из строя (рисунок 5б).



- a* – кальцитовый сталактит под трещиной в борту лотка второго отсека;
b – уничтожение арматуры коррозией идет одновременно с протечками днища лотка, которые оставляют следы в виде кальцитовых натеков, и размораживанием бетона
a – calcite stalactite under a crack in the side of the tray of the second compartment;
b – the destruction of reinforcement by corrosion occurs simultaneously with the seepage of the tray bottom, which leave traces in the form of calcite deposits, and the concrete defrosting

**Рисунок 5 – Дефекты несущих элементов консольной части
(автор фото В. А. Волосухин)**

**Figure 5 – Defects in load-bearing elements of the console parts
(photo by V. A. Volosukhin)**

Борта всех обследованных отсеков лотка разорваны трещинами отрыва [14]. В первом и втором отсеках трещины образовались над колоннами. В первом отсеке четыре трещины над северными колоннами (ширина

трещин 0,5; 0,7; 1,1 и 1,5 мм), одна – над южными (4,1 мм). Во втором отсеке – три над северными (шириной 0,4; 0,5 и 1,2 мм), две – над южными (шириной 1,5 и 1,0 мм). В третьем отсеке семь трещин, расположение которых не удалось привязать к другим факторам, третий отсек таких же размеров, как и первые два, но заглублен в грунт и имеет следы моста, который опирался на борта, но был демонтирован.

В последующих отсеках обнаружены различные трещины в средней части (таблица 1). Все трещины пересекают полностью сечение лотка, так, каждой трещине западного борта соответствует трещина восточного борта, расположенная напротив первой. Это явно указывает на присутствие трещины в бетоне днища, которая соединяет противоположные трещины в бортах.

Таблица 1 – Количество трещин в отсеках лотка

Table 1 – Number of cracks in tray compartments

Номер отсека	Число трещин в бортах	Номер отсека	Число трещин в бортах
1	5	9	1
2	5	10	1
3	7	11	2
4	2	12	2
5	1	13	2
6	7	14	1
7	1	15	2
8	12	16	1

Трещины заделывались цементным раствором. Цементные латки треснули, что указывает на продолжающиеся деформации.

Результаты и обсуждение. В ходе обследования конструкций водоспуска выполнялись инструментальные исследования прочностных характеристик бетона. Прочность бетона оценивалась комплексным методом [15, 16].

При оценке прочности использовались приборы неразрушающего контроля «Оникс-2.5» и «Пульсар-1.1». Испытания прочности бетона прибором «Оникс-2.5» выполнялись на отдельных участках железобетонных

балок-стенок и колонн первого и второго отсеков, а также бортов лотка 16 отсеков. Параллельно на этих же участках проводились испытания прочности бетона прибором «Пульсар-1.1». Число серий испытаний на каждом участке (захватке) принималось не менее трех. Серия испытаний представлена шестью частными измерениями.

Графический дисплей прибора «Оникс-2.5» и прибора «Пульсар-1.1» позволяет контролировать и просматривать [17]:

- единичные данные о прочности бетона и средние значения для серии измерений;
- среднее квадратичное отклонение;
- коэффициент вариации.

Нормируемый класс бетона ($R_{\text{норм}}$) при значении коэффициента вариации прочности бетона более 16 % должен определяться по формуле [18], МПа:

$$R_{\text{норм}} = \frac{R_m \cdot K_b}{1,1} = 0,709 \cdot R_m,$$

где R_m – среднее арифметическое серии измерений;

K_b – коэффициент зависимости от класса бетона по прочности на сжатие, для тяжелого бетона равный $K_b = 0,78$.

Фрагмент результатов испытаний прочности бетона железобетонных конструкций склерометром «Оникс-2.5» приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Определение прочности бетона склерометром «Оникс-2.5»
Table 2 – Determining the strength of concrete with a sclerometer “Onyx 2.5”

Точка измерения	Единичный результат (прочность) R , МПа	Коэффициент вариации прочности, %	Размах прочности, %	Место проведения измерения	Фактический класс бетона В, МПа
1	2	3	4	5	6
1	25,8	13,4	25,4	Первая консоль второго отсека	20,1
12	36,1	9,8	21,8		30,3
23	50,7	20,6	5,4		35,9
34	32,1	13,6	29,4		24,9

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5	6
45	62,2	19	46,4	Первая колонна первого отсека	42,8
56	39,3	13,9	31		30,3
67	39,6	16,9	37,6		28,6
78	41,6	21,9	43,2		29,5
89	42,5	9,8	25,4	Вторая колонна первого отсека	35,7
110	65,6	4,8	10,8		60,4
111	35,3	20,8	4,6		25,0
112	32,8	15,3	5,8		24,5

В таблице 3 представлен фрагмент результатов определения прочности, плотности и модуля упругости бетона при поверхностной локации ультразвуком с применением прибора «Пульсар-1.1».

