

Оригинальная статья

УДК 626/627:693.5

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-80-97>

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ВОДОПРИЕМНОГО УЗЛА ЗАГОРСКОЙ ГАЭС НА НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

Е.Н. Беллендир¹, О.Д. Рубин², А.В. Александров³, И.В. Баклыков⁴, С.Е. Лисичкин⁵^{1,3} АО «Институт Гидропроект», Москва, Российская Федерация² ФГБОУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация^{4,5} Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС», Москва, Российская Федерация¹ e.bellendir@hydroproject.ru; SPIN-код: 7975-2841² rubinod@niies.ru; ORCID: 0000-0002-0630-3251³ a.aleksandrov@hydroproject.ru; SPIN-код: 4152-5972⁴ moscow_igor88@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8374-9046⁵ lisichkin1989@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-2761-331X

Аннотация. В состав Загорской ГАЭС входят нижний и верхний аккумулирующие бассейны, напорные трубопроводы, станционный узел, реверсивный водоприемник и сопрягающий канал. Реверсивный водоприемник решен по схеме руслового здания ГАЭС, то есть непосредственно воспринимает напор воды верхнего бассейна. Были зафиксированы значительные растягивающие напряжения в арматуре фундаментной плиты водоприемника. В частности, в арматуре, расположенной вдоль потока у нижней грани фундаментной плиты (шов № 5-6), пересекающей низовой межблочный шов, напряжения превысили предел текучести. Статья посвящена разработке и обоснованию технических решений, не требующих радикальных изменений в конструкции водоприемника, направленных на изменение напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты и снижение растягивающих напряжений в арматуре до нормативно допустимого уровня. В работе представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния водоприемника Загорской ГАЭС, позволившие обосновать мероприятия по усилению сооружения, включая удлинение контрфорсов и применение базальтокомпозитной арматуры.

Ключевые слова: ГАЭС, водоприемник, фундаментная плита, напряженно-деформированное состояние, межблочные швы, арматура, усиление, базальтокомпозитная арматура

Для цитирования: Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Александров А.В., Баклыков И.В., Лисичкин С.Е. Расчетное обоснование усиления водоприемного узла Загорской ГАЭС на не скальных грунтах. Природообустройство. 2026;Т.19(1):80-97. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-80-97>

Original article

COMPUTATIONAL JUSTIFICATION FOR STRENGTHENING THE WATER INTAKE UNIT OF THE ZAGORSKAYA PUMPED-STORAGE POWER PLANT ON NON-ROCK SOILS

E.N. Bellendir¹, O.D. Rubin², A.V. Aleksandrov³, I.V. Baklykov⁴, S.E. Lisichkin⁵^{1,3} AO "Institute Hidroproekt"; Moscow, Russian Federation² FGBOU "National Research Moscow State University of Civil Engineering"; Moscow, Russian Federation^{4,5} Branch of JSC "Institute Hidroproekt" – "NIIES"; Moscow, Russian Federation¹ e.bellendir@hydroproject.ru; SPIN-код: 7975-2841² rubinod@niies.ru; ORCID: 0000-0002-0630-3251³ a.aleksandrov@hydroproject.ru; SPIN-код: 4152-5972⁴ moscow_igor88@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8374-9046⁵ lisichkin1989@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-2761-331X

Abstract. The Zagorskaya PSPP includes the lower and upper accumulating basins, pressure pipelines, station unit, reversible water intake and matching channel. The reversible water intake is solved according to the scheme of the riverbed building of the hydroelectric power plant, i.e. directly perceives the water pressure of the upper basin. Significant tensile stresses in the reinforcement of the foundation slab of the water intake were recorded, in particular, in the reinforcement located along the flow at the lower edge of the foundation slab (seam No. 5-No. 6), crossing the lower inter-block seam, the stresses exceeded the yield point. This work is devoted to the development and justification of technical solutions that do

not require radical changes in the design of the water intake, but rather aim to change the stress-strain state of the foundation slab and reduce the tensile stresses in the reinforcement to the permissible level. The article presents the results of numerical modeling of the stress-strain state of the water intake of the Zagorsk PSPP.

Keywords: pumped-storage power plant, water intake, foundation slab, stress-strain state, interblock seams, reinforcement, strengthening, basalt composite reinforcement

Format of citation: Bellendir E.N., Rubin O.D., Aleksandrov A.V., Baklykov I.V., Lisichkin S.E. Computational justification for strengthening the water intake unit of the Zagorskaya Pumped-Storage Power Plant on non-rock soils. *Prirodoobustrojstvo*. 2026;19(1):80-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-80-97>

Введение. Загорская гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС), расположенная на реке Кунье вблизи поселка Богородское Сергиево-Посадского района Московской области, представляет собой важнейший элемент Центрального энергетического узла. Станция выполняет функции автоматического регулирования частоты и перераспределения мощности, а также компенсирует пиковые суточные нагрузки в Московском и Центральном энергорайонах. Построенная в период с 1980 по 2003 гг., Загорская ГАЭС имеет установленную мощность 1200 МВт в режиме генерации и 1360 МВт в насосном режиме при средней годовой выработке электроэнергии 1,932 млрд кВт·ч.

