

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ANALYSIS AND DESIGN OF BUILDING STRUCTURESDOI 10.22363/1815-5235-2019-15-5-339-344
УДК 626.01/69.04

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Разработка методики расчета напряженного состояния
в горизонтальных сечениях гидротехнических подпорных стен уголкового типаО.Д. Рубин¹, С.Е. Лисичкин^{2*}, Ф.А. Пащенко³¹АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», Российская Федерация, 125362, Москва, Строительный пр-д, 7А²ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике», Российская Федерация, 125364, Москва, ул. Свободы, д. 35, стр. 36³АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт воздушного транспорта «ЛенАэроПроект»», Российская Федерация, 198095, Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 122, лит. Б

* cskte@mail.ru

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 августа 2019 г.

Доработана: 28 сентября 2019 г.

Принята к публикации: 01 октября 2019 г.

Аннотация

Подпорные стены уголкового типа широко распространены в гидротехническом строительстве. Им свойственны крупные габариты, небольшие проценты армирования, блочная разрезка по высоте конструкции. Основная масса существующих подпорных стен строилась в 1960–1980-х годах. Действовавшие в этот период нормативные документы имели определенные недостатки, которые вызвали непроектное поведение целого ряда подпорных стен. Требуется совершенствование методик расчета железобетонных конструкций подпорных стен, в рамках которых необходим более полный учет характерных особенностей их поведения. **Целью** работы является совершенствование методов расчета железобетонных подпорных стен уголкового типа. **Методы** исследований, проводимых для совершенствования расчета железобетонных подпорных стен уголкового типа, включали классические методы сопротивления материалов, теории упругости, строительной механики. Для определения фактического напряженно-деформированного состояния натуральных конструкций подпорных стен применялись визуальные и инструментальные методы обследования подпорных стен, в том числе метод разгрузки арматуры. **Результаты.** Для определения напряженного состояния в элементах железобетонной конструкции подпорной стены (в бетоне и арматуре) была разработана методика расчета напряженного состояния подпорных стен, которая позволяет определять компоненты напряженного состояния (напряжения в бетоне сжатой зоны, а также напряжения в растянутой и сжатой арматуре) в горизонтальных сечениях вертикальной консольной части подпорных стен.

Ключевые слова: гидротехнические подпорные стены уголкового типа; характерные особенности; межблочные горизонтальные швы; трещинообразование; внецентренное сжатие; сжимающие и растягивающие напряжения; методика расчета

Для цитирования

Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пащенко Ф.А. Разработка методики расчета напряженного состояния в горизонтальных сечениях гидротехнических подпорных стен уголкового типа // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 5. С. 339–344. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-5-339-344>

Введение

Подпорные стены являются неотъемлемыми составляющими гидроузлов. Они предназначены для

удерживания от обрушения и сползания находящихся за ними массивов грунта. Наиболее распространены подпорные стены уголкового типа [1–6].

Подпорные стены имеют горизонтальную фундаментную плиту с лицевой и более протяженной тыловой консолями; вертикальную консольную часть.

К конструктивным особенностям подпорных стен следует отнести значительные размеры (такие как высота вертикальной консоли стены, вылеты лицевой и тыловой консолей фундаментной

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, директор филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС».

Лисичкин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, заместитель генерального директора.

Пащенко Федор Александрович, генеральный директор.

© Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пащенко Ф.А., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

плиты, размеры в корневом сечении и толщина фундаментной плиты, достигающие нескольких метров); бетон невысокой марки (М100–М250); арматуру большого диаметра (до 60 мм) классов А-II, А-III; невысокое содержание арматуры (как правило, менее одного процента); обязательное наличие горизонтальных межблочных швов, разделяющих горизонтальные блоки бетонирования при поэтапном возведении и др.

Со стороны тыловой грани, как правило, имеющей наклон, подпорные стены засыпаются грунтом, создающим основные нагрузки на конструкцию.

Ввиду вышесказанного вертикальные консольные части подпорных стен работают в условиях внецентренного сжатия. Вертикальная нагрузка создается собственным весом железобетона конструкции, весом грунта засыпки и грунтовых вод. Горизонтальная нагрузка создается боковым давлением грунта засыпки и грунтовых вод в засыпке.

Следует отметить, что большинство подпорных стен проектировалось и строилось до 2000-х годов (в основном в 1960–1970-х годах). В указанный период времени не учитывались некоторые характерные особенности работы подпорных стен, которые обусловлены их конструктивными особенностями (в первую очередь наличием горизонтальных межблочных швов).

