

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-58-66

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛЕГКОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНСТРУКЦИИ БАТОПОРТА СУХОГО ДОКА)

РУБИН ОЛЕГ ДМИТРИЕВИЧ¹, д-р техн. наук,
директор филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
o.rubin@hydroproject.ru

ЛИСИЧКИН СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ²✉, д-р техн. наук,
заместитель генерального директора ООО «ИЦ СКТЭ»
lisichkin1989@rambler.ru ✉

КУЗНЕЦОВ СТАНИСЛАВ ЮРЬЕВИЧ¹, начальник отдела
Экспериментальных исследований конструкций
s.kuznetsov@hydroproject.ru

БАЛАГУРОВ ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ¹, директор центра,
начальник отдела натуральных исследований
v.balagurov@hydroproject.ru

БАКЛЫКОВ ИГОРЬ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ¹, ведущий инженер отдела разработки
программного обеспечения
i.baklykov@hydroproject.ru

¹ Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» –
«Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 2, Россия

² ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике» (ООО «ИЦ СКТЭ»), 125364, Москва,
ул. Свободы, 35, Россия

В статье представлены опытные данные исследований моделей из легкого высокопрочного бетона в широком диапазоне коэффициентов армирования (0,015-0,036). Выполнены экспериментальные исследования серий железобетонных конструкций балочного типа из легкого высокопрочного бетона по первой и второй группам предельных состояний для обоснования применения таких конструкций в гидротехническом строительстве. В стадии разработки находятся сложные технические решения батопорта сухого дока для строительства основания гравитационного типа (включая примыкания в грунтовой дамбе). Даны рекомендации по использованию полученных результатов экспериментальных исследований в гидротехническом строительстве, в том числе при проектировании железобетонной конструкции батопорта сухого дока для строительства основания гравитационного типа из легкого высокопрочного бетона.

Ключевые слова: гидротехнические железобетонные конструкции, батопорт сухого дока, примыкания к грунтовой дамбе, легкий высокопрочный бетон, экспериментальные исследования, характер разрушения

Формат цитирования: Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Кузнецов С.Ю., Балагуров В.Б., Баклыков И.В. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций из легкого высокопрочного бетона (применительно к конструкции батопорта сухого дока) // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 58-66. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-58-66.

© Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Кузнецов С.Ю., Балагуров В.Б., Баклыков И.В., 2021

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MADE OF LIGHT HIGH-STRENGTH CONCRETE (APPLICABLE TO THE DESIGN OF THE DRY FLOATING BULKHEAD)

*RUBIN OLEG DMITRIEVICH*¹, doctor of technical sciences, director of the branch Joint-Stock company «Design – survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Zhuk» – «Research institute of power structures»

o.rubin@hydroproject.ru

*LISICHKIN SERGEY EVGENJEVICH*²✉, doctor of technical sciences, deputy general director
lisichkin1989@rambler.ru✉

*KUZNETSOV STANISLAV YURJEVICH*¹, manager of the department of experimental research of structures

s.kuznetsov@hydroproject.ru

*BALAGUROV VLADIMIR BORISOVICH*¹, director of the center, manager of the department of field research

v.balagurov@hydroproject.ru

*BAKLYKOV IGOR VYACHESLAVOVICH*¹, leading engineer of the department of software support development

i.baklykov@hydroproject.ru

¹ Branch of Joint-Stock company «Design – survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Zhuk» – «Research institute of power structures», Moscow, Russia

² Engineering Center of Structures, Constructions and Technologies in Power Engineering, Ltd, 35, ulitsa Svobody, 125364, Moscow, Russia

The results of experimental data of studies of reinforced concrete structures made of light high-strength concrete in a wide range of reinforcement coefficients (0.015-0.036) are presented. Experimental studies of a series of beam-type reinforced concrete structures made of light high-strength concrete were carried out according to the first and second groups of limiting states to substantiate the use of such structures in hydraulic engineering. It should be noted that the complex technical solutions for a floating bulkhead are under development for the construction of a gravity-type foundation (including an abutment in an earth dam). Recommendations on the use of the obtained results of experimental studies in hydraulic engineering building including when designing a reinforced concrete structure of a dry floating bulkhead for the construction of a gravity-type foundation made of lightweight high-strength concrete are given.