В состав Загорской ГАЭС (рис. 1) входят нижний и верхний аккумулирующие бассейны, напорные трубопроводы, станционный узел, реверсивный водоприемник и сопрягающий канал. Реверсивный водоприемник решен по схеме руслового здания ГАЭС, то есть непосредственно воспринимает напор воды верхнего бассейна [1, 2]. С обеих сторон к устоям водоприемника примыкают левобережная и правобережная части грунтовой дамбы. Поскольку ширина дамбы значительно превышает ширину водоприемника вдоль потока, для сопряжения ее с водоприемником с низовой и верховой сторон предусмотрены подпорные стены уголкового типа, что сделало возможным устройство подводящего канала в верхнем

бассейне и открытых напорных трубопроводов с низовой стороны.

Инженерно-геологические условия. Участок строительства ГАЭС приурочен к северо-восточному продолжению Клинско-Дмитровской гряды. Равнинный рельеф водоразделов здесь характеризуется абсолютными отметками в 230-250 м. Основные сооружения ГАЭС возведены в условиях сплошного распространения мощной толщи нескальных дисперсных грунтов. В районе строительства зафиксированы обширные зоны оползневых процессов. Коренная часть геологического разреза сложена породами мезозойского возраста с чередованием субгоризонтально залегающих пластов песчаного и глинистого состава.

В процессе эксплуатации Загорской ГАЭС, по результатам мониторинга состояния элементов конструкции водоприемника и его пространственного положения, было выявлено, что вертикальные и горизонтальные перемещения имеют слабозатухающий либо незатухающий характер, наблюдаются раскрытие межблочных швов и рост растягивающих напряжений в арматуре фундаментной плиты водоприемника. Возникла необходимость разработки мероприятий по стабилизации состояния водоприемника для его дальнейшей безопасной эксплуатации.

Цель исследований: разработка и обоснование технических решений, не требующих радикальных изменений в конструкции водоприемника, направленных на изменение



Рис. 1. Общий вид Загорской ГАЭС

Fig. 1. General view of the Zagorsk Pumped Storage Power Plant

напряженно-деформированного состояния (НДС) фундаментной плиты и ее грунтового основания для снижения растягивающих напряжений в арматуре до нормативно допустимого уровня.

Материалы и методы исследований.

Задачи исследований заключались в том, чтобы:

1. Разработать КЭ модель системы «Водоприемник-основание» на основании фактических данных о конструктиве водоприемника, разрезке на блоки бетонирования, инженерно-геологических, фильтрационных условиях, данных о характеристиках слагающих основание грунтов. Выполнить расчеты НДС системы «Водоприемник-основание» с учетом последовательности возведения и нагружения сооружения и его основания.

2. Выполнить верификацию модели на основе данных об «исторической» этапности возведения сооружения и его нагружения в процессе строительства и последующей эксплуатации, результатов мониторинга в течение периода эксплуатации.

3. Разработать предложения о вариантах изменения конструктивных элементов водоприемника, позволяющих изменить НДС фундаментной плиты водоприемника и снизить растягивающие напряжения в арматуре до допустимых значений.

4. Выполнить расчеты вариантов на верифицированной модели, сопоставить результаты расчетов и выработать рекомендации для использования в проекте реконструкции водоприемника Загорской ГАЭС.

Конечно-элементная модель системы «Водоприемник-основание». Как отмечено выше, реверсивный водоприемник решен по схеме руслового здания ГЭС, и для его сопряжения с левобережной и правобережными дамбами,

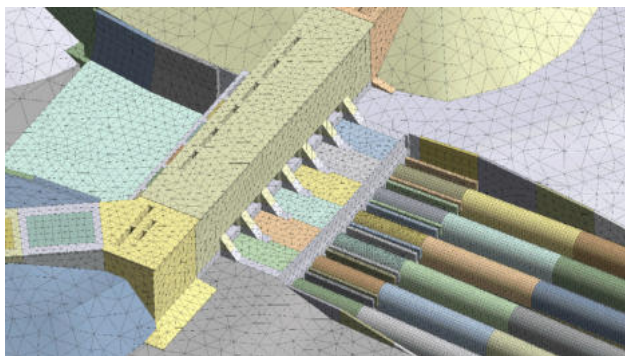


Рис. 2. Общий вид конечно-элементной модели водоприемного узла

Fig. 2. General view of the finite-element model of the intake structure unit

подводящим каналом и напорными водоводами с верховой и низовой сторон возведены массивные подпорные стены уголкового типа. Сооружения водоприемника возведены на нескальных грунтах глинистого и песчаного состава в глубоких котлованах на разных отметках, а нагрузки от элементов сооружений составляют 200-359 кПа. Таким образом, при численном моделировании напряженно-деформированного состояния системы «Водоприемник-основание» необходимо учитывать последовательность разработки котлованов и возведения сооружений – этапность строительства.

