

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ/HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGYDOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4>

EDN: QLIZPS

ОЦЕНКА ИНФИЛЬТРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТРЕЩИН В БЕТОННЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕНКАХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НИЖНЕГО БЬЕФА НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА

Научная статья

Ефременко Д.А.^{1,*}, Газиев А.Н.², Пилипенко Т.В.³¹ORCID : 0009-0004-7369-7272;²ORCID : 0009-0003-5238-2936;³ORCID : 0000-0001-5080-6588;¹ООО «Запсибгипроводхоз», Новосибирск, Российская Федерация²ООО «СТРОЙЦЕНТРАЛЬ», Санкт-Петербург, Российская Федерация³Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (efremenk0dmit[at]yandex.ru)

Предложена: 09.06.2026; Принята: 09.07.2026; Опубликовано: 17.08.2026

Аннотация

Бетонные подпорные стенки являются одним из наиболее распространённых типов берегозащитных гидротехнических сооружений (ГТС) в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища. По данным натурного обследования 2024–2025 гг., из 16 обследованных бетонных подпорных стенок около 30% имеют трещины различного генезиса (усадочные, температурные, силовые) шириной до 2 мм. Эксплуатация сооружений происходит в условиях нестационарного уровня воды с амплитудами суточных колебаний до 2,4 м и скоростями спада до 0,15 м/час, что создаёт знакопеременные фильтрационные нагрузки. Научная новизна работы заключается в установлении количественных зависимостей между шириной трещин и объёмом инфильтрации за паводковый цикл (от 43 до 864 м³ на 5 м трещины), в разработке классификации трещин по степени опасности на основе расчётных фильтрационных расходов, а также в обосновании критериев назначения ремонтных мероприятий (инъектирования) для бетонных подпорных стенок, эксплуатируемых при резких спадах уровня воды. В статье выполнена количественная оценка инфильтрационной способности одиночной трещины в бетонной подпорной стенке при резком спаде уровня воды. Предложена расчётная модель, основанная на формуле истечения через щель с коэффициентом расхода и уточнённая с учётом шероховатости, извилистости и закольматации трещин. Показано, что при перепаде напора 2,4 м и трещине шириной 1 мм удельный расход инфильтрации достигает 0,05 л/(с·м), а за один цикл «подъём–спад» объём профильтровавшей воды может составлять до 216 м³ на 5 м трещины. При ширине трещины 2 мм расход возрастает в 4 раза. Инъекционное заполнение трещины цементным или полимерным составом позволяет снизить фильтрацию на 90–95%. Приведены визуальные признаки дефектов на примере Михайловской набережной и бетонных плит у Речного вокзала. Предложены рекомендации по приоритетности ремонта трещин в зависимости от их ширины, ориентации и удаления от уреза воды. Результаты могут быть использованы при планировании ремонтных работ и оценке остаточного ресурса берегозащитных ГТС.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, бетонная подпорная стенка, трещины, инфильтрация, фильтрация через трещину, нестационарный уровень воды, инъектирование, нижний бьеф, Новосибирское водохранилище, научная новизна, классификация трещин.

EVALUATION OF THE INFILTRATION CAPACITY OF CRACKS IN CONCRETE RETAINING WALLS OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES IN THE DOWNSTREAM REACH OF THE NOVOSIBIRSK HYDROELECTRIC COMPLEX

Research article

Efremenko D.A.^{1,*}, Gaziev A.N.², Pilipenko T.V.³¹ORCID : 0009-0004-7369-7272;²ORCID : 0009-0003-5238-2936;³ORCID : 0000-0001-5080-6588;¹Zapsibgiprovodhoz LCC, Novosibirsk, Russian Federation²STROYCENTRAL LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation³Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (efremenk0dmit[at]yandex.ru)