Нормативные документы, которые действовали в период проектирования и строительства большинства подпорных стен [17–19], не учитывали всех особенностей их работы, вследствие чего при эксплуатации многих подпорных стен возникли отклонения от проектных предпосылок.

1. Обсуждение

Указанные выше отклонения от проектного поведения выражались в основном в смещениях верха консолей, ширине раскрытия горизонтальных межблочных швов, высоких сжимающих и растягивающих напряжениях в вертикальной арматуре у лицевой и тыловой граней, которые превышали проектные значения. В отдельных случаях происходило разрушение подпорных стен [7–10], в том числе левых стен первого яруса водоприемника строящейся Загорской ГАЭС [7–9].

Как уже было отмечено, основной причиной непроектного поведения подпорных стен явился неполный учет наличия межблочных горизонтальных строительных швов, характера трещинообразования, а также недостаточное поперечное горизонтальное армирование [11; 12; 20; 21].

Особый характер трещинообразования, выражающийся в образовании наклонных трещин, выходя-

щих из раскрывшихся горизонтальных межблочных швов, представлен на рис. 1.

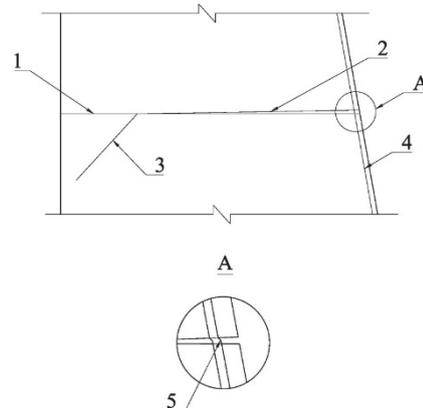


Рис. 1. Фактическая схема трещинообразования в зоне горизонтального межблочного шва:
1 – горизонтальный межблочный шов; 2 – раскрытие шва;
3 – наклонная трещина; 4 – рабочая арматура;
5 – деформация арматуры в раскрытом шве
[Figure 1. The actual scheme of cracking in the zone of horizontal interlock seam:
1 – horizontal interlock seam; 2 – opening of the seam;
3 – inclined crack; 4 – working reinforcement;
5 – deformation of the reinforcement in the open seam]

Следует отметить, что большинство проведенных ранее работ посвящено исследованиям нагрузок от давления грунта на подпорные стены, а также устойчивости подпорных стен [3], в то время как один из важнейших вопросов заключается в определении прочности конструкций стен как при проектировании [6], так и при определении фактического состояния конструкций после длительной эксплуатации.

Требуется совершенствование методик расчета прочности (включая назначение армирования) и положений нормативных документов при более полном учете особенностей массивных железобетонных конструкций ГТС (в первую очередь межблочных строительных швов).

2. Материалы и методы исследований

С целью определения фактического состояния конструкций подпорных стен проводились визуальные и инструментальные обследования подпорных стен, в том числе определение фактических напряжений в стержневой арматуре методом разгрузки арматуры [16]. Визуальные обследования проводились с применением микроскопа отсчетного МПБ-3, лазерного дальномера, рулеток, штангенциркуля и пр. В рамках инструментальных обследований проводилось определение прочности бетона подпорных стен неразрушающими метода-

ми: ультразвуковым методом (с применением ультразвукового прибора Пульсар-2.2) и методом упругого отскока (с применением молотка Шмидта).

Определение фактических напряжений в арматурных стержнях подпорных стен проводилось методом разгрузки арматуры.

Аналитические исследования напряженного состояния железобетонных конструкций подпорных стен проводились с применением методов строительной механики, сопротивления материалов, теории железобетона.

3. Результаты обследований подпорных стен и разработка методики их расчета

В ходе обследований лицевой поверхности ряда подпорных стен гидротехнических сооружений были выявлены горизонтальные трещины, которые являлись следами выхода на лицевую поверхность наклонных трещин, выклинивающихся из горизонтальных межблочных швов.

В ходе инструментальных обследований методом разгрузки арматуры в вертикальной арматуре у лицевой грани ряда подпорных стен были выявлены значительные сжимающие напряжения, превышающие проектные значения.

Для определения напряженного состояния в элементах железобетонной конструкции подпорной стены (в бетоне и арматуре) была разработана методика расчета напряженного состояния подпорных стен.