Для выполнения расчетных исследований разработана пространственная модель водоприемного узла. В разработанной пространственной модели водоприемный узел смоделирован совместно с массивом основания. При конечно-элементном моделировании был использован опыт расчетных исследований железобетонных ГЭС [3-11]. Общий вид конечно-элементной модели, включающей в себя водоприемник, примыкающие дамбы, сопрягающие подпорные стены, подводящий канал, компенсаторные секции напорного водовода и грунтовое основание, представлен на рисунке 2.

Водоприемник представляет собой ключевой элемент напорного фронта, сооруженный на сложном в инженерно-геологическом отношении участке основания со значительными вариациями деформационных свойств грунтов между соседними слоями в разрезе. Более детализированный разрез по зданию водоприемника показан на рисунке 3, где воспроизведена область, включающая в себя секции здания водоприемника, фундаментной плиты, примыкающий к ним участок понура, компенсаторные секции напорных водоводов, а также фрагмент основания. Блочное строение здания водоприемника с указанием номеров блоков бетонирования фундаментной плиты, реализованное в конечно-элементной модели, представлено на рисунке 4.

Результаты мониторинга состояния водоприемника. Мониторинг состояния водоприемника, в том числе фундаментной плиты, включает в себя наблюдения, обобщение и анализ данных по геодезической, фильтрационной, дистанционной (напряжения в бетоне и арматуре, температура, щелемеры) и другой установленной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Наблюдения по КИА начинались по мере разработки котлованов, возведения сооружений и установки проектной контрольно-измерительной аппаратуры.

Геодезические наблюдения за осадками водоприемника свидетельствуют об их слабой стабилизации, как показано на рисунке 5. При этом осадки к 2022 г. достигли значений 320-340 мм и имеют тенденцию роста со скоростью около 1.5 мм в год.

Длительные наблюдения за фильтрационным режимом под фундаментной плитой показывают увеличение противодавления воды в зимний период как в зоне всей подошвы фундаментной плиты, так и в раскрытых межблочных швах.

По результатам мониторинга состояния водоприемника и его фундаментной плиты

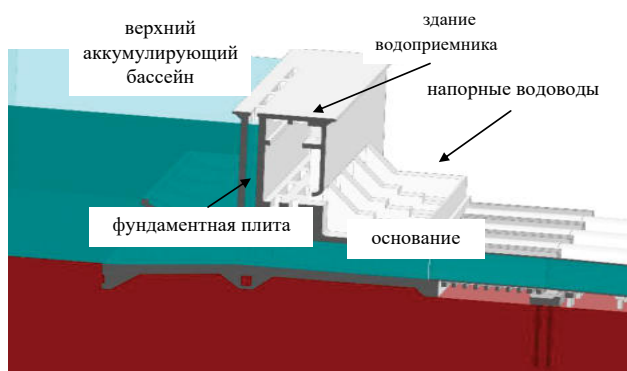


Рис. 3. Разрез по зданию водоприемника
Fig. 3. Cross-section of the water intake building

выявлены раскрытия строительных межблочных швов как следствие воздействия осадок, противодавления и порового давления. Особенно значительные раскрытия характерны для строительных швов между блоками № 4 и № 5 (шов № 4-5) и № 5 и № 6 (шов № 5-6), в которых были зафиксированы значительные растягивающие напряжения в арматуре по данным струнных преобразователей ПСАС [1, 2]. В частности, в арматуре, расположенной вдоль потока у нижней грани фундаментной плиты (шов № 5-6), пересекающей низовой межблочный строительный шов, напряжения превысили предел текучести, как следует из данных из рисунка 6.

Из данных рисунка 6 следует, что в 2012 г. напряжения в арматуре достигли расчетного сопротивления арматуры класса А-III ($R_s = 365$ МПа).

На рисунке 7 представлены зависимость роста напряжений в арматуре фундаментной плиты в шве № 5-6 от приращения осадок здания водоприемника и ее линейная аппроксимация.

Из данных рисунка 7 следует, что вплоть до достижения напряжениями значений расчетного сопротивления арматуры ($R_s = 365$ МПа) увеличение растягивающих напряжений в арматуре прямо пропорционально увеличению осадок водоприемника.