Suggested: 09.06.2026; Accepted: 09.07.2026; Published: 17.08.2026

Abstract

Concrete retaining walls are one of the most common types of coastal protection hydraulic structures in the downstream reach of the Novosibirsk Reservoir. According to field surveys carried out in 2024–2025, of the 16 concrete retaining walls inspected, around 30% have cracks of various origins (shrinkage, temperature-induced, stress-induced) up to 2 mm wide. The structures are operated under conditions of non-stationary water levels, with daily fluctuations of up to 2.4 m and decline rates

of up to 0.15 m/hour, which create alternating seepage loads. The scientific novelty of the work lies in establishing quantitative relationships between crack width and the volume of infiltration over a flood cycle (ranging from 43 to 864 m³ per 5 m of cracks), in the development of a classification of cracks by degree of hazard based on calculated filtration rates, and in the substantiation of criteria for prescribing repair measures (injection) for concrete retaining walls operated under conditions of abrupt water level drops. The article presents a quantitative evaluation of the infiltration capacity of a single crack in a concrete retaining wall during a sudden drop in water level. A calculation model is suggested, based on the formula for flow through a slit with a discharge coefficient and refined to account for the roughness, tortuosity and clogging of cracks. It has been shown that, with a head difference of 2.4 m and a crack width of 1 mm, the specific infiltration rate reaches 0.05 l/(s·m), and during a single "rise–fall" cycle, the volume of water that has filtered through can be as high as 216 m³ per 5 m of crack. With a crack width of 2 mm, the flow rate increases fourfold. Injecting cement or polymer composition into the crack reduces filtration by 90–95%. Visual indicators of defects are illustrated using the examples of the Mikhailovsk Embankment and the concrete slabs near the River Station. Recommendations are proposed regarding the priority of crack repairs depending on their width, orientation and distance from the water's edge. The results can be used when planning repair works and assessing the remaining service life of coastal protection hydraulic structures.

Keywords: coastal protection structures, concrete retaining wall, cracks, infiltration, filtration through cracks, non-stationary water level, injections, downstream reach, Novosibirsk Reservoir, scientific novelty, classification of cracks.

Введение

Нижний бьеф Новосибирского гидроузла (г. Новосибирск) характеризуется активной застройкой пойменных территорий и наличием многочисленных берегозащитных ГТС. Одним из наиболее массовых типов являются бетонные подпорные стенки (16 объектов в реестре, что составляет 34% от всех сооружений). При визуальном обследовании 2024–2025 гг. выявлено, что около 30% этих стенок имеют трещины различного происхождения: усадочные (ширина 0,1–0,5 мм), температурные (0,3–1,0 мм), силовые (до 2 мм) и комбинированные [1], [2]. Кроме того, рабочие швы бетонирования часто являются местами повышенной фильтрации.

Эксплуатация берегозащитных ГТС происходит в условиях нестационарного гидрологического режима, обусловленного суточным и недельным регулированием стока Новосибирской ГЭС. Согласно данным гидропоста «р. Обь — г. Новосибирск», в июле 2024 г. амплитуда колебаний уровня достигала 2,4 м, а скорость спада — 0,15 м/час (3,6 м/сут.), что в 4–6 раз превышает рекомендуемые критерии для учёта фильтрационных процессов [3], [4]. При резком спаде уровня вода, накопившаяся за стенкой (в грунте берега), начинает фильтроваться через трещины и неплотности обратно в реку. Это явление — обратная фильтрация — создаёт взвешивающее давление на плиты крепления, способствует суффозии грунта и может приводить к выносу мелких фракций, увеличивая раскрытие трещин и снижая долговечность сооружений [5], [6].

В отличие от сплошного бетонного массива, трещины и швы являются концентраторами фильтрационного потока. Даже при незначительной ширине раскрытия, суммарный инфильтрационный расход через дефектную зону может быть сопоставим с расходами через дренажные системы. Однако в существующей практике проектирования и эксплуатации берегозащитных ГТС количественная оценка инфильтрации через трещины, как правило, не выполняется, а ремонт трещин проводится по визуальным критериям без гидравлического обоснования.

Цель работы — на основе данных натурных обследований и гидрологического режима нижнего бьефа выполнить количественную оценку инфильтрационной способности трещин в бетонных подпорных стенках берегозащитных сооружений и предложить критерии для назначения ремонтных мероприятий (инъектирования).

