

gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura. – 2011. – № 1. – S. 100-105.

9. **Abdrakov F.K., Pankova T.A., Shcherbakov V.A.** Faktory, vliyayushchie na ekspluatatsionnoe sostoyanie gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Agrarny nauchny zhurnal. – 2016. – № 10. – S. 56-61.

10. **Mikheeva O.V., Pankova T.A.** K voprosu ob ekspluatatsionnoj nadezhnosti gruntovykh plotin. // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N.I. Vavilova. – 2012. – № 7. – S. 56-60.

11. **Volkov V.I., Snezhko V.L.** Statisticheskie metody opredeleniya pokazatelej nadezhnosti sooruzhenij nizkonapornykh gidrouzlov. // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – № 5. – S. 20-26.

12. **Snezhko V.L., Kozlov D.V., Volkov V.I.** Prognoz yrovnya bezopasnosti nizkonapornykh i beshozyajnykh gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2018. – № 11. – S. 35-41.

13. Razvitie melioratsii zemel sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v Rossii. / A.V. Kolganov, N. v. Sukhoj, V.N. Shkura; pod red. V.N. Shchedrina. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. – 222 s.

14. Ob utverzhdenii sostava, formy predstavleniya svedenij o gidrotehnicheskom sooruzhenii, neobhodimyyh dlya formirivaniya i vedeniya Rossijskogo registra gidrotehnicheskikh sooruzhenij, i pravil ee zapolneniya;

Prikaz Federalnoj sluzhby po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 25 aprelya 2016 goda N159 [Elektronnyy resurs]: Dostup iz sistemy GARANT.

The material was received at the editorial office
06.02.2019 г.

Information about the authors

Snezhko Vera Leonidovna, doctor of technical sciences, professor, head of the chair information technologies in construction, Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Moscow, Russian Federation: 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44; e-mail: VL_Snejko@mail.ru

Sidorova Svetlana Alexeevna, candidate of technical sciences, leading researcher of the GTS safety of the hydro reclamation complex; FSBSI «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., d. 44, corpus 2; e-mail: s_sidorova08@inbox.ru

Simonovich Olga Sergeevna, senior lecturer the chair information technologies in construction, Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Moscow, Russian Federation: 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44; e-mail: VL_Snejko@mail.ru

УДК 502/504: 627.8

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-80-88

О.Д. РУБИН¹, И.В. БАКЛЫКОВ¹, А.С. АНТОНОВ^{1,2}

¹ Филиал АО «Проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект им. С.Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», г Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Московский Государственный Строительный Университет, г Москва, Российская Федерация

С.Е. ЛИСИЧКИН

ООО «Инженерный Центр Сооружений, Конструкций и Технологий в Энергетике», г. Москва, Российская Федерация

К.Е. ФРОЛОВ

Публичное акционерное общество «Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро», г. Москва, Российская Федерация

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗОВЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

В настоящей работе рассмотрены исследования подпорных стен уголкового типа в составе водоприемного узла Загорской ГАЭС. Рассмотрена возможность интеграции результатов исследований в программно-аппаратные и информационно-диагностические системы. В рамках исследований проводились визуальные обследования состояния конструкций, после чего инструментальные исследования неразрушающими методами контроля и методом «разгрузки арматуры». Для оценки прочностных параметров бетона применялся молоток Шмидта и ультразвуковой дефектоскоп

Пульсар-2.2. При исследованиях методом «разгрузки арматуры» получены фактические значения напряжений в вертикальной арматуре лицевой грани подпорных стен. Разработаны пространственные модели трёх наиболее высоких подпорных стен, включая основание и грунты засыпки. Расчёты выполнялись методом конечных элементов. При пересчёте сжимающих напряжений в арматуре у лицевой грани стен в растягивающие напряжения в арматуре у тыловой грани стен получены расчётные значения, близкие к пределу текучести для первого ряда арматурных стрежней.

Гидротехнические сооружения (ГТС), подпорные стены, железобетонные конструкции, напряжения в арматуре, напряжённно-деформированное состояние (НДС), метод конечных элементов.

Введение. Выполненное исследование позволило определить фактическое состояние низовых подпорных стен водоприемника в зоне корневого сечения, полученные результаты исследований возможно интегрировать в программно-аппаратный комплекс (ПАК) [1-3] и информационно-диагностические системы, такие как БИНГ. В объём исследуемых элементов входят низовые подпорные стены уголкового типа. Для определения фактического состояния проведены как инструментальные исследования методом «разгрузки арматуры» и неразрушающими методами контроля прочности бетона, так и визуальное обследование напорной грани и анкерных тяг.