Рис. 4. Блочное строение здания водоприемника с указанием номеров блоков бетонирования фундаментной плиты
Fig. 4. Block structure of the water intake building showing the numbering of the foundation slab concreting blocks

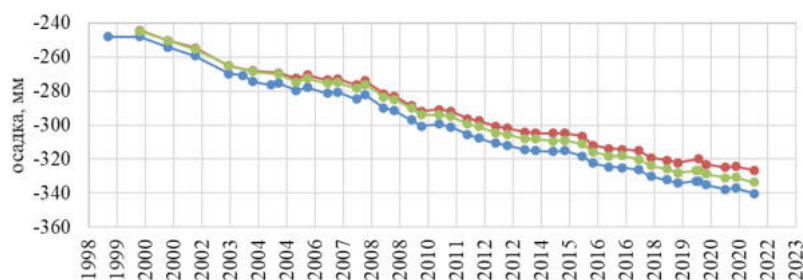


Рис. 5. Осадки фундаментной плиты здания водоприемника
Fig. 5. Vertical displacements of the water intake building's foundation slab

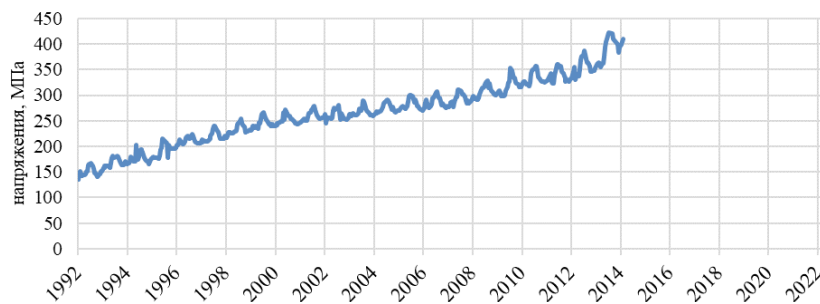


Рис. 6. Растягивающие напряжения в рабочей арматуре вдоль потока в строительном шве № 5-6

Fig. 6. Tensile stresses in the working reinforcement along the flow at construction joint No. 5-6

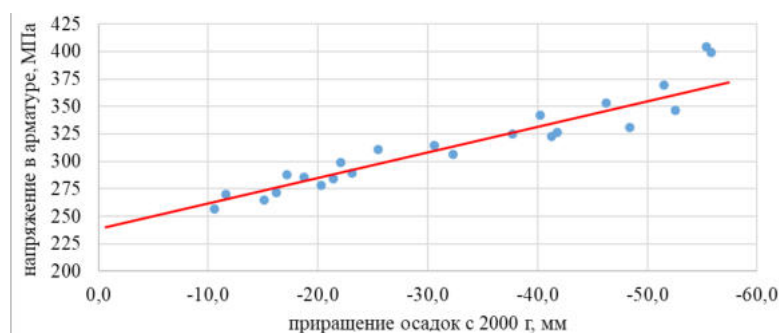


Рис. 7. Растягивающие напряжения в рабочей арматуре вдоль потока в строительном шве № 5-6 в зависимости от приращения осадок

Fig. 7. Tensile stresses in the main reinforcement along the flow at construction joint No. 5-6 depending on the vertical displacement increments

Результаты и их обсуждение. Таким образом, результаты натурных наблюдений за состоянием водоприемника указывают на продолжение роста вертикальных и горизонтальных перемещений, их слабозатухающий либо незатухающий характер; прогнозируются продолжение увеличения раскрытия межблочных швов и рост растягивающих деформаций в арматуре фундаментной плиты водоприемника, превышение растягивающими напряжениями в арматуре в районе швов № 5-6 и № 4-5 расчетного сопротивления и возможный ее переход на этих участках в состояние текучести.

Результаты расчетных исследований, обоснование предложенного усиления. Оценка НДС водоприемника выполнялась с учетом нелинейного и реологического поведения основания с целью анализа текущего состояния сооружения и прогноза его поведения после реализации мероприятий по усилению.

Расчеты напряженно-деформированного состояния здания водоприемника для текущего состояния подтвердили тенденцию раскрытия межблочных строительных швов в фундаментной плите, что приводит к увеличению напряжений в арматуре, расположенной как у верхней, так и у нижней грани.

Результаты расчетов вертикальных перемещений представлены на рисунке 8. Из данных рисунка следует, что осредненные осадки здания водоприемника составляют порядка 320 мм. При этом согласно данным натурных наблюдений фактические осадки также находятся в диапазоне 320-340 мм.

При увеличенном масштабе на рисунке 8 хорошо прослеживается раскрытие межблочных строительных швов при достигнутом уровне вертикальных перемещений с учетом

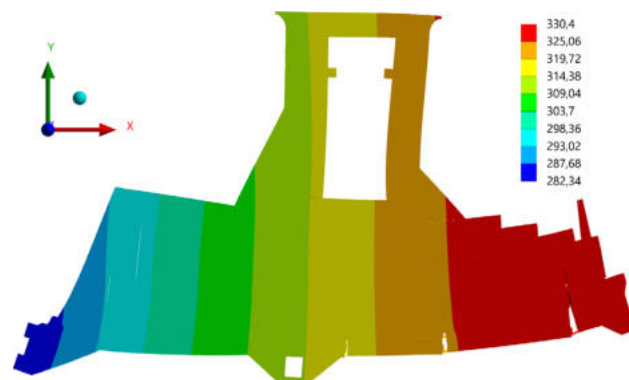


Рис. 8. Вертикальные перемещения (осадки) водоприемника, мм (масштаб 1:500)

Fig. 8. Vertical displacements (settlements) of the water intake, mm. Scale 1:500

неравномерности перемещений вследствие как неравномерности распределения нагрузок, передаваемых на основание, так и неравномерности деформационных и прочностных свойств грунтов основания. Раскрытие этих строительных межблочных швов приводит к увеличению напряжений в арматуре, что графически представлено на рисунке 9.