1.1. Научная новизна

Научная новизна представленного исследования заключается в следующем:

Установлены количественные закономерности между шириной раскрытия трещин в бетонных подпорных стенках (0,5; 1,0; 2,0 мм) и удельным фильтрационным расходом (0,01; 0,05; 0,20 л/(с·м)), а также объёмом инфильтрации за один паводковый цикл (43; 216; 864 м³ на 5 м трещины). Ранее для условий нижнего бьефа Новосибирского гидроузла такие зависимости не были установлены.

Разработана классификация трещин по степени опасности для долговечности и безопасности берегозащитных ГТС, включающая четыре категории (от «низкой» до «критической») с соответствующими пороговыми значениями ширины раскрытия (<0,3; 0,3–0,8; 0,8–1,5; >1,5 мм) и рекомендуемыми сроками ремонта. Такая классификация, привязанная к расчётным фильтрационным расходам, ранее отсутствовала.

Предложен критерий обязательного инъектирования — ширина раскрытия трещины >0,8 мм, а также установлено, что трещины в зоне переменного уровня воды (глубиной 0–3 м от нормального подпорного уровня) подлежат первоочередному ремонту независимо от их ширины, если они являются сквозными.

Обоснован порог недопустимости объёма инфильтрации (>200 м³ за один паводковый цикл), при котором дальнейшая эксплуатация сооружения без ремонта приводит к прогрессирующему разрушению (суффозия грунта, выщелачивание бетона, коррозия арматуры).

Впервые для нижнего бьефа Новосибирского гидроузла выполнена комплексная количественная оценка инфильтрационной способности трещин с учётом реального нестационарного гидрологического режима (амплитуда 2,4 м, скорость спада 0,15 м/час), что позволяет прогнозировать остаточный ресурс бетонных подпорных стенок и обосновывать ремонтные программы.

Методы и принципы исследования

2.1. Исходные данные по трещинам

По результатам обследования 16 бетонных подпорных стенок (фрагмент реестра приведён в табл. 1) выявлены типичные характеристики трещин: ширина раскрытия b^* = 0,1–2,0 мм, протяжённость L = 0,5–12 м, ориентация —

вертикальная, горизонтальная, диагональная. Наибольшее количество трещин зафиксировано в зоне переменного уровня воды (в интервале отметок 93–97 м БС) и вблизи рабочих швов. Для расчётного анализа приняты две характерные ширины трещины: 1 мм (умеренная) и 2 мм (значительная, требующая ремонта).

Таблица 1 - Фрагмент реестра бетонных подпорных стенок с дефектами

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4.1>

Объект	Год постр.	Длина, м	Отметка верха, м БС	Выявленные дефекты	Ширина трещин, мм
ЖК «Марсель» (смотровая площадка)	2017	65	98,6	вертикальные трещины, выщелачивание	0,5–1,0
ЖК «Маяк»	2019	205	–	трещины у швов, локальные сколы	до 1,5
Михайловская набережная	1964–1980	1500	98,0–98,5	множественные трещины, сколы, оголение арматуры, биопоражения	0,5–2,0
Лодочная станция «Локомотив»	2023	350	95,3	усадочные трещины	0,2–0,5
Участок у ТЦ «Лемана Про»	2013	450	–	трещины у швов	0,3–0,8

2.2. Гидрологические условия для расчёта

Расчётный перепад напора при резком спаде уровня принят $\Delta H = 2,4$ м (по максимальной амплитуде 2024 г.). Скорость спада в расчёте инфильтрационного расхода не участвует напрямую (расход определяется мгновенным перепадом), но важна для оценки длительности фильтрации в цикле. Принято, что за один цикл «подъём-спад» (период 20 суток, из них 10 суток — спад) фильтрация через трещину происходит при переменном напоре от 2,4 м до 0. Для оценки объёма инфильтрации за цикл использовано среднее значение напора 1,2 м.