После проведения натурных исследований разработаны пространственные математические модели низовых подпорных стен водоприемника, учитывающие контакт «бетон-основание» и «бетон-засыпка», исследование выполнялось методом конечных элементов. Полученные фактические значения напряжений в арматуре лицевой грани позволили определить расчётные значения в вертикальной арматуре тыловой грани. Полученные результаты проведённых исследований, а также уточнённые твердотельные и конечно-элементные модели

рекомендованы для интеграции в ПАК Загорской ГАЭС.

Материалы и методы. Для обследования состояния сооружений подпорных стен были использованы методы визуального обследования, неразрушающего и разрушающего контроля. Метод разрушающего контроля был выполнен по методике «разгрузки арматуры». В качестве поверочных расчётов были выполнены исследования на основе математических моделей методом конечных элементов.

Сопряжение водоприёмника Загорской ГАЭС с правобережной и левобережной частями дамбы верхнего водохранилища выполнено посредством низовых подпорных стен уголкового типа, которые возведены вдоль трассы напорных водоводов. Низ фундаментной плиты низовых стен водоприемника расположен горизонтально, при этом высота стен ЛН-1 и ПН-1 постоянна, а высота остальных уменьшается по мере удаления от здания водоприёмника вдоль потока, соответствующего заложению низового откоса дамбы верхнего водохранилища. По высоте стенки разбиты на блоки бетонирования.

Высота правобережных и левобережных нижних подпорных стенок представлена в таблице 1.

Таблица 1

Высоты правобережных и левобережных подпорных стен

Правобережные нижние подпорные стенки	Высота (м)	Левобережные нижние подпорные стенки	Высота (м)
ПН-1	17,0	ЛН-1	17,0
ПН-2	17,0...12,6	ЛН-2	17,0...13,9
ПН-3	12,6...9,4	ЛН-3	13,9...11,5
ПН-4	9,4...5,0	ЛН-4	11,5...6,6
ПН-5	5,0...2,5	ЛН-5	6,6...3,4
ПН-6	2,5...0,6	ЛН-6	3,4...1,5

Основание подпорных стен водоприёмника представлено верхней разуплотнённой частью морены (g1QIIms). В подошве

морены на глубине около 30 м залегает 10-ти метровый слой «зелёных глин» с включениями песчаников (K2st). На глубине около

40 м они подстилаются сеноманскими песками (K2cm).

Для исследования состояния низовых подпорных стен водоприемника проводилось визуальное обследование и определение фактических напряжений в вертикальной сжатой арматуре лицевой грани методом «разгрузки арматуры» [2]. Работы выполнялись для стен ЛН-1, ЛН-2, ЛН-3 и ПН-1, ПН-2. В ходе визуального обследования на лицевой грани подпорных стен обнаружены горизонтальные трещины, направленные вдоль потока. Для оценки прочностных параметров бетона применялись неразрушающие методы контроля

с использованием склерометра и ультразвукового дефектоскопа Пульсар-2.2. Измеренные значения прочности бетона в исследуемых подпорных стенах находятся в диапазоне от 22,9 МПа до 42,7 МПа, что выше проектных значений.

Подпорные стены ЛН-2 и ЛН-3 имеют пониженную на 3 м относительно верха засыпку грунта и анкерные тяги, установленные во время строительства. Проектные значения натяжения анкерных тяг при монтаже составляли 1 тс, после чего временный котлован засыпался до проектных отметок и натяжения увеличивались до 5 тс, схема установки приведена на рисунке 1.

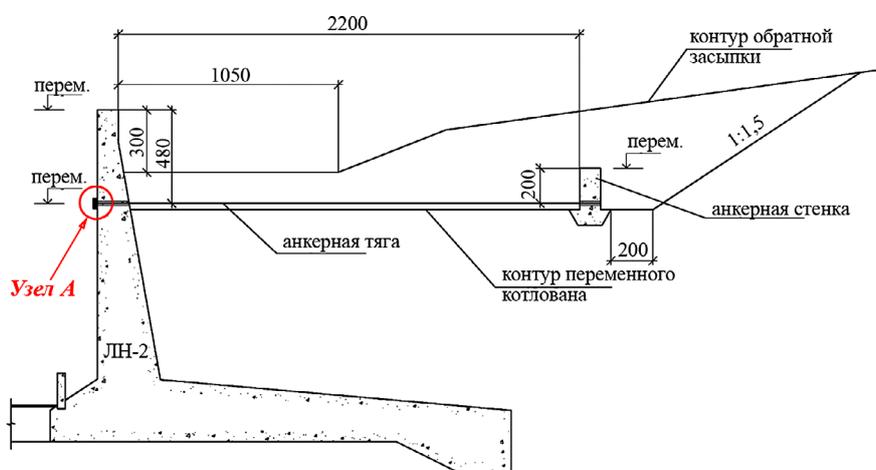


Рис. 1. Схема установки анкерных тяг

В результате проведенного визуального обследования было выявлено, что часть анкерных тяг не включена в работу. Анкерные гайки