Расчетные напряжения в арматуре нижней грани фундаментной плиты в зоне строительного межблочного шва № 5-6, как показано на рисунке 9, превышают расчетное сопротивление арматуры класса А-III ($R_s = 365$ МПа), что также подтверждается данными натурных наблюдений по показаниям ПСАС.

Как следует из данных рисунка 9, напряжения в арматуре варьируются по длине стержней. Особенно высокие напряжения возникают в месте пересечения арматуры с межблочным строительным швом № 5-6 между блоками № 5 и № 6.

Продолжающаяся осадка водоприемника способствует увеличению ширины раскрытия

этих швов в фундаментной плите. Малое армирование и высокие напряжения в арматуре фундаментной плиты, особенно в зоне вертикального шва между блоками № 5 (переходной участок) и № 6 (концевой участок), указывают на необходимость усиления этих зон и водоприемника в целом.

Усиление предложено в виде двух направлений:

1. Удлинение контрфорсов путем дополнительного бетонирования блоков над строительными швами.

2. Усиление наклонными стержнями из базальтокомпозитной арматуры фундаментной плиты водоприемника в зоне строительного межблочного шва № 5-6.

Оптимизированный вариант усиления представлен на рисунке 10.

В связи с тем, что усиление состоит из дополнительных блоков бетонирования при удлинении контрфорсов, расчетные осадки секции увеличиваются с 320 до 340 мм. При этом

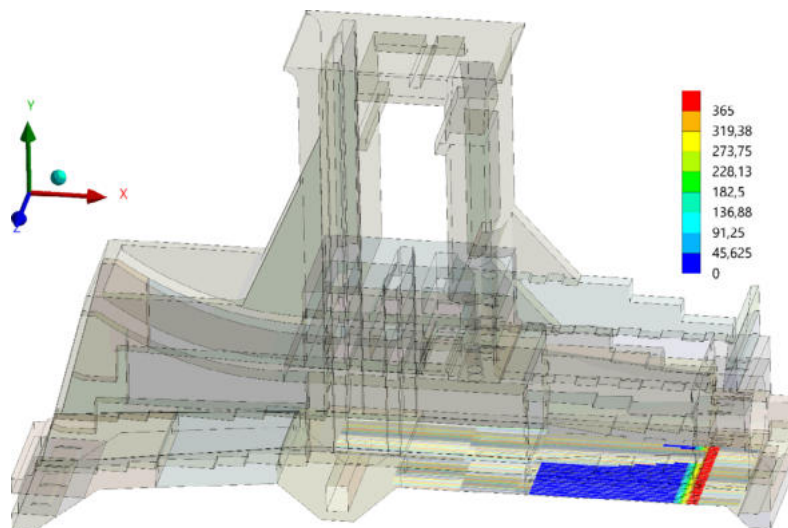


Рис. 9. Напряжения в арматуре у нижней грани блока № 5 вдоль потока, МПа

Fig. 9. Stresses in the reinforcement at the lower edge of block No. 5 along the flow, MPa

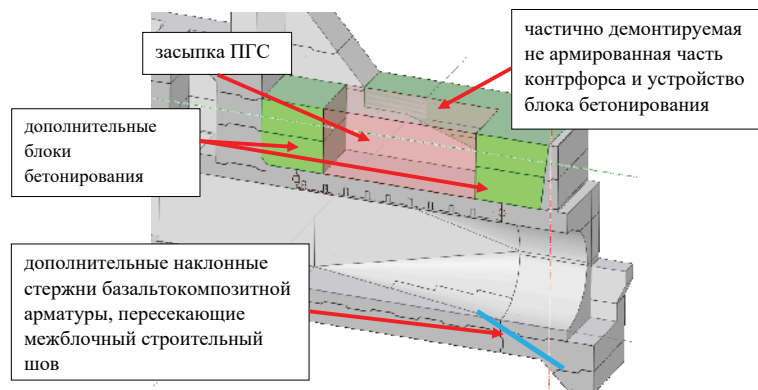


Рис. 10. Оптимизированный вариант усиления

Fig. 10. Optimized strengthening solution

растягивающие напряжения в нижней арматуре блока № 5 с учетом усиления существенно снижаются, как показано на рисунке 11, и не превышают расчетное сопротивление арматуры класса А-III ($R_s = 365$ МПа).

В арматуре у нижней грани фундаментной плиты напряжения достигают 276 МПа, как показано на рисунке 11а, и при усилении

не превышают расчетное сопротивление арматуры класса А-III ($R_s = 365$ МПа). При этом в дополнительных наклонных стержнях базальтокомпозитной арматуры усиления также возникают растягивающие напряжения за счет перераспределения напряжений и передачи части усилий с рабочей арматуры на дополнительную (рис. 11б).