2.3. Обоснование расчётных параметров фильтрации через трещины

Фильтрация воды через одиночную трещину в бетонной конструкции рассматривается как истечение жидкости через щелевое отверстие. Теоретический расход определяется по формуле истечения через отверстие в тонкой стенке [7], [8]:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H}$$

где:

• Q — объёмный расход воды через трещину, м³/с;

• μ — коэффициент расхода (для щелевых отверстий в бетоне с острыми кромками $\mu = 0,60 \div 0,65$, в расчёте принято $\mu = 0,62$);

• $A = b \cdot L$ — площадь поперечного сечения трещины, м² (b — ширина трещины, м; L — длина трещины, м);

• $g = 9,81$ м/с² — ускорение свободного падения;

• ΔH — перепад напора между грунтовой водой за стенкой и уровнем воды в реке, м.

Для трещины шириной $b = 1$ мм (0,001 м) и длиной $L = 1$ м при перепаде $\Delta H = 2,4$ м теоретический расход составляет:

$$Q = 0,62 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{(2 \cdot 9,81 \cdot 2,4)} = 0,00425 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м} = 4,25 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}$$

Однако реальный расход через трещину в эксплуатируемом сооружении значительно ниже теоретического в силу ряда факторов: шероховатость стенок трещины, её извилистость, частичная закольматация продуктами выщелачивания бетона, а также наличие заполнителя и арматуры, препятствующих свободному течению. Согласно исследованиям Косиченко и Гарбуза, при кольматации трещин удельный расход может снижаться в 8 и более раз [10]. Аналогичные результаты получены в работах по фильтрации через трещины в бетонных облицовках [9], [11]. На основе обобщения данных натурных обследований гидротехнических сооружений и сопоставления с теоретическими расчётами авторами предложены следующие значения удельного эффективного расхода для трещин различной ширины в условиях нижнего бьефа Новосибирского гидроузла (табл. 2). Эти значения учитывают совокупное влияние шероховатости, извилистости и частичной закольматации и представляют собой экспертно-расчётную оценку, верифицированную натурными наблюдениями.

Таблица 2 - Оценка инфильтрационного расхода через трещины различной ширины

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4.2>

Ширина трещины, мм	Удельный расход q , л/(с·м)	Расход на трещину длиной 5 м, л/с	Объём за 10 суток спада, м ³	Примечание
0,5	0,01	0,05	43	допустимо, мониторинг
1,0	0,05	0,25	216	требуется инъектирование
2,0	0,20	1,00	864	недопустимо, аварийный ремонт

Примечание: *объём за 10 суток спада рассчитан как $Q \text{ (л/с)} \times 86400 \text{ с/сут} \times 10 \text{ сут} / 1000$

2.4. Эффективность инъектирования

Инъекционное заполнение трещины цементным или полиуретановым составом позволяет снизить проницаемость на 90–95% [12], [13]. После качественного ремонта удельный расход снижается до 0,002–0,005 л/(с·м).

Основные результаты

3.1. Визуальные признаки инфильтрации и дефекты

При обследовании бетонной подпорной стенки Михайловской набережной (постройка 1964–1980 гг.) выявлены характерные дефекты, непосредственно связанные с длительной фильтрацией и резкими спадами уровня. На рис. 1 зафиксированы вертикальные трещины по всей высоте стены (ширина до 2 мм), в нижней части — значительные сколы бетона с обнажением арматуры. На поверхности наблюдаются белые, зелёные и коричневые пятна (продукты выщелачивания гидроксида кальция и биопоражения), а также следы влаги и рост растительности у основания. Неоднородная текстура поверхности свидетельствует о постоянной фильтрации воды через трещины и швы, активизирующейся при каждом скоростном спаде уровня.



Рисунок 1 - Дефекты бетонной подпорной стенки Михайловской набережной: вертикальные трещины, сколы, обнажение арматуры, белые и зелёные пятна (выщелачивание и биопоражения), следы влаги и растительность у основания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4.3>

На рис. 2 показаны бетонные плиты крепления у Речного вокзала (постройка 1977 г.). Отмечены множественные трещины, сколы углов, потемневшие участки (признаки намокания), расширение межплитных швов до 2–3 см, просадка отдельных плит и оголение арматуры по краям. Подобные деформации характерны для зон обратной фильтрации при резком спаде уровня, когда вода, выходящая из-под плит, вымывает мелкий заполнитель и подмывает основание.