отстают от граней подпорных стен ЛН-2 и ЛН-3, зазоры между гайками и подпорными стенами составляют от 5 до 50 мм (рис. 2).

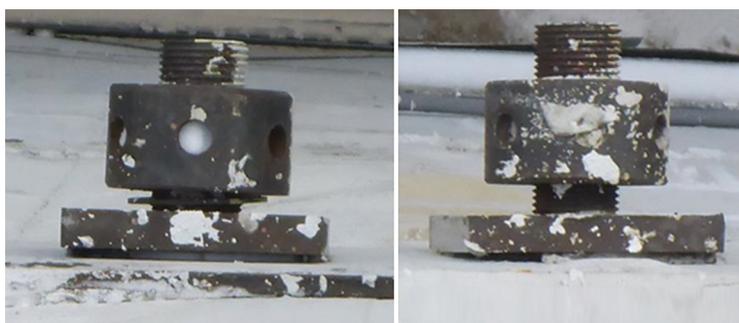


Рис. 2. Узел А, состояние гаек на анкерных тягах подпорных стен при визуальном обследовании

Для проведения исследований методом «разгрузки арматуры» было сделано 9 штраб. Для подпорной стены ПС-1 штраба выполнена на высоте 0,3 м от корневого сечения, для остальных исследуемых стен на высоте 1,3 м. По длине стенки 1-я штраба расположена на расстоянии 1 м

от температурного шва, вторая – на расстоянии 4-5 м от неё.

При вскрытии бетона установленная арматура классифицирована как А-II диаметром 40 мм, что соответствует проекту. Для определения деформаций на каждый из стержней устанавливался преобразователь линейных

деформаций струнный (ПЛДС-150) и арматурный стержень разрезался. По показаниям ПЛДС-150 до и после разрезки арматуры определялась относительная деформация стержня,

на основе которой пересчитывались фактические напряжения. Процесс съёма показаний и геометрические параметры штраба представлены на рисунке 3.

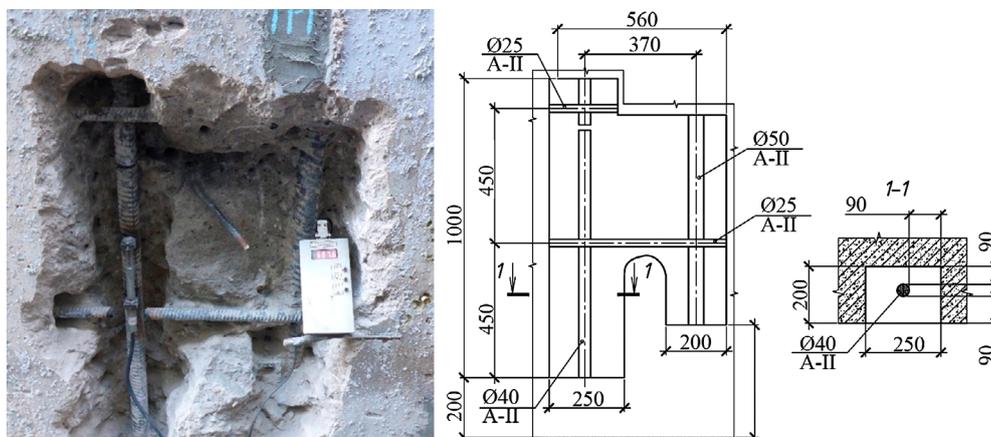


Рис. 3. Процесс съёма показаний при «разгрузке арматуры» и геометрические параметры штрабы № 1, стена ПН-1

Величины напряжений, полученные методом «разгрузки арматуры» представлены в таблице 2. Характерной особенностью являются полученные смещения арматурных стержней в плоскости и из плоскости подпорных стен, и соответственно, различные значения напряжений в арматуры в двух штрабах, расположенных на одной подпорной стенке. Различие в результатах

для левобережных подпорных стен объясняется включением в работу отдельных анкерных тяг в верхней части стенок, которые уменьшают нагрузку со стороны засыпки и тем самым снижают вертикальное сжатие в арматуре лицевой грани. На рисунке 4 представлены фотографии и чертежи смещений арматурного стержня для левобережной подпорной стенки ЛН-1.