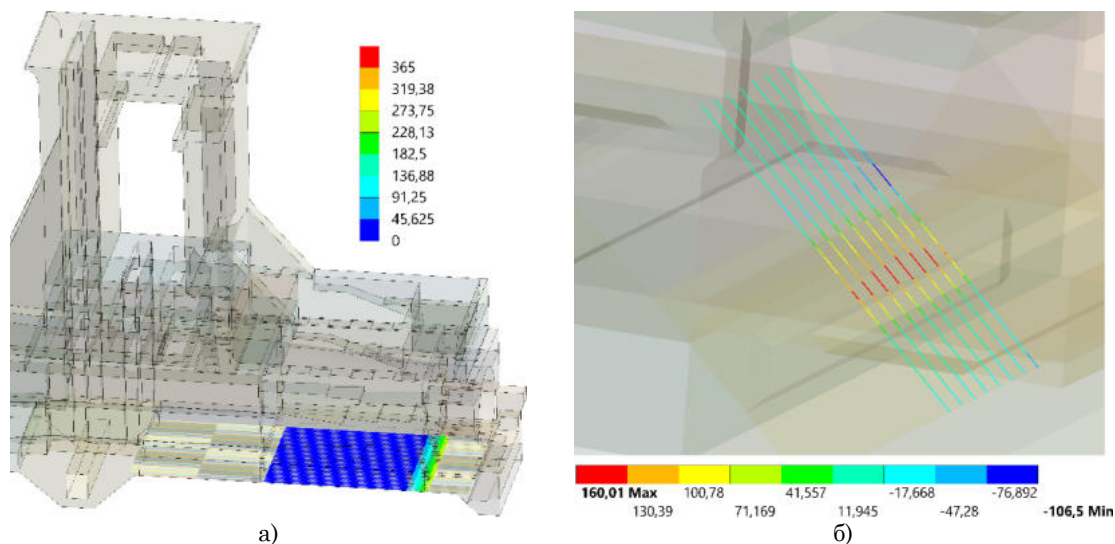


Рис. 11. Напряжения: а) в арматуре у нижней грани блока № 5 вдоль потока с учетом усиления; б) в наклонных стержнях, МПа

Fig. 11. Stresses: a) in the fittings at the bottom of block No. 5 along the flow with strengthening, b) in inclined bars, МПа

Выводы

Проведенные численные расчеты и анализ данных натурных наблюдений показали, что здание водоприемника Загорской ГАЭС находится в сложных инженерно-геологических условиях, способствующих развитию деформационных процессов. В частности, в зоне межблочных строительных швов фундаментной плиты между блоками № 5 и № 6 растягивающие напряжения в арматуре у нижней грани фундаментной плиты превышают расчетное сопротивление арматуры класса А-III ($R_s = 365$ МПа). Это превышение подтверждено результатами натурных наблюдений с использованием струнных датчиков ПСАС.

На основании выполненного анализа были получены следующие основные инженерные результаты:

- Продолжающаяся неравномерная осадка основания развивается на фоне слабо уплотненных нескальных грунтов и характеризуется длительной стабилизацией. Такая осадка оказывает влияние на перераспределение напряжений в конструкции, в том числе непосредственно влияет на раскрытие межблочных швов.

- Повышенное фильтрационное давление в зимний период, особенно под подошвой

фундаментной плиты и в зонах межблочных швов, обусловлено частичным замораживанием водопроницаемых слоев и ростом гидростатического давления. Эти явления усиливают влияние на напряженное состояние конструкции и способствуют дополнительному раскрытию межблочных швов.

- Раскрытие межблочных строительных швов, особенно в узле между блоками № 5 и № 6, ведет к локальному перераспределению усилий, в том числе к росту растягивающих напряжений в арматуре фундаментной плиты, что вызывает снижение несущей способности и долговечности сооружения.

Результаты пространственного нелинейного моделирования с учетом геомеханических и реологических свойств основания, этапности возведения сооружения и гидрологических воздействий подтвердили, что текущее техническое состояние конструкции требует усиления.

В качестве наиболее рационального и технологически реализуемого решения предложена комбинированная схема усиления, включающая в себя:

- дополнительное бетонирование над межблочными швами с удлинением контрфорсов,

обеспечивающее перераспределение изгибающих моментов и снижение локальных деформаций в фундаментной плите;

– установку наклонных базальтокомпозитных стержней, пересекающих швов № 5-6, обеспечивающих восприятие растягивающих усилий и компенсацию недостатка продольной арматуры.

Выполненное моделирование показало, что предложенные меры позволяют снизить напряжения в арматуре, превышающие 365 МПа, до безопасного уровня (порядка 276 МПа), а также ограничить раскрытие швов. При этом наблюдается перераспределение усилий в арматуре на бетонные элементы усиления, что способствует долговременной стабилизации конструкции.