Рисунок 2 - Разрушение бетонных плит крепления у Речного вокзала: трещины, сколы, расширение швов, просадка плит, оголение арматуры
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4.4>

3.2. Результаты расчёта инфильтрации

Для трещины шириной 1 мм длиной 5 м удельный расход составляет 0,05 л/(с·м), что даёт суммарный расход 0,25 л/с. За 10 суток спада через такую трещину может профильтроваться 216 м³ воды (табл. 2). При ширине трещины 2 мм эти значения возрастают до 1,00 л/с и 864 м³ за цикл. Столь значительный объём воды, проходящий через локальный дефект, приводит к интенсивному выносу грунта из-за стенки, образованию пустот, просадкам и прогрессирующему разрушению сооружения. Инъектирование снижает инфильтрацию до безопасных 5–10 м³ за цикл.

Обсуждение

Полученные результаты позволяют ранжировать трещины по степени опасности и обосновать необходимость ремонта. Критическими параметрами являются ширина раскрытия > 0,5 мм, сквозной характер трещины, ориентация (вертикальные трещины в зоне переменного уровня наиболее опасны), а также наличие визуальных признаков фильтрации (выщелачивание, потеки, растительность). Критическим параметром, определяющим необходимость ремонта, является ширина раскрытия трещины. В соответствии с требованиями к водонепроницаемости бетона гидротехнических сооружений (класс W8–W10) и рекомендациями по ремонту трещин [8], трещины с раскрытием более 0,2 мм в зоне переменного уровня воды подлежат ликвидации. Авторы предлагают рассматривать ширину 0,2 мм в качестве нижнего порогового значения для назначения ремонтных мероприятий, а ширину 0,8 мм — как критерий обязательного инъектирования на основании выполненных расчётов инфильтрационных расходов (табл. 2 и 3).

Таблица 3 - Рекомендации по ремонту трещин в бетонных подпорных стенках

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.4.5>

Ширина трещины, мм	Оценка риска	Необходимость инъектирования	Срочность
< 0,3	низкий	не требуется, но мониторинг	плановый осмотр
0,3 – 0,8	средний	рекомендуется для сквозных трещин	до 1 года
0,8 – 1,5	высокий	обязательно	в течение 3–6 мес.
> 1,5	критический	немедленное инъектирование	аварийное

При планировании ремонтов следует также учитывать удаление трещины от уреза воды: трещины в зоне активного напора (на глубинах 0–3 м от нормального подпорного уровня) подлежат первоочередному инъектированию независимо от их ширины, если они сквозные.

Заключение

1. Научная новизна работы подтверждена установленными количественными зависимостями между шириной трещин и объёмом инфильтрации (от 43 до 864 м³ за цикл), разработанной классификацией трещин по четырём категориям опасности, а также обоснованием критериев ремонта (обязательное инъектирование при ширине >0,8 мм). Эти результаты получены впервые для условий нижнего бьефа Новосибирского гидроузла и могут быть использованы при проектировании и эксплуатации аналогичных сооружений в нижних бьефах ГЭС с суточным регулированием стока.

2. По данным натурного обследования 16 бетонных подпорных стенок в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла, около 30% из них имеют трещины шириной до 2 мм. На примере Михайловской набережной и плит у Речного вокзала показаны типичные дефекты: вертикальные трещины, сколы, обнажение арматуры, выщелачивание, биопоражения, просадка плит.

3. Выполнена количественная оценка фильтрационных расходов через трещины при нестационарном уровне воды (максимальный перепад 2,4 м). Для трещины шириной 1 мм длиной 5 м удельный расход составляет 0,05 л/(с·м), а объём инфильтрации за один паводковый цикл – 216 м³. Такой объём фильтрации недопустим для долговечности сооружения по следующим причинам:

- Согласно СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (приложение А), наличие в бетонных конструкциях трещин с раскрытием более 1,0 мм является признаком «ограниченно-работоспособного» технического состояния ГТС, что соответствует низкому уровню безопасности и требует проведения ремонтных мероприятий [12].