Таблица 2

Результаты определения напряжений методом «разгрузки арматуры»

Стенка	Штраба	Напряжения МПа	Смещение арматурного стержня в штрабе	
			из плоскости стенки	в плоскости стенки
ПН-1	штраба 1	-60,2	—	—
	штраба 2	-57,6	—	—
ПН-2	штраба 1	-54,1	10 мм	4 мм
	штраба 2	-58,6	—	—
ЛН-1	штраба 1	-90,2	12 мм	4 мм
	штраба 2	-120,9	2 мм	2 мм
ЛН-2	штраба 1	-60,1	4 мм	2мм
	штраба 2	-100,6	1 мм	5 мм
ЛН-3	штраба 1	-58,6	7 мм	2 мм

Для поверочных расчётов состояния подпорных стен использовались математические модели расчётного модуля ПАК Загорских ГАЭС [3]. Расчётные исследования проведены для определения растягивающих напряжений в тыловой рабочей арматуре, в качестве исходных данных для верификационных расчётов использовались материалы натурных исследований [4; 6-11]. Математические конечно-элементные модели были актуализированы

с учётом трещин по горизонтальным межблочным швам и сечениям между ними, дополнительно в явном виде закладывалась вертикальная стержневая арматура у лицевой и тыловой грани стенок. Площадь сечения вертикальной сжатой арматуры у лицевой грани составляет 37,79 см²/м.п, а площадь растянутой арматуры у тыловой грани 161,39 см²/м.п (процент армирования 0,46%). Математическая модель стенки ЛН-1 представлена на рисунке 5.

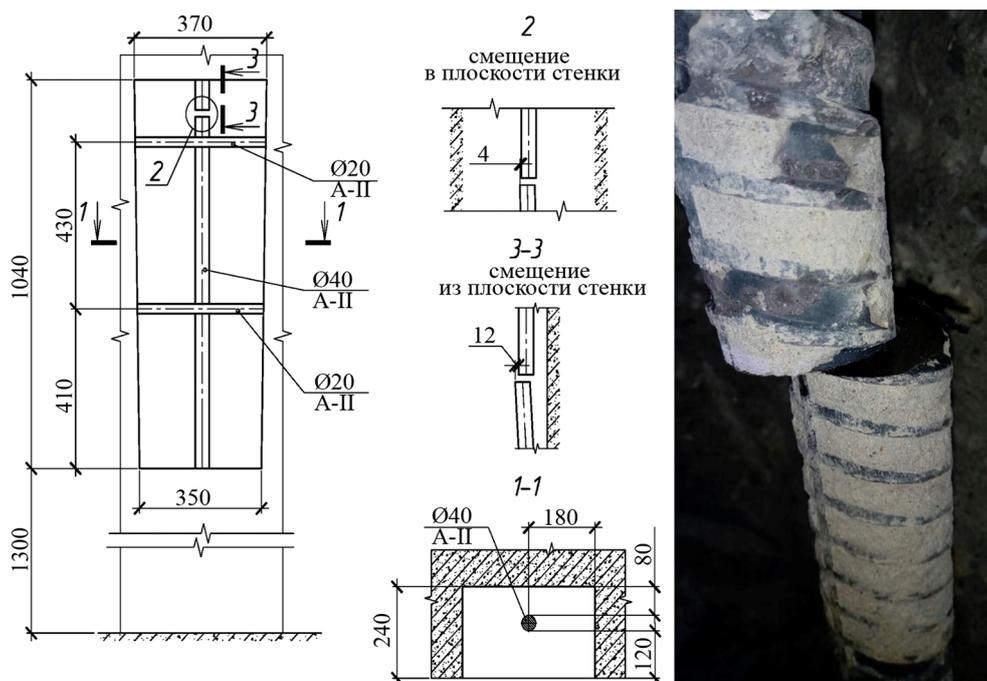


Рис. 4. Смещения частей арматурного стержня для ЛН-1 (мм)