Вертикальные перемещения при усилении железобетонным блоком бетонирования

Список использованных источников

1. Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Антонов А.С., Катунин А.Н. Проведение обследований фундаментной плиты водоприемника в проточной части водоводов № 5 и № 6 эксплуатируемой Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2019. № 4. С. 61-68.
2. Лисичкин С.Е., Котицына С.С. Особенности состояния фундаментной плиты водоприемника гидроаккумулирующей электростанции // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18, № 5. С. 428-437.
3. Беллендир Е.Н., Лисичкин С.Е., Рубин О.Д. Обоснование эксплуатационного состояния здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 // Гидротехническое строительство. 2020. № 10. С. 5-13. EDN: ILATSL
4. Рубин О.Д., Ильин Ю.А., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В. и др. Оценка напряженно-деформированного состояния и прочности компенсаторных секций КС-18 напорных трубопроводов Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. 2001. № 9. С. 16-19.
5. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Нефедов А.В. Исследования бетонных и железобетонных энергетических сооружений // Гидротехническое строительство. 1999. № 8/9. С. 22-28.
6. Рубин О.Д., Баклыков И.В., Антонов А.С., Лисичкин С.Е. и др. Инструментальные и расчетные исследования низовых подпорных стен Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2019. № 2. С. 80-88.
7. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пащенко Ф.А. Апробация методики расчета подпорных сооружений (на примере Загорской ГАЭС) // Доклады ТСХА. 2020. С. 75-79. URL: <https://elib.timacad.ru/dl/full/doctsha-293-1-2021-22.pdf/info>.
8. Ильин Ю.А., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Мукашов Р.З. Численное моделирование шлюзовых сооружений Бухтарминского и Усть-Каменогорского гидроузлов // Безопасность энергетических сооружений: Научно-технический и производственный сборник. М.: ОАО «НИИЭС», 2002. Вып. 10.
9. Ильин Ю.А., Лисичкин С.Е., Пономарев Д.И. Усиление железобетонных конструкций стен камеры шлюза № 4 канала имени Москвы // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Экологическая

возросли за счет увеличения собственного веса до 7%.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают эффективность предложенного усиления и обосновывают необходимость его реализации. Учет нелинейных и реологических свойств основания, этапности строительства, а также геологических особенностей района позволил получить фактическую картину НДС сооружения и обеспечить инженерно-обоснованное решение для повышения его надежности и долговечности.

В целом реализуемое усиление направлено не только на обеспечение надежности и безопасности сооружения в текущих условиях, но и на увеличение его эксплуатационного ресурса, что особенно актуально с учетом возраста и технического состояния сооружений.

References

1. Bellendir E.N., Rubin O.D., Antonov A.S., Katunin A.N. Conducting surveys of the foundation slab of the water intake in the flow part of water conduits No 5 and No 6 of the operated Zagorskaya PSPP // Priroobustroistvo. 2019. No 4. P. 61-68.
2. Lisichkin S.E., Kositsyna S.S. Features of the state of the foundation plate of the hydro-accumulating power station // Structural mechanics of engineering constructions and structures. 2022. V. 18. No 5. P. 428-437.
3. Bellendir E.N., Lisichkin S.E., Rubin O.D. Substantiation of the operational state of the building of the station hub of Zagorskaya PSPP-2. 2020. No 10. P. 5-13. EDN: ILATSL
4. Rubin O.D., Ilyin Yu.A., Lisichkin S.E., Nefedov A.V., Rozanova N.V., Chernenko V.N. Assessment of the stress-strain state and strength of the compensatory sections KS-18 of the pressure pipelines of the Zagorskaya PSPP // Hydraulic engineering, 2001, No 9, P. 16-19.
5. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Lyapin O.B., Nefedov A.V. Studies of concrete and reinforced concrete energy structures // Hydraulic engineering. 1999, No 8/9. P. 22-28
6. Rubin O.D., Baklykov I.V., Antonov A.S., Lisichkin S.E., Frolov K.E. Instrumental and calculated studies of the lower retaining walls of the Zagorskaya PSPP. // Prirodoobustroistvo. 2019, No 2, P. 80-88.
7. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A. Apr probation of the methodology for calculating retaining structures (on the example of the Zagorskaya PSPP) // Reports of the TSA. Conferences of the Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 2020, P. 75-79.
8. Ilyin Yu.A., Lisichkin S.E., Lyapin O.B., Mukashov R.Z. Numerical modeling of sluice structures of Bukhtarma and Ust-Kamenogorsk hydroelectric complexes // Scientific, technical and production collection. Iss. 10. OAO NIIES MOSCOW, 2002.
9. Ilyin Yu.A., Lisichkin S.E., Ponomarev D.I. Strengthening of reinforced concrete structures of the walls of the sluice chamber No 4 of the Moscow Channel // Collection of materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Ecological Stability of Natural Systems and the Role of Natural Resources in Its Support", Moscow; MGUP, 2003. P. 124-127.