Таблица 3 – Измерение прочности, плотности и модуля упругости бетона прибором «Пульсар-1.1»

Table 3 – Measurement of strength, density and modulus of elasticity of concrete with the device “Pulsar 1.1”

Точка измерения	Скорость ультразвука V , м/с	Прочность R , МПа	Модуль упругости E , МПа	Место проведения измерения	Фактический класс бетона B , МПа
1	3837	24	17472	Первая консоль второго отсека	21,2
12	4340	38,1	22809		32,3
23	4371	39,4	23158		28,6
34	4371	39,3	23158		28,5
45	4044	29,5	19593	Первая колонна первого отсека	21,8
56	3885	25,2	17954		21,0
67	3035	10	10369		7,9
78	4331	38,1	22708		28,2
89	3777	22,6	16879	Вторая колонна первого отсека	20,6
10	3662	20,3	15768		15,3
111	3792	23	17026		19,8
112	4203	33,7	21295		31,0

Прочность бетона бортов лотка, определенная склерометром, уменьшается от водоема вверх по склону (от первого до шестнадцатого отсеков). Та же закономерность выявлена при поверхностной локации ультразвуком. В последнем случае прочность ниже в 2 раза. Это объясняется тем, что прозвучивание дает интегральную характеристику и на результаты влияют микротрещины и макропоры бетонного тела, попавшие в исследуемое се-

чение конструкции. Склерометр измеряет прочность в точке с минимальными нарушениями бетона, поэтому показывает большую прочность. Расчеты плотности бетона по данным прозвучивания показали сравнительно небольшое изменение ее по длине лотка. Значения модуля упругости заметно уменьшаются вверх по течению воды, повторяя тренд прочности.

Внешний вид и положение этих трещин в консолях первого и второго отсеков свидетельствуют об их силовом характере: разрушении железобетона под нагрузкой. Учитывая, что нагрузка на консоли создается собственным весом конструкций, водой в лотке и ветром и мало изменяется в процессе эксплуатации, можно заключить, что прочность железобетона в консолях существенно снизилась. Поверхностная локация ультразвуком мест нарушения трещинами показала резкое снижение значений прочности бетона в консолях.

Нижняя грань борта свободна от нормальных напряжений на всем протяжении, за исключением мест опирания на подкосы, следовательно, в ней действуют тангенциальные напряжения в направлении, параллельном оси лотка. Нарушения в конструкциях первого и второго отсеков дают представление о состоянии конструкций водоспуска в целом. Нарушены места стыков смежных отсеков. В этих местах повреждена гидроизоляция лотка и вода, фильтруясь через бетон, насыщает его и вымывает растворимую составляющую – кальцит [19].

Вымывание кальцита ослабляет бетон. Постоянное насыщение бетона водой приводит к размораживанию его при отрицательных температурах, что порождает трещины в конструкциях и отслоение бетона на их поверхностях. В пользу такого сценария говорит то, что, во-первых, наибольшее разрушение наблюдается в месте стыка первого и второго отсеков, а во-вторых, прочность бетона уменьшается, по данным как склерометрии, так и прозвучивания, вверх по лотку, по мере удаления от природного водое-

ма. Вблизи водоема температура воздуха в зимнее время выше и снижается медленнее, чем выше по склону.

Нарушение гидроизоляции в стыках между отсеками привело к потере водонепроницаемости бетона и последующему его размораживанию. Следствием этих процессов явилась потеря прочности железобетона конструкций и образование трещин. Это может служить основанием для прогноза обрушения наружных консолей первого и второго отсеков в месте их стыка или одной из примыкающих к этому стыку колонн. Трещины в бортах лотка также являются следствием температурных деформаций. По-видимому, при быстром снижении температуры воздух охлаждает прежде всего верхнее строение лотка. Конструкции, находящиеся ближе к воде и заглубленные в грунт, остывают медленнее. Это приводит к большому градиенту температурных деформаций в вертикальном направлении и, как следствие, к разрыву конструкций в верхнем волокне. Косвенно эта гипотеза подтверждается малым раскрытием трещин в бортах отсеков.

Выводы. На основании проведенных исследований установлено, что железобетонные конструкции водоспуска находятся в целом в удовлетворительном состоянии и отвечают своему функциональному назначению. В деформационных швах нарушена гидроизоляция днища лотка, что приводит к утечке воды и повышению водопроницаемости днища, а следовательно, к размораживанию бетона и коррозии арматуры. Скорость этого процесса возрастает и ведет к более масштабным разрушениям конструкций, вплоть до нарушения эксплуатационной пригодности.