Keywords: hydraulic engineering reinforced concrete structures, dry floating bulkhead, abutment to an earth dam, light high-strength concrete, experimental research, nature of destruction

Format of citation: Rubin O.D., Lisichkin S.E., Kuznetsov S.Yu., Balagurov V.B., Baklykov I.V. Experimental studies of reinforced concrete structures made of light high-strength concrete (applicable to the design of the dry floating bulkhead) // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4 – S. 58-66. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-58-66.

Введение. В настоящее время выполняется разработка проекта уникального гидротехнического сооружения – батопорта сухого дока для строительства основания гравитационного типа (ОГТ), предназначенного для переработки шельфового природного газа.

Конструкция батопорта (рис. 1) и примыкания батопорта к грунтовой дамбе, окружающей сухой док (рис. 2) являются сложными техническими решениями.

Длина батопорта составляет 200 м, ширина – 20 м, высота – 20 м, толщина внешних

стен – 1 м, толщина внутренних перегородок – 0,8 м.

Основной конструкцией примыкания является железобетонный кессон длиной 22,4 м, шириной 21,67 м, высотой 13 м.

С учетом особенностей эксплуатации (в том числе комплекса действующих нагрузок) железобетонная конструкция батопорта должна отличаться высокой прочностью, и одновременно – плавучестью. По этой причине было рекомендовано изготавливать конструкцию батопорта из легкого высокопрочного бетона.

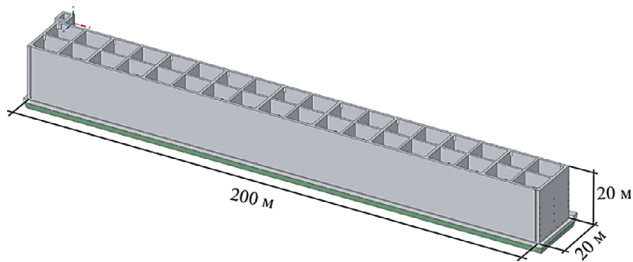


Рис. 1. Конструкция батопорта с фундаментной плитой

Fig.1. Floating bulkhead structure with foundation plate

Положения нормативных документов, касающихся железобетонных конструкций, не в полной мере предусматривают сложную железобетонную конструкцию батопорта, а именно: по классу бетона по прочности (В45-В55) она относится к СП 63.13330.2012 [1], с другой стороны, она относится к гидротехническим сооружениям II класса в соответствии с СП 41.13330.2012 [2].

Предварительные расчеты железобетонной конструкции батопорта (при среднем коэффициенте армирования конструкций батопорта (0,006) и применении тяжелого бетона с $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^3$) показали, что она удовлетворяет требования нормативного документа [2] по прочности. Тем не менее с учетом сложности конструкции и характера действия нагрузок требуется экспериментальное обоснование разрабатываемых проектных решений. Вместе с тем в строительной отрасли внедряются новые материалы и технические решения, что должно способствовать (без снижения эксплуатационной надежности) решению следующих задач:

- сокращение сроков изготовления конструкций,
- снижение материалоемкости конструкций,
- увеличение долговечности конструкций и сооружений при воздействии на них природных и техногенных факторов.