При этом рассматривалось горизонтальное сечение в вертикальной консоли стены. Определялись внешние усилия, действующие в расчетном сечении: N – вертикальная сжимающая сила и M – изгибающий момент. В сечении действуют внутренние усилия: усилие в бетоне сжатой зоны – N_b ; в сжатой арматуре – N'_s ; в растянутой арматуре – N_s .

Условие равновесия при действии сил:

$$N_b + N'_s = N + N_s. \quad (1)$$

Условие равновесия при действии изгибающих моментов (относительно равнодействующей вертикальных сжимающих напряжений в бетоне сжатой зоны):

$$N(e_0 - 0,5h + 0,33x) = N_s(h_0 - 0,33x) + N'_s(0,33x - a') \quad (2)$$

Схема действия нагрузок в горизонтальном сечении представлена на рис. 2.

Принималась треугольная эпюра продольных сжимающих напряжений в бетоне, как для массивных бетонных конструкций, работающих в стадии эксплуатации, не достигающей предельного со-

стояния, что соответствует положениям СНиП 52-01-2003.

При разработке указанной методики была применена гипотеза плоских сечений, на основе которой установлены зависимости между относительными деформациями в бетоне сжатой зоны ϵ_b , в растянутой (ϵ_s) и сжатой (ϵ'_s) арматуре.

Напряжения в бетоне сжатой зоны σ_b , в растянутой σ_s и сжатой σ'_s арматуре определялись путем умножения величин относительных деформаций ($\epsilon_b, \epsilon_s, \epsilon'_s$) на соответствующие значения модуля деформаций бетона и арматуры (E_b и E_s).

$$\sigma_b = \epsilon_b \cdot E_b; \quad \sigma_s = \epsilon_s \cdot E_s; \quad \sigma'_s = \epsilon'_s \cdot E_s. \quad (3)$$

Эпюры деформаций и напряжений в арматуре и бетоне расчетного горизонтального сечения представлены на рис. 3.

Распределение вертикальных сжимающих напряжений σ_b в бетоне сжатой зоны конструкции подпорной стены принималось по линейному (треугольному) закону (рис. 2).

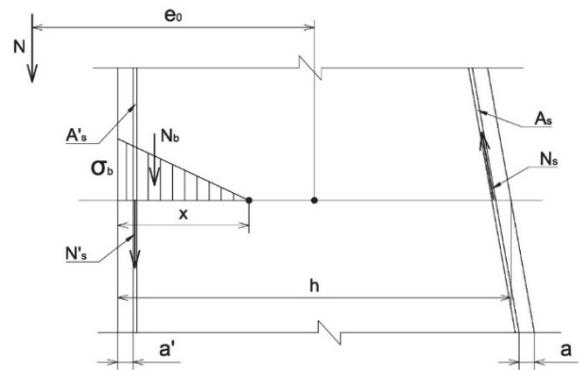


Рис. 2. Схема действия нагрузок в горизонтальном сечении [Figure 2. Diagram of the action of loads in a horizontal section]

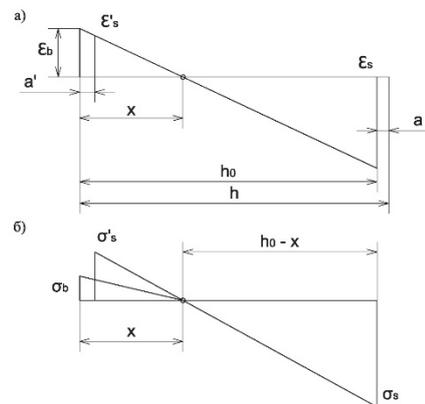


Рис. 3. Эпюры деформаций (а) и напряжений (б) в нормальном горизонтальном сечении [Figure 3. Diagrams of deformations (a) and stresses (b) in a normal horizontal section]

Предполагаются дальнейшие исследования в направлении совершенствования методов расчета железобетонных подпорных стен углового типа, в том числе с учетом сопротивления горизонтальных межблочных швов [13–15], влияния наклона тыловой грани [16], нагельного сопротивления арматурных стержней сдвигу.