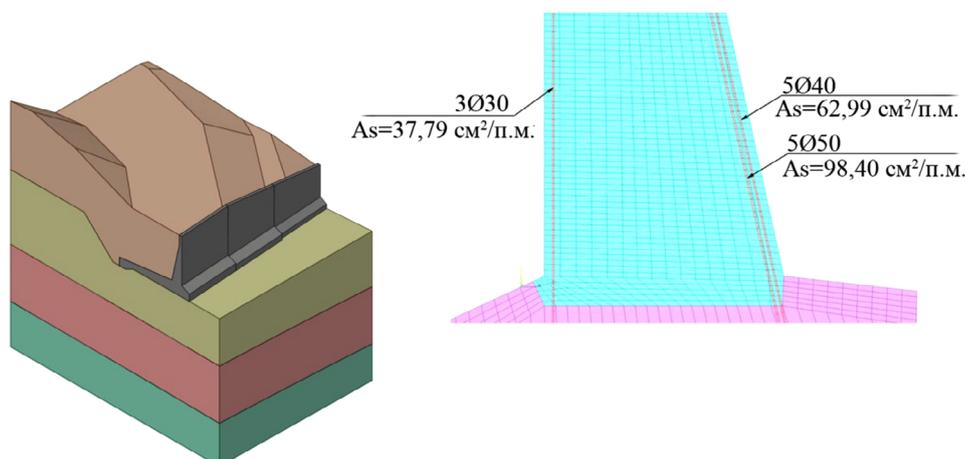


Рис. 5. Математическая модель подпорных стен

Инструментальные исследования показали, что величина защитного слоя в подпорных стенках различна, из-за этого высота сжатой зоны бетона определялась расчётным методом. Для этого моделировалось распространение горизонтальных трещин со стороны тыловой грани до получения треугольной эпюры вертикальных напряжений в сжатой зоне бетона.

Результаты исследований показали, что внешняя нагрузка на стенку, требуемая для получения сжимающих напряжений в вертикальной рабочей арматуре, составляет 0,599 МПа, что почти в 2 раза превышает проектные значения. При проектной нагрузке на стенку в 0,299 МПа, напряжения в сжатой арматуре составляют 54,8 МПа. На рисунке 6 представлено сравнение

полученных значений нагрузки от грунтов на подпорную стенку, увеличение значений нагрузок объясняется процессами консолидации грунтов дамбы [5].

При увеличенных значениях нагрузок, подтверждаемых методом «разгрузки арматуры», растягивающие напряжения на первом ряду арматуры на тыловой грани стенки составили +305 МПа, что превышает предел текучести арматуры на растяжение для класса А-II (не менее 294 МПа) [1]. Результаты расчётов для стенки ЛН-1 приведены в таблице 3, в качестве исходного знания фактических сжимающих напряжений на лицевой грани принято среднеарифметическое значение напряжений, полученное по двум штрафам методом «разгрузки арматуры».

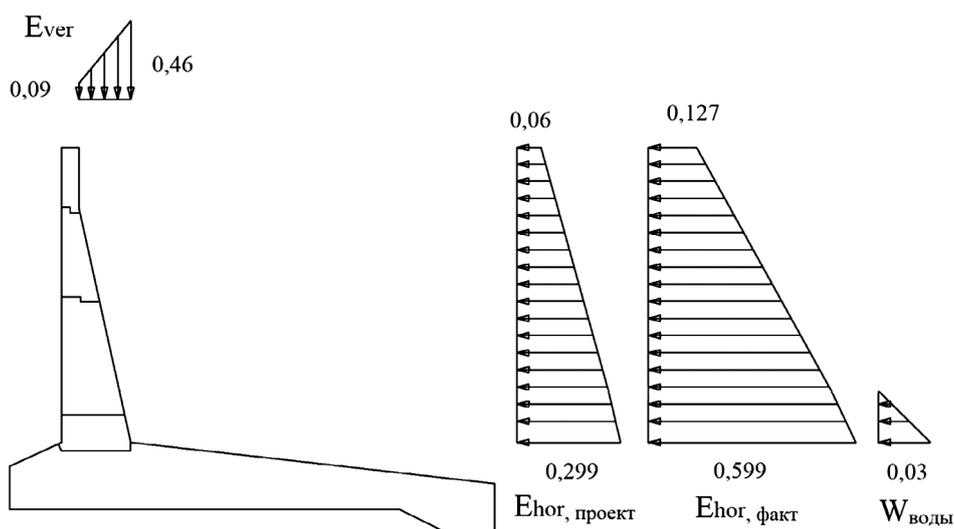


Рис. 6. Нагрузки на тыловую грань подпорной стены ЛН-1, МПа

Таблица 3

Напряжения в рабочей арматуре подпорной стены ЛН-1

Сочетание нагрузок	Напряжения в сжатой арматуре, МПа	Напряжения в растянутой арматуре, МПа
При проектном горизонтальном давлении	- 54,8	+152,8
При фактических напряжениях в сжатой арматуре лицевой грани	-109,5	+305,0