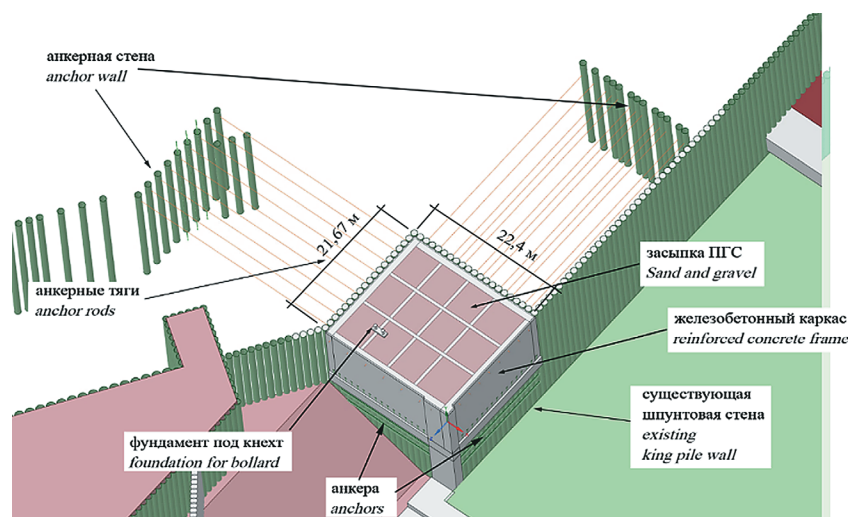


Рис. 2. Юго-западное примыкание батопорта

Fig.2. Southwest floating bulkhead abutment

Цель работы заключается в обосновании применения легкого высокопрочного бетона в разрабатываемых проектных решениях железобетонной конструкции батопорта сухого дока при различных коэффициентах армирования.

Материалы и методы исследований. В АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» разработаны бетонные смеси для производства легкого высокопрочного бетона (ЛВБ), которые были использованы для изготовления опытных железобетонных моделей: в частности, были приняты конструкции из бетона класса В55.

Принятый для исследований бетон на основе разработанной АО «ВНИИГ

им. Б.Е. Веденеева» бетонной смеси по своим характеристикам соответствует требованиям ГОСТ 25820-2014 [3], то есть относится к легким конструкционным бетонам.

Согласно современным представлениям [4] при выполнении условия отношения прочности при сжатии к плотности бетона более 25 легкий бетон считается высокопрочным.

Согласно предоставленным АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» данным по прочностным характеристикам бетона, а также полученным в ходе выполнения работы данным о плотности бетонной смеси указанное выше соотношение составляет 37,7, то есть отвечает

требованиям, предъявляемым к легкому высокопрочному бетону.

В процессе исследований получены новые экспериментальные данные о прочности железобетонных конструкций, изготовленных из легкого высокопрочного бетона.

Для исследований были изготовлены железобетонные модели 1-й серии с коэффициентом армирования $\mu = 0,036$ (3 \varnothing 25 мм А500С) с учетом того, что максимальный коэффициент армирования, предусмотренный СП 63.13330.2012 [1], составляет 0,04.

Модели 2-й серии были изготовлены с коэффициентом армирования $\mu = 0,015$ (3 \varnothing 16 мм А500С), приближенным к гидротехническим конструкциям, в соответствии с положениями СП 41.13330.2012 [2].

Комплекс работ по проведению экспериментальных исследований железобетонных моделей выполнен в соответствии с апробированной методикой моделирования железобетонных ГТС [5-13].

Опытные модели, установленные в стенде на неподвижной (ножевой) и подвижной (катковой) опорах, и схемы их испытаний показаны на рисунке 3.

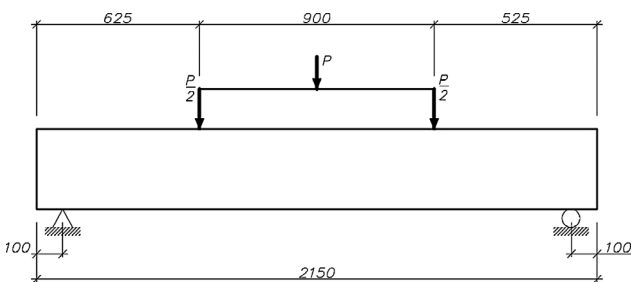


Рис. 3. Конструкция моделей и схема их испытания

Fig. 3. Models design and scheme of their testing

Были изготовлены (и далее испытаны) две серии железобетонных моделей (по три модели в каждой серии) с армированием двух типов. Армирование 1-го типа предусматривало продольное рабочее армирование в виде 3-х диаметров 25 мм класса А500С (коэффициент армирования $\mu = 0,036$). Армирование 2-го типа предусматривало продольное рабочее армирование в виде 3-х диаметров 16 мм класса А500С (коэффициент армирования $\mu = 0,015$).

На рисунках 4, 5 показаны схемы армирования моделей 1-й и 2-й серий.

В моделях контролировалась ширина раскрытия трещин визуально с применением микроскопа Elcometer 900.