После проведения соответствующих преобразований и решения системы двух уравнений имеем:

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{x}{h_0 - x}; \quad \varepsilon_b = \left(\frac{x}{h_0 - x}\right) \varepsilon_s.$$

$$\frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_s} = \frac{(x - a)}{(h_0 - x)}; \quad \varepsilon'_s = \frac{(x - a)}{(h_0 - x)} \varepsilon_s.$$

$$\sigma_b = \left(\frac{x}{h_0 - x}\right) \varepsilon_s; \quad E_b = \left(\frac{x}{h_0 - x}\right) \sigma_s \frac{E_b}{E_s}. \quad (4)$$

$$\sigma'_s = \frac{(x - a)}{(h_0 - x)}. \quad (5)$$

Напряжения в растянутой арматуре σ_{st} находим по формуле

$$\sigma_s = \frac{N(h_0 - x)}{D},$$

где

$$D = \left[0,5bx^2 \left(\frac{E_b}{E_s}\right) + A'_s(x - a') - A_s(h_0 - x)\right]. \quad (6)$$

Напряжения в растянутой арматуре σ_s без учета сжатой арматуры находим по формуле

$$\sigma_{st} = \frac{N}{\left[0,5\left(\frac{x}{h_0 - x}\right)\frac{E_b}{E_s}\right]xb - A_s}, \quad (7)$$

где x – высота сжатой зоны бетона.

Заключение

Выполнен анализ конструктивных особенностей подпорных стен гидротехнических сооружений (которые определяют характер их работы), в том числе вызывающих отклонения от проектных предпосылок при эксплуатации.

Установлено, что нормативные документы, действовавшие в период проектирования большинства подпорных стен гидротехнических сооружений, не в полной мере учитывали характерные особенности таких сооружений (в первую очередь наличие межблочных контактных швов), что приводило к отклонениям от проектных предпосылок.

В результате проведенных исследований была разработана методика, позволяющая определять компоненты напряженного состояния (напряжения в бетоне сжатой зоны, а также напряжения в растянутой и сжатой арматуре) в горизонтальных сечениях вертикальной консольной части подпорных стен.

Список литературы

1. Рассказов Л.Н., Бестужева А.С., Малаханов В.В., Толстиков В.В., Орехов В.Г., Саинов М.П., Анискин Н.А., Солдатов П.В. Гидротехнические сооружения (речные). Ч. 2. М.: ЛитРес, 2016. 538 с.
2. Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений. М.: АСВ, 2015. 96 с.
3. Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. Проектирование железобетонных и каменных подпорных стен: учебное пособие. Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2007. 106 с.
4. Волосухин В.А., Воропаев В.И., Яццкий Л.В. Расчет подпорных стен гидротехнических сооружений: учебное пособие. Новочеркасск, 2000. 81 с.
5. Семенюк С.Д., Котов Ю.Н. Железобетонные подпорные стены // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 86–101.
6. Васильев П.И., Кононов Ю.И., Чирков Я.Н. Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Киев: Вища школа, 1982. 320 с.
7. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В., Черненко В.Н., Пономарев Д.И., Мукашов Р.З., Лисичкин А.С. 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 // Безопасность энергетических сооружений. 2013. Вып. 18. С. 38–50.
8. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Атабиев И.Ж., Мельникова Н.И. Расчетные исследования устойчивости и прочности подпорных стен первого яруса водоприемника Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2012. № 2. С. 44–48.
9. Рубин О.Д., Пономарев Д.И., Мельникова Н.И. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния подпорных стен первого яруса водоприемника Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2011. № 5. С. 51–55.
10. 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. 2018. No. 2(38). Pp. 6–18.
11. Николаев В.Б., Гун С.Я., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б. Прочность железобетонных подпорных стенок // Гидротехническое строительство. 1988. № 10. С. 54–58.
12. Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б. Поперечное армирование массивных конструкций энергетических сооружений // Энергетическое строительство. 1989. № 11. С. 40–43.
13. Лисичкин С.Е., Королев Л.В., Скворцов А.Г. Совершенствование расчета железобетонных конструкций, ослабленных продольными строительными швами // Строительство и архитектура. Серия: Строительные конструкции и материалы. 1999. Вып. 3. С. 1–4.
14. Лисичкин С.Е., Скворцов А.Г. Повышение безопасности массивных железобетонных конструкций с контактными строительными швами // Гидротехническое строительство. 2000. № 6. С. 17–21.

15. Лисичкин С.Е. Повышение надежности конструкций ТЭС, имеющих контактные швы, с учетом сопротивления арматуры сдвигу // Безопасность энергетических сооружений. 2001. Вып. 9. С. 43–60.

16. Залесов А.С., Лисичкин С.Е. Расчет конструкций с наклонной гранью // Гидротехническое строительство. 1992. № 6. С. 48–50.

17. СН 55-59. Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений / Гос. ком-т Совета Министров СССР по делам строительства. М.: Госстройиздат, 1959. 63 с.