Аналогично проведены расчёты для подпорных стен ЛН-2 и ЛН-3, для которых получены меньшие сжимающие напряжения. Вычисленные значения растягивающих напряжений на тыловой грани составили +150 МПа. Для проверки напряжений, близких к пределу текучести арматуры класса А-II, целесообразно проведение эксперимента методом «разгрузки арматуры» на тыловой грани, путём отрывки шурфа, в зоне секций ЛН-1 и ЛН-2, либо на физических моделях подпорных стен с моделированием фактических внешних нагрузок и воздействий.

Для дальнейшего мониторинга состояния низовых подпорных стен, на разрезанную арматуру установлены преобразователи силы арматуры струнные (ПСАС-40).

Выводы

1. Выполнено визуальное и инструментальное обследование низовых подпорных стен водоприёмного узла Загорской ГАЭС, для определения фактического напряжённо-деформированного состояния (НДС).

2. В ходе визуального обследования обнаружены горизонтальные продольные трещины, направленные вдоль потока.

3. Визуальное обследование показало, что анкерные тяги левобережных

подпорных стен частично включены в работу, зазор между анкерными гайками и подпорными стенами составляет от 5 до 50 мм. В подпорной стенке ЛН-2 из 9 анкерных тяг 3 включены в работу, в ЛН-3 из 9 анкерных тяг 1 включена в работу.

4. Проектная эксплуатация анкерных тяг предполагается для недопущения развития непроектных ситуаций, однако они не оснащены постоянно действующей контрольно-измерительной аппаратурой (КИА) для оценки величин затяжек.

5. Инструментальное обследование бетона конструкций неразрушающими методами контроля показало, что прочность бетона подпорных стен соответствует либо выше проектных значений.

6. В левобережных подпорных стенах зафиксированы различные значения сжимающих напряжений в арматуре. К примеру, для ЛН-2 сжимающие напряжения составляют - 60,1 и -100,6 МПа. Характерной особенностью является то, что большие значения фиксируются в штрабах, расположенных в более низких областях подпорных стен, что может объясняться включением в работу анкерных тяг частично разгружающих лицевую грань конструкций. Полученные в ходе натурных исследований методом «разгрузки арматуры» значения

не превышают нормативное сопротивление сжатию арматуры класса А-II.

7. Расчётные исследования с применением моделей РМ ПАК показали, что растягивающие напряжения в тыловой арматуре стенки ЛН-1 могут составлять величину в +305 МПа, что выше предела текучести для арматуры класса А-II (295 МПа). Для остальных подпорных стен растягивающие напряжения не превосходят +152,5 МПа.

8. Для оценки фактических напряжений на тыловой грани низовых подпорных стен целесообразна разработка шурфа в насыпке, либо разработка физических моделей подпорных стен с моделированием фактических внешних нагрузок и воздействий.

9. На разрезанную арматуру установлены ПСАС-40. При интеграции контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) с объединённой Информационно-Диагностической Системы (ИДС), входящей в состав ПАК Загорских ГАЭС, возможно оценивать динамику изменения состояния подпорных стен.

Библиографический список

1. СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. <http://docs.cntd.ru/document/1200095549>

2. Способ измерения начального напряжения состояния арматуры эксплуатируемого железобетонного сооружения: Пат. 2099676 РФ: МПК G01L1/00, G01L1/22 / Николаев В.Б.; заявитель и патентообладатель Московское отделение Государственного научно-исследовательского проектно-конструкторского и изыскательского института «Атомэнергопроект» – № 95106745/28; заявл. 03.05.1995; опубл. 20.12.1997

3. Разработка расчётного модуля программно-аппаратного комплекса для обеспечения безопасности взаимодействующих ГТС. / Рубин О.Д., Антонов А.С., Беллендир Е.Н. и др. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 2. С. 96-105.

4. **Клейн Г.К.** Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196. с.

5. **Снитко Н.К.** Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок: учебник для вузов. – Л.: Стройиздат, 1970. – 208 с.

6. **Николаев В.Б., Гун С.Я., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б.** Прочность железобетонных подпорных стенок // Гидротехническое строительство. – 1988. – № 10. – С 54-58.