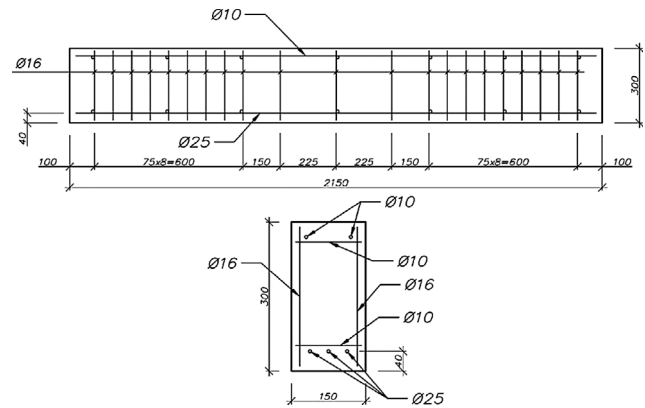


Рис. 4. Армирование 1-й серии моделей
Fig. 4. Reinforcement of the 1st series models

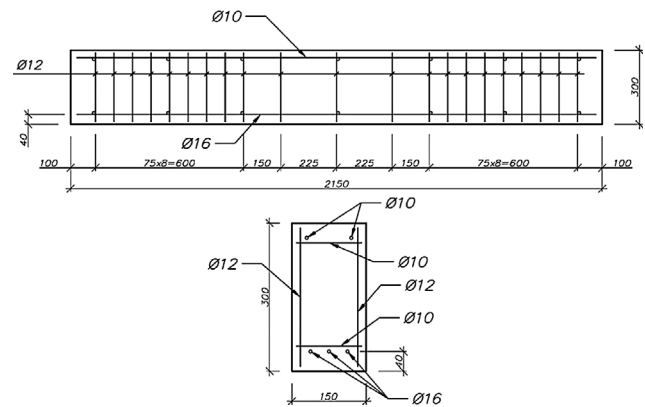


Рис. 5. Армирование 2-й серии моделей
Fig. 5. Reinforcement of the 2nd series models

Для контроля напряженно-деформированного состояния железобетонные модели оснащались контрольно-измерительной аппаратурой: индикаторами часового типа, прогибомерами, тензорезисторами.

На рисунке 6 показано испытание железобетонной модели в стадии трещинообразования.

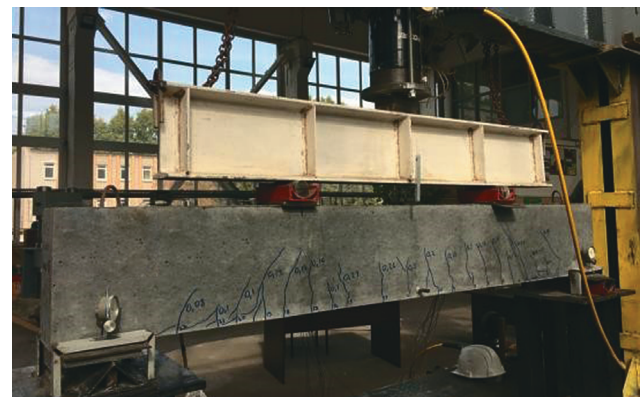


Рис. 6. Модель при испытании в стадии трещинообразования
Fig. 6. The model at testing at the stage of crack formation

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментальных исследований прочности моделей 1-й серии представлены ниже.

Модель № 1 была испытана в возрасте 30 сут. при прочности бетона 57,5 МПа. Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 452,73 кН.

Модель № 2 была испытана в возрасте 34 сут. при прочности бетона 57,5 МПа. Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 513,16 кН.

Модель № 3 была испытана в возрасте 28 сут. при прочности бетона 58,1 МПа.

Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 452,73 кН.

Результаты испытаний моделей 1-й серии на прочность представлены в таблице.

Во всех случаях отмечалось разрушение по наклонной трещине и бетону сжатой зоны.

Таким образом, при высоких коэффициентах армирования ($\mu = 0,036$) происходит разрушение конструкции по наклонной трещине и бетону сжатой зоны конструкции.

Характер разрушения моделей 1-й серии представлен на рисунке 7.