18. СНиП II-И.14-69. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1970. 47 с.

19. СНиП II-56-77. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1977. 32 с.

20. СП 101.13330.2012. Подпорные стены, судоводные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87.

21. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87.

RESEARCH PAPER

Development of a method for calculating the stress state in horizontal sections of hydraulic engineering angular-type retaining walls

Oleg D. Rubin¹, Sergey E. Lisichkin^{2*}, Fedor A. Pashenko³

¹Scientific Research Institute of Energy Structures, 7A Stroitel'nyy proyezd, Moscow, 125362, Russian Federation

²Engineering Center of Structures, Constructions and Technologies in Power Engineering, Ltd, 35 Svobody St., bldg. 36, Moscow, 125364, Russian Federation

³JSC "LenAeroProect", 122 Obvodnogo kanala embankment, litera B, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

* cskte@mail.ru

Article history:

Received: August 13, 2019

Revised: September 28, 2019

Accepted: October 01, 2019

Abstract

Angular retaining walls are widespread in hydraulic engineering. They are characterized by large dimensions, small percentages of reinforcement, block cutting along the height of the structure. The bulk of the existing retaining walls were built in the 1960s–1980s. The regulatory documents that were in force during this period had certain shortcomings that caused the non-design behavior of a number of retaining walls. Improvement of calculation methods for reinforced concrete structures of retaining walls is required, within the framework of which a more complete account of the characteristic features of their behavior is needed. **The aim of the work** is to improve methods for calculating reinforced concrete retaining walls of a corner type. **Methods** of research carried out to improve the calculation of reinforced concrete retaining walls of the corner type included, among others, the classical methods of resistance of materials, the theory of elasticity, and structural mechanics. To determine the actual stress-strain state of the natural structures of retaining walls, visual and instrumental methods for examining retaining walls were used, including the method of unloading reinforcement. **Results.** To determine the stress state in the elements of the reinforced concrete structure of the retaining wall (in concrete and in reinforcement), a methodology was developed for calculating the stress state of retaining walls, which allows to determine the components of the stress state (stress in concrete in the compressed zone, as well as stress in stretched and compressed reinforcement) in horizontal sections of the vertical cantilever part of the retaining walls.

Keywords: hydraulic engineering retaining walls of a corner type; characteristic feature; interblock horizontal seams; cracking; eccentric compression; compressive and tensile stresses; calculation method

For citation

Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashenko F.A. (2019). Development of a method for calculating the stress state in horizontal sections of hydraulic engineering angular-type retaining walls. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(5), 339–344. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-5-339-344>. (In Russ.)

References

1. Rasskazov L.N., Bestuzheva A.S., Malakhanov V.V., Tolstikov V.V., Orekhov V.G., Sainov M.P., Aniskin N.A.,

Soldatov P.V. (2016). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya (rechnye). Ch. 2 [Hydrotechnical structures (river) Part 2]*. Moscow: LitRes Publ. (In Russ.)

2. Volosuhin V.A., Dyba V.P., Evtushenko S.I. (2008). *Raschet i projektirovanie podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzhenij [Calculation and design of retaining walls of hydraulic structures]*. Moscow: ASV Publ. (In Russ.) <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930935455.html>

Oleg D. Rubin, Doctor of Technical Sciences, Director of a branch of JSC "Institute Hydroproject" – NIIES.

Sergey E. Lisichkin, Doctor of Technical Sciences, Deputy General Director.

Fedor A. Pashenko, General Director.