7. **Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б.** Поперечное армирование массивных конструкций энергетических сооружений. // Энергетическое строительство. – 1989. – № 11. – С. 40-43.

8. **Семенюк С.Д., Котов Ю.Н.** Железобетонные подпорные стены. // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018. – № 4(61). – С. 86-101.

9. **Лисичкин С.Е., Королев Л.В., Скворцов А.Г.** Совершенствование расчета железобетонных конструкций, ослабленных продольными строительными швами. / Экспресс-информация «Строительство и архитектура». Сер. Строительные конструкции и материалы, вып.3. – М.: ВНИИТПИ, 1999. – С. 1-4.

10. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния подпорной стенки первого яруса ЛВ-1 водоприемника Загорской ГАЭС, в том числе с учетом данных синхронных замеров при суточном изменении уровня верхнего аккумулирующего бассейна. / Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В. и др. / Сб. Безопасность гидротехнических сооружений. вып. 18. – М.: ОАО «НИИЭС», 2013. – С. 38-50.

11. **Fedorova N.V., Gubanova M.S.** Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading. Russian journal of building construction and architecture. Number 2(38), 2018, pp. 6-18.

Материал поступил в редакцию 22.02.2019 г.

Сведения об авторах

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, директор Филиала АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» – «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское ш., 2; e-mail: o.rubin@hydroproject.ru

Антонов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, директор аналитического центра безопасности оборудования и ГТС, филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» – «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»), старший преподаватель кафедры гидравлики и гидротехнического строительства (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru

Лисичкин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, заместитель Генерального директора ООО «Инженерный Центр

Сооружений, Конструкций и Технологий в Энергетике»; 125364, г. Москва, ул. Свободы, д. 35; e-mail: cskte@mail.ru

Баклыков Игорь Вячеславович, ведущий инженер Филиала АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» – «Научно-Исследовательский

Институт Энергетических Сооружений»; 125080, г. Москва, Волоколамское ш., 2; e-mail: i.baklykov@hydroproject.ru

Фролов Кирилл Евгеньевич, заместитель генерального директора по научно-проектной деятельности, ПАО «РусГидро»; 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д. 7. e-mail: frolovke@gidroogk.ru

O.D. RUBIN¹, I.V. BAKLYKOV¹, A.S. ANTONOV^{1,2}

¹ Branch of JSC «Design and survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Zhuk» – «Research institute of energy facilities», Moscow, Russian Federation

² Federal state budgetary educational institution Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

S.E. LISICHKIN

LLC «Engineering center of facilities, structures and technologies in power engineering», Moscow, Russian Federation

K.E. FROLOV

Public company «Federal hydro generating company – Rushydro», Moscow, Russian Federation

INSTRUMENTAL AND CALCULATED INVESTIGATIONS OF LOWER RETAINING WALLS OF THE ZAGORSKAYA PSPP

This paper considers investigations of corner-type retaining walls as part of the Zagorskaya PSPP. The possibility of integrating the research results into software, hardware and informational diagnostic systems is considered. Within the research visual inspections of the structures were carried out followed by instrumental surveys using non-destructive testing methods and method of «reinforcement unloading». To assess strength parameters of the concrete a Schmidt hammer and an ultrasonic flaw detector Pulsar-2.2 were used. In investigations by the «unloading of reinforcement» method the actual values of stresses in the vertical reinforcement of the front face of the retaining walls were obtained. A spatial model was developed for three highest retaining walls including the foundation and backfill soils. The calculations were carried out by the finite element method, when recalculating the compressive stresses on the front face into the tensile stresses of the rear face, the calculated values were close to the yield strength of the first row of reinforcing bars.

Hydrotechnical structures, HPS, reinforced concrete structures, stresses in reinforcement, mode of deformation, finite element method.