- В соответствии с рекомендациями по ремонту трещин в бетоне гидротехнических сооружений, трещины с раскрытием более 0,2 мм в зоне переменного уровня воды подлежат ликвидации [8]. Превышение этого значения создаёт риск интенсивной фильтрации и коррозии арматуры.

- Пропуск такого значительного объёма воды (эквивалент объёма небольшого бассейна 10×10×2,16 м) через локальный дефект приводит к интенсивному выщелачиванию гидроксида кальция из тела бетона, что снижает его прочность и защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, этот поток выносит мелкие фракции грунта из-за стенки (суффозия), что приводит к образованию пустот, просадкам и прогрессирующему разрушению сооружения [2], [5].

4. Инъекционное заполнение трещин цементными или полимерными составами снижает фильтрацию на 90–95%, что подтверждает высокую эффективность ремонта [12], [13].

5. Предложена классификация трещин по степени опасности и рекомендации по срочности ремонтных мероприятий. Для берегозащитных ГТС нижнего бьефа обязательному инъектированию подлежат трещины шириной более 0,8 мм и все сквозные трещины в зоне переменного уровня.

6. Результаты работы могут быть использованы при разработке программ мониторинга и ремонта берегозащитных сооружений Новосибирского водохранилища, а также для оценки остаточного ресурса бетонных подпорных стенок.

Благодарности

Авторы благодарят Верхне-Обское бассейновое водное управление и ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» за предоставленные гидрологические данные.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the Upper Ob River Basin Water Management Authority and the FSBI "West Siberian Hydrometeorological Service" for providing the hydrological data.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ефременко Д.А. Комплексный анализ берегозащитных гидротехнических сооружений в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла / Д.А. Ефременко, Т.В. Пилипенко, А.Ю. Кудряшов // Материалы IX Всероссийского научно-практического семинара (МГСУ). — 2026.

2. Ефременко Д.А. Оценка влияния нестационарного гидрологического режима нижнего бьефа Новосибирского гидроузла на фильтрационную надежность берегозащитных сооружений / Д.А. Ефременко, Д.Е. Куприянов, Т.В. Пилипенко // Международный научно-исследовательский журнал. — 2026. — № 4 (166). — DOI: 10.60797/IRJ.2026.166.49.

3. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа / В.М. Шестаков. — Москва: Изд-во МГУ, 1965. — 233 с.

4. Данные Верхне-Обского БВУ о перепадах уровня воды на гидроступу «р. Обь — г. Новосибирск» за 2023–2025 гг. — Новосибирск, 2026. — 5 с.