устойчивость природных систем и роль природообустройства в ее обеспечении». М.: МГУП, 2003. С. 124-127.

10. Лисичкин С.Е., Пономарев Д.И., Мукашов Р.З., Богаченко С.В. Расчетная оценка состояния напорных водоводов ГАЭС с учетом длительных сроков эксплуатации // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов». М.: ФГОУ МГУП, 2008. Ч. II. С. 116-119.

11. Лисичкин С.Е., Пономарев Д.И., Мукашов Р.З., Лисичкин А.С. и др. Численное моделирование сталежелезобетонных гидротехнических сооружений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 4. С. 50-56.

Сведения об авторах

Евгений Николаевич Беллендир, д-р техн. наук, генеральный директор АО «Институт Гидропроект»; SPIN-код: 7975-2841, AuthorID: 272223; e.bellendir@hydroproject.ru

Олег Дмитриевич Рубин, д-р техн. наук, профессор; профессор НИУ МГСУ, SPIN-код: 2720-6627, AuthorID: 423001, Scopus 7004427140, ResearcherID AAE-6688-2022, ORCID: 0000-0002-0630-3251; rubinod@niies.ru

Андрей Викторович Александров, канд. техн. наук, начальник отдела АО «Институт Гидропроект»; SPIN-код: 4152-5972, AuthorID: 1206829, a.aleksandrov@hydroproject.ru

Игорь Вячеславович Баклыков, канд. техн. наук, главный специалист филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»; SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462; Scopus 56538614100; ResearcherID OML-7548-2025; ORCID: 0000-0002-8374-9046; moscow_igor88@mail.ru

Сергей Евгеньевич Лисичкин, д-р техн. наук, главный специалист филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»; SPIN-код: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus 660391907, ORCID: 0000-0003-2761-331X; lisichkin1989@rambler.ru

Вклад авторов

Е.Н. Беллендир: концептуализация, руководство разработкой и обоснованием технических решений, анализ результатов расчетных исследований и формирование выводов.

О.Д. Рубин: концептуализация, руководство разработкой и обоснованием технических решений, анализ результатов расчетных исследований, формирование выводов, написание рукописи.

А.В. Александров: разработка и обоснование технических решений, формирование выводов.

И.В. Баклыков: проведение расчетных исследований для обоснования технических решений.

С.Е. Лисичкин: участие в разработке и обосновании технических решений, редактирование рукописи.

Поступила в редакцию / Received 04.09.2025

Поступила после рецензирования / Received 27.11.2025

Принята к публикации / Accepted 17.12.2025

10. Lisichkin S.E., Ponomarev D.I., Mukashov R.Z., Bogachenko S.V. "Calculated assessment of the state of pressure water conduits of PSPs taking into account long service life" // Proceedings of the international scientific and practical conference "The role of land reclamation and water management in the implementation of national projects". Part II. M.: FGOU MGUP, 2008, P. 116-119.

11. Lisichkin S.E., Ponomarev D.I., Mukashov R.Z., Lisichkin A.S., Bogachenko S.V. Numerical modeling of steel-reinforced concrete hydraulic structures // Structural mechanics of engineering constructions and structures, № 4. P. 50-56.

Author information

Evgeniy N. Bellendir, DSs (Eng), General director, JSC "Institute Hydroproject"; SPIN code: 7975-2841, AuthorID: 272223; e.bellendir@hydroproject.ru

Oleg D. Rubin, DSs (Eng), professor, Professor of the National Research University MGSU; SPIN-code: 2720-6627, AuthorID: 423001, Scopus 7004427140, ResearcherID AAE-6688-2022, ORCID: 0000-0002-0630-3251; rubinod@niies.ru

Andrey V. Aleksandrov, CSs (Eng), Head of department, JSC "Institute Hydroproject", SPIN-code: 4152-5972, AuthorID: 1206829, a.aleksandrov@hydroproject.ru

Igor V. Baklykov, CSs (Eng), Chief specialist, Branch of JSC "Institute Hydroproject" – "NIIES", SPIN-code: 7987-9045, AuthorID: 915462; Scopus 56538614100; ResearcherID OML-7548-2025; ORCID: 0000-0002-8374-9046; moscow_igor88@mail.ru

Sergey E. Lisichkin, DSs (Eng), Chief expert, Branch of JSC "Institute Hydroproject" – "NIIES", SPIN-code: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus 660391907, ORCID: 0000-0003-2761-331X; lisichkin1989@rambler.ru

Contribution of the authors

E.N. Bellendir: conceptualization, management of the development and justification of technical solutions, analysis of the results of computational studies and formation of conclusions.

O.D. Rubin: conceptualization, management of the development and justification of technical solutions, analysis of the results of computational studies, formation of conclusions, writing a manuscript.

A.V. Aleksandrov: development and justification of technical solutions, formation of conclusions.

I.V. Baklykov: conducting computational studies to substantiate technical solutions.

S.E. Lisichkin: participation in the development and justification of technical solutions, editing the manuscript.