References

1. SP41.13330-2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzhenij.
2. Sposob izmereniya nachalnogo napyazheniya sostoyaniya armatury ekspluatiruemogo zhelezobetonного sooruzheniya pat 2099676 RosFederatsiya MPK G01L100 G01L122 Nikolaev V.B. zayaviteli patentoobladatel Moskovskoe otdelenie Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo proektno-konstruktorskogo i izyskatel'skogo institute Atomenergoproekt – 9510674528 zayavl 03. 05. 1995 publ 20. 12. 1997.
3. Razrabotka raschyotnogo modulya programmno-apparatnogo kompleksa PAK dlya obespecheniya bezopasnosti vzaimovliyayushchih GTS GEHS GAEHS / E.N. Bellendir, O.D. Rubin, S.E. Lisichkin, A.S. Antonov, E.M. Kobochkina, O.N. Kotlov. // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij 2019, № 2 pp.
4. Klejn G.K. Raschet podpornyh sten // Vysshaya shkola M. 1964, 196 pp.
5. Snitko N.K. Stiches koedinamicheskoe koedav leniegrun toviraschetpodpornyhstenok// uchebnik dlya vuzov L.: Strojizdat 1970, 208 p
6. Prochnost zhelezobetonnykh podpornyh stenok. / Nikolaev V.B., Gun S.Ya., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo 10. 1988 pp. 54-58.
7. Lisichkin S.E., Lyapin O.B. Poperechnoe armirovanie massivnykh konstrukcij energeticheskikh sooruzhenij// Energeticheskoe stroitelstvo 11 1989. S. 40-43.
8. Semenyuk S.D., Kotov Yu.N. Zhelezobetonnye podpornye steny. // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta 4612018, pp. 86-101.
9. Lisichkin S.E., Korolev L.V., Skvortsov A.G. Sovershenstvovanie rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij oslablennykh prodolnymi stroitel'nymi shvami // Ekspress-informatsiya. Stroitelstvo i arhitektura. Ser.

Stroitelnye konstrukcii i materialy. Vyp. 3. VNIINTPI M. 1999, pp. 1-4.

10. Raschetnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoj stenki pervogo yarusy LV-1 vodopriemnika Zagorskoj GAEHS v tom chisle s uchetom danyh sinhronnyh zamerov pri sutochnom izmenenii urovnya verhnego akkumuliruyushchego bassejna. / Rubin O.D., Lisichkin S.E., Nefedov A.V. Chernenko V.N. Ponomarev D.I., Mukashov R.Z., Lisichkin A.S. // Sb. Bezopasnost gidrotekhnicheskikh sooruzhenij OAO NIEHS, vyp. 18. M 2013, pp. 38-50.

11. Fedorova N.V., Gubanova M.S. Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading. Russian journal of building construction and architecture. Number 2(38), 2018, pp. 6-18.

The material was received at the editorial office.
22.02.2019 g.

Information about the authors

Rubin Oleg Dmitrievich, doctor of technical sciences, director of the branch JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Institute

Hydroproject» – «NIIES»; 125080, Moscow, Volokolamskoye sh. 2; e-mail: rubinod@niies.ru

Antonov Anton Dmitrievich, candidate of technical sciences, deputy director of the Analytical Center, branch of JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Institute Hydroproject» – «NIIES»; senior lecturer of the department of hydraulics and hydro technical construction (NIU MGSU); 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, d. 26; e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru

Lisichkin Sergej Evgenjevich, doctor of technical sciences, deputy general director LLC «Engineering center of facilities, structures and technologies in power engineering», 125364, Moscow, ul. Svobody, 35. e-mail: cskte@mail.ru

Baklykov Igor Vyacheslavovich, leading engineer of the branch JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Research institute of energy facilities»; 125080, Moscow, Volokolamskoe sh., 2, e-mail: moscow_igor88@mail.ru

Frolov Kirill Evgenjevich, deputy general director on research and project activities, PC «RusHydro»; 127006, Moscow, ul. Malaya Dmitrovka, d. 7; e-mail: FrolovKE@rushydro.ru

УДК 502/504:626/627

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-88-95

Д.П. МИХАЙЛЕЦ, Б.М. БАХТИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ОТ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СЕКТОР-ОТРАЖАТЕЛЬ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

При проектировании водопропускных гидротехнических сооружений кроме определения пропускной способности также необходимо производить их расчёт на прочность. С этой целью проведены исследования по определению нагрузок от восходящего потока на горизонтальный сектор-отражатель. Давление, возникающее от воздействия струи, измерялось с помощью пьезометров, установленных по 2-м створам на нижней поверхности сектора-отражателя. На основании полученных данных произведён расчёт конструкции по II группе предельных состояний в программном комплексе ЛИРА-САПР. По результатам расчёта назначена минимально необходимая толщина сектора-отражателя, выявлены части конструкции с изгибающими моментами, превышающими критические моменты по условиям недопустимости трещинообразования. Выполненный расчёт позволяет рекомендовать предлагаемую конструкцию в качестве гасителя-отражателя энергии водного потока водопропускных напорных гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения, концевой участок напорного водосбросного сооружения, сектор-отражатель, вертикальный выход потока, гаситель энергии потока, отражатель потока.