5. СО 34.21.204-2005. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. — Санкт-Петербург: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2006.
6. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости / Ц.Е. Мирцхулава. — Москва: Колос, 1967.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. — Ленинград: Энергоиздат, 1982.
8. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселёв. — Москва: Стройиздат, 1975.
9. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде / Г.П. Вербецкий. — Москва: Стройиздат, 1976.
10. Косиченко Ю.М. Расчетная оценка водопроницаемости трещин бетонных облицовок каналов на основе гидравлических методов / Ю.М. Косиченко, А.Ю. Гарбуз // Природообустройство. — 2017. — № 5. — С. 42–49.
11. Загрядский И.И. Расчёт сосредоточенной напорной фильтрации в разветвлённой системе швов и трещин в бетонных гидротехнических сооружениях (трёхмерная задача) / И.И. Загрядский // Гидротехническое строительство. — 2025. — № 7. — С. 15–22.
12. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. — Москва, 2019.
13. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений (актуализированная версия СНиП 2.06.08-87). — Москва, 2012.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yefremenko D.A. Kompleksnii analiz beregozashchitnikh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii v nizhnem befe Novosibirskogo gidrouzla [A complex analysis of coastal protection hydraulic structures in the lower reach of the Novosibirsk hydroelectric complex] / D.A. Yefremenko, T.V. Pilipenko, A.Yu. Kudryashov // Materiali IX Vserossiiskogo nauchno-prakticheskogo seminar (MGSU) [Proceedings of the 9th All-Russian Scientific and Practical Seminar (MSSU)]. — 2026. [in Russian]
2. Yefremenko D.A. Otsenka vliyaniya nestatsionarnogo gidrologicheskogo rezhima nizhnego befa Novosibirskogo gidrouzla na filtratsionnyu nadezhnost beregozashchitnikh sooruzhenii [Assessment of the impact of the non-stationary hydrological regime in the lower reach of the Novosibirsk hydroelectric complex on the filtration reliability of bank protection structures] / D.A. Yefremenko, D.E. Kupriyanov, T.V. Pilipenko // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International Research Journal]. — 2026. — № 4 (166). — DOI: 10.60797/IRJ.2026.166.49. [in Russian]
3. Shestakov V.M. Teoreticheskie osnovi otsenki podpora, vodoponizheniya i drenazha [Theoretical foundations of retaining structure assessment, dewatering and drainage] / V.M. Shestakov. — Moscow: Moscow State University Publishing House, 1965. — 233 p. [in Russian]
4. Dannie Verkhne-Ob'skogo BVU o perepadakh urovnya vodi na gidropostu «r. Ob — g. Novosibirsk» za 2023–2025 gg. [Data from the Upper Ob Hydrometeorological Station on water level variations at the 'Ob River — Novosibirsk' hydrological station for 2023–2025] — Novosibirsk, 2026. — 5 p. [in Russian]
5. SO 34.21.204-2005. Rekomendatsii po prognozu transformatsii rusla v nizhnikh befakh gidrouzlov [SO 34.21.204-2005. Guidelines for forecasting channel transformation in the lower reaches of hydro-structures]. — Saint Petersburg: B.E. Vedenev All-Russian Research Institute of Hydraulics, 2006. [in Russian]
6. Mirtskhulava Ts.E. Razmiv rusel i metodika otsenki ikh ustoychivosti [Channel scouring and methods for assessing channel stability] / Ts.E. Mirtskhulava. — Moscow: Kolos, 1967. [in Russian]
7. Chugaev R.R. Gidravlika [Hydraulics] / R.R. Chugaev. — Leningrad: Energoizdat, 1982. [in Russian]
8. Altshul A.D. Gidravlika i aerodinamika [Hydraulics and Aerodynamics] / A.D. Altshul, P.G. Kiselyov. — Moscow: Stroiizdat, 1975. [in Russian]
9. Verbetskii G.P. Prochnost i dolgovechnost betona v vodnoi srede [The strength and durability of concrete in an aqueous environment] / G.P. Verbetskii. — Moscow: Stroiizdat, 1976. [in Russian]
10. Kosichenko Yu.M. Raschetnaya otsenka vodopronitsaemosti treshchin betonnykh oblitsovok kanalov na osnove gidravlicheskikh metodov [A calculated assessment of the water permeability of cracks in concrete canal linings based on hydraulic methods] / Yu.M. Kosichenko, A.Yu. Garbuz // Prirodoobustroistvo [Environmental Management]. — 2017. — № 5. — P. 42–49. [in Russian]
11. Zagryadskii I.I. Raschyot sosredotochennoi napornoj filtratsii v razvetyvlyonnoi sisteme shvov i treshchin v betonnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh (tryokhmernaya zadacha) [Calculation of concentrated pressure filtration in a branched system of joints and cracks in concrete hydraulic structures (a three-dimensional problem)] / I.I. Zagryadskii // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]. — 2025. — № 7. — P. 15–22. [in Russian]
12. SP 58.13330.2019. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya [SP 58.13330.2019. Hydraulic structures. General provisions]. — Moscow, 2019. [in Russian]
13. SP 41.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii (aktualizirovannaya versiya SNiP 2.06.08-87) [SP 41.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures for hydraulic engineering works (updated version of SNiP 2.06.08-87)]. — Moscow, 2012. [in Russian]