3. Snegireva A.I., Murashkin V.G. (2007). *Proektirovaniye zhelezobetonnykh i kamennykh podpornykh sten: uchebnoe posobie [Design of reinforced concrete and stone retaining walls: Study guide]*. Samara: University of Architecture and Civil Engineering. (In Russ.)
4. Volosuhin V.A., Voropaev V.I., Yaickij L.V. (2000). *Raschet podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: uchebnoe posobie [Calculation of the retaining walls of hydraulic structures: Study guide]*. Novocheboksarsk. (In Russ.)
5. Semenyuk S.D., Kotov Yu.N. (2018). Reinforced concrete retaining walls. *Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 4(61), 86–101.
6. Vasil'ev P.I., Kononov Yu.I., Chirkov Ya.N. (1982). *Raschet podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: uchebnoe posobie [Reinforced concrete structures of hydraulic structures: Study guide]*. Kiev: Vishcha shkola Publ. (In Russ.)
7. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Nefedov A.V., Chernenko V.N., Ponomarev D.I., Mukashov R.Z., Lisichkin A.S. (2013). Raschetnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoj stenki pervogo yarusa LV-1 vodopriemnika Zagorskoj GAES, v tom chisle s uchedom dannykh sinhronnykh zamerov pri sutochnom izmenenii urovnya verhnego akumuliruyushchego bassejna [Computational studies of the stress-strain state of the retaining wall of the first tier LV-1 of the receiving water of the Zagorskaya PSPP, including taking into account the data of synchronous measurements with daily changes in the level of the upper storage pool]. *Bezopasnost' energeticheskikh sooruzheniy*, (18), 38–50. (In Russ.)
8. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Atabiev I.Zh., Mel'nikova N.I. (2012). Raschetnyye issledovaniya ustojchivosti i prochnosti podpornykh sten pervogo yarusa vodopriemnika Zagorskoj GAES [Computational studies of the stability and strength of the retaining walls of the first tier of the receiving basin of the Zagorsk PSP]. *Prirodoobustrojstvo*, (2), 44–48. (In Russ.)
9. Rubin O.D., Ponomarev D.I., Mel'nikova N.I. (2011). Raschetnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornykh sten pervogo yarusa vodopriemnika Zagorskoj GAES [Computational studies of the stress-strain state of the retaining walls of the first tier of the receiving water of the Zagorsk PSPP]. *Prirodoobustrojstvo*, (5), 51–55. (In Russ.)
10. Fedorova N.V., Gubanova M.S. (2018). Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading [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*, 2(38), 6–18. (In Russ.)
11. Nikolaev V.B., Gun S.Ya., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. (1988). Prochnost' zhelezobetonnykh podpornykh stenok [Strength of reinforced concrete retaining walls]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*, (10), 54–58. (In Russ.)
12. Lisichkin S.E., Lyapin O.B. (1989). Poperechnoe armirovaniye massivnykh konstrukcij energeticheskikh sooruzhenij [Transverse reinforcement of massive structures of power facilities]. *Energeticheskoye stroitel'stvo*, (11), 40–43. (In Russ.)
13. Lisichkin S.E., Korolev L.V., Skvorcov A.G. (1999). Sovershenstvovaniye rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij, oslablennykh prodol'nymi stroitel'nymi shvami [Improving the calculation of reinforced concrete structures weakened by longitudinal construction seams]. *Construction and architecture. Series: Building designs and materials*, (3), 1–4. (In Russ.)
14. Lisichkin S.E., Skvorcov A.G. (2000). Povysheniye bezopasnosti massivnykh zhelezobetonnykh konstrukcij s kontaktnymi stroitel'nymi shvami [Improving the safety of massive reinforced concrete structures with contact building joints]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*, (6), 17–21. (In Russ.)
15. Lisichkin S.E. (2001). Povysheniye nadezhnosti konstrukcij TES, imeyushchih kontaktnyye shvy, s uchedom soprotivleniya armatury sdvigu [Improving the reliability of designs of thermal power plants with contact seams, taking into account the resistance of reinforcement to shear]. *Bezopasnost' energeticheskikh sooruzheniy*, (9), 43–60. (In Russ.)
16. Zalesov A.S., Lisichkin S.E. (1992). Raschet konstrukcij s naklonnoj gran'yu [Calculation of structures with an inclined edge]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*, (6), 48–50. (In Russ.)
17. SN 55-59. (1959). *Normy i tekhnicheskkiye usloviya proyektirovaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Standards and technical conditions for the design of concrete and reinforced structures of hydraulic structures]*. Moscow: Gosstroyizdat. (In Russ.)
18. SNiP II-I.14-69. (1970). *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Normy proyektirovaniya [Concrete and reinforced structures of hydraulic structures. Design Standards]*. Moscow: Stroyizdat. (In Russ.)
19. SNiP II-56-77. (1977). *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Concrete and reinforced structures of hydraulic structures]*. Moscow: Stroyizdat. (In Russ.)
20. SP 101.13330.2012. (2012). *Podpornyye steny, sudokhodnyye shlyuzy, rybopropusknyye i rybozashchitnyye sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.07-87 [Retaining walls, shipping gateways, fishways and fish screen structures. Updated edition of SNiP 2.06.07-87]*. (In Russ.)
21. SP 41.13330.2012. (2012). *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.08-87 [Concrete and reinforced structures of hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.06.08-87]*. (In Russ.)