Конструкции первого и второго отсеков уже подверглись масштабным разрушениям и потеряли часть несущей способности и даже часть материала, первый и второй отсеки нуждаются в срочном ремонте.

На основании данных нарушений можно сделать следующие рекомендации: восстановить гидроизоляцию днища и бортов лотка в местах стыков отсеков и трещин в днище путем инъекций в швы и в трещины во-

достойного герметика; обетонировать консоли первого и второго отсеков по арматурным каркасам, соединенным с арматурой здоровой части конструкций; наложить на колонны первого и второго отсеков железобетонные рубашки, оперев их на дополнительные фундаменты и связав с арматурой колонн; покрыть бетонные поверхности первого и второго отсеков окрасочной гидроизоляцией.

Список источников

1. Безопасность бесхозяйных гидротехнических сооружений. Безопасность бесхозяйных гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса / Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова. LAP Lambert, 2016. 85 с.
2. 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.
3. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 3(111). 11109. DOI: 10.34910/MCE.111.9.
4. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90–98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.
5. Абдразаков Ф. К., Лазарева А. А. Нарушение надежности работы облицованных оросительных каналов // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2012. Т. 12, № 6. С. 52–54.
6. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Определение вероятного риска аварии крупного канала вследствие фильтрационных деформаций // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 1(5). С. 145–156. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=561> (дата обращения: 15.01.2023).
7. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> (дата обращения: 15.01.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23.
8. Безопасность сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин, И. А. Приходько, А. Ю. Вербицкий // Природообустройство. 2022. № 5. С. 52–59. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.
9. Мониторинговая оценка низконапорной земляной плотины Варнавинского водохранилища в условиях повышающегося риска природных и техногенных катастроф / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, И. А. Приходько, А. А. Руденко // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 4. С. 17–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.02.
10. Юрченко И. Ф. Перспективные технологии инновационного орошения // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 4. С. 233–245. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1323> (дата обращения: 15.01.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245.

11. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Планирование и реализация ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 4. С. 8–11.

12. Учет и установление собственника для бесхозных мелиоративных объектов – определяющий фактор их эффективного использования / Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова // Природообустройство. 2015. № 4. С. 8–14.

13. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Техничко-экономические показатели эффективности водопользования на оросительных системах // Природообустройство. 2009. № 4. С. 102–106.

14. Ткачев А. А., Анохин А. М. Реконструкция Новотроицкого водохранилища в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 302–315. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1251> (дата обращения: 15.01.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-302-315.

15. Pogorelov A. V., Golovan K. R., Kuzyakina M. V. Spatial structure of Internet-traffic consumption in the MTS network in a large city (based on Krasnodar data) // InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference. 2015. Vol. 21. P. 548–552. DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-548-552.

16. Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений / И. А. Приходько, М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, А. А. Руденко // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 4. С. 317–332. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1328> (дата обращения: 15.01.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332.

17. Оперативное водораспределение в системах оросительных каналов / В. И. Ольгаренко, Н. С. Захарченко, О. П. Кисаров, И. В. Ольгаренко // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 3. С. 34–36.

18. Эффективность мониторинга технического состояния противопаводковой системы в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани в условиях возрастающих статических и сейсмических воздействий / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин, И. А. Приходько, Я. А. Комсюкова // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6(390). С. 573–579. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_573.

19. The use of ionizing radiation for the tungsten preparation / B. P. Chesnokov, F. K. Abdrazakov, O. V. Naumova, D. S. Krivoschapov, V. A. Strelnikov // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. 33(1). P. 809–815.

References

1. Balakay G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E.A., Yalalova G.Kh., 2016. *Bezopasnost' beskhozyaynykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Bezopasnost' beskhozyaynykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa* [Security Ownerless Hydraulic Engineering Structures]. Germany, LAP Lambert, 85 p. (In Russian).

2. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., 2022. *Izmenenie klimata: prichiny, riski dlya vodokhozyaystvennogo kompleksa Krasnodarskogo kraya* [Climate change: reasons, risks for the water management complex of Krasnodar Territory]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 50-56, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. (In Russian).

3. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V., 2022. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect. Magazine of Civil Engineering, no. 3(111), 11109, DOI: 10.34910/MCE.111.9.

4. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2021. *Osobennosti gidravlicheskh i fil'tratsionnykh raschetov osushitel'no-orositel'noy sistemy* [Features of hydraulic and filtration calculations of the drainage-irrigation system]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 90-98, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98. (In Russian).

5. Abdrazakov F.K., Lazareva A.A., 2012. *Narushenie nadezhnosti raboty oblitso-vannykh orositel'nykh kanalov* [Violation of reliability of the lined irrigation canals]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta* [Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University], vol. 12, no. 6, pp. 52-54. (In Russian).

6. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. [Determination of the probable emergency risk of a large-scale canal due to seepage deformations]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(5), pp. 145-156, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=561> [accessed 15.01.2023]. (In Russian).

7. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. [Urgent problems of water distribution management in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 1-23, available <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> [accessed 15.01.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. (In Russian).

8. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Verbitsky A.Yu., 2022. *Bezopasnost' sooruzheniy inzhenernoy zashchity doliny reki Psekups s uchetom izmenivshikhsya vo vremeni nagruzok i vozdeystviy* [Safety of the engineering protection facilities of the Psekups river valley taking into account time-varying loads and impacts that have changed over time]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 52-59, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59. (In Russian).

9. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A., 2022. *Monitoringovaya otsenka nizkonapornoy zemlyanoy plotiny Varnavinskogo vodokhranilishcha v usloviyakh povyshayushchegosya riska prirodnnykh i tekhnogennykh katastrof* [Monitoring assessment of the low-pressure earthen dam of the Varnavinsky reservoir under conditions of increasing risk of natural and man-made disasters]. *Construction and Geotechnics*, vol. 13, no. 4, pp. 17-29, DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.02. (In Russian).

10. Yurchenko I.F., 2022. [Advanced technologies for innovative irrigation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 4, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1323> [accessed 15.01.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245. (In Russian).

11. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2010. *Planirovanie i realizatsiya remontno-ekspluatatsionnykh rabot na orositel'nykh sistemakh* [Planning and implementation of repair and maintenance work on irrigation system]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokho-zyaystvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 8-11. (In Russian).

12. Balakay G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E.A., Yalalova G.Kh., 2015. *Uchet i ustanovlenie sobstvennika dlya beskhozyaynykh meliorativnykh ob"ektov – opredelyayushchiy faktor ikh effektivnogo ispol'zovaniya* [Recording and establishment of the owner for ownerless reclamation objects is a defining factor of their efficient usage]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 8-14. (In Russian).

13. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2009. *Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli effektivnosti vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [Technical and economic indices of water use efficiency in irrigation systems]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 102-106. (In Russian).

14. Tkachev A.A., Anokhin A.M., 2021. [Reconstruction of the Novotroitsk reservoir in the Stavropol Territory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 302-315, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1251> [accessed 15.01.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-302-315. (In Russian).

15. Pogorelov A.V., Golovan K.R., Kuzyakina M.V., 2015. Spatial structure of Internet-traffic consumption in the MTS network in a large city (based on Krasnodar data). *Inter-Carto, InterGIS*, vol. 21, pp. 548-552, DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-548-552.

16. Prikhodko I.A., Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., 2022. [Critical analysis of the engineering protection of the Lower Kuban under the conditions of irrigation

water increasing shortage due to climatic changes]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 4, pp. 317–332, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1328> [accessed 15.01.2023], DOI: 10.31774 / 2712-9357-2022-12-4-317-332. (In Russian).

17. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Zakharchenko N.S., Kisarov O.P., 2011. *Operativnoe vodoraspredelenie v sistemakh orositel'nykh kanalov* [Operational water distribution in irrigation canal systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bulletin of Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 3, pp. 34–36. (In Russian).

18. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Komsyukova Ya.A., 2022. *Effektivnost' monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya protivopavodkovoy sistemy v vodokhozyaystvennom komplekse Nizhney Kubani v usloviyakh vozrastayushchikh staticheskikh i seismicheskikh vozdeystviy* [Efficiency of monitoring the technical condition of the flood protection system in the water management complex of the Lower Kuban under the conditions of increasing static and seismic impacts]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 6(390), pp. 573–579, DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_573. (In Russian).

19. Chesnokov B.P., Abdrazakov F.K., Naumova O.V., Krivoschapov D.S., Strelnikov V.A., 2017. The use of ionizing radiation for the tungsten preparation. *Journal of Industrial Pollution Control*, 33(1), pp. 809–815.

Информация об авторах

М. А. Бандурин – декан факультета гидромелиорации, доктор технических наук, доцент;

В. А. Волосухин – профессор кафедры сопротивления материалов, доктор технических наук, профессор;

И. А. Приходько – заведующий кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, кандидат технических наук, доцент;

А. А. Руденко – аспирант.

Information about the authors

M. A. Bandurin – Dean of the Faculty of Hydromelioration, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

V. A. Volosukhin – Professor of the Department of Strength of Materials, Doctor of Technical Sciences, Professor;

I. A. Prikhodko – Head of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. A. Rudenko – Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.02.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 25.04.2023.

The article was submitted 06.02.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 25.04.2023.