Таблица

Технические характеристики и опытные данные

Table 1

Technical characteristics and results of experimental studies

| № п/п Items | Армирование моделей Reinforcement of models | Кубиковая прочность R, МПа (в день испытания) R (cubic) Compressive strength, MPa (on the day of testing) | $P_{\text{эксп}}$ Эксперимен- тальная разрушающая нагрузка, кН Experimental breaking load, kN | $P_{\text{эксп.}}/P_{\text{расч.}}$ Отношение эксперименталь- ной разрушающей нагрузки к расчётной The ratio of the experimental breaking load to the calculated one | Характер разрушения Fracture pattern |
|----------------------------|--|---|--|--|--|
| 1 | 3Ø25A500C | 57,5 | 452,73 | 1,01 | По наклонной трещине и бетону сжатой зоны On an inclined crack and concrete in the compressed zone |
| Серия 1 Series 1 | $\mu = 0,036$ | | | | |
| 2 | 3Ø25A500C | 57,50 | 513,16 | 1,12 | По наклонной трещине и бетону сжатой зоны On an inclined crack and concrete in the compressed zone |
| Серия 1 Series 1 | $\mu = 0,036$ | | | | |
| 3 | 3Ø25A500C | 58,10 | 452,73 | 1,01 | По наклонной трещине и бетону сжатой зоны On an inclined crack and concrete in the compressed zone |
| Серия 1 Series 1 | $\mu = 0,036$ | | | | |
| 4 | 3Ø16A500C | 66,00 | 294,30 | 1,03 | По текучести в продольной арматуре On yield in longitudinal reinforcement |
| Серия 2 Series 2 | $\mu = 0,015$ | | | | |
| 5 | 3Ø16A500C | 53,10 | 283,02 | 1,00 | По текучести в продольной арматуре On yield in longitudinal reinforcement |
| Серия 2 Series 2 | $\mu = 0,015$ | | | | |
| 6 | 3Ø16A500C | 56,50 | 273,90 | 0,97 | По текучести в продольной арматуре On yield in longitudinal reinforcement |
| Серия 2 Series 2 | $\mu = 0,015$ | | | | |
| Серия 2 Series 2 | $\mu = 0,015$ | | | | |

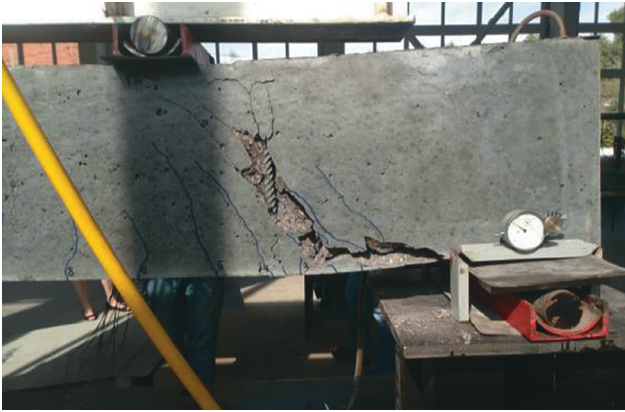


Рис. 7. Характер разрушения моделей 1-й серии

Fig. 7. The nature of the destruction of the 1st series models

Ниже представлены результаты исследований ширины раскрытия трещин (рис. 8-10) и прогибов (рис. 11) в моделях 1-й серии.

Максимальная ширина раскрытия трещин составила:

- 0,20 мм – в модели № 1,
- 0,28 мм – в модели № 2,
- 0,22 мм – в модели № 3.

Таким образом ширина раскрытия трещин не превышает предельного значения, равного 0,5 мм (п. 9.8. СП 41.13330.2012). Следовательно, модели 1-й серии удовлетворяют требованиям норм по ширине раскрытия трещин.

На рисунке 11 представлен график среднего значения прогибов моделей 1-й серии.

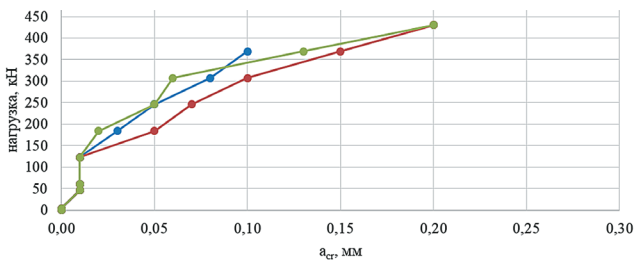


Рис. 8. Раскрытие трещин в модели № 1

Fig. 8. Cracks opening in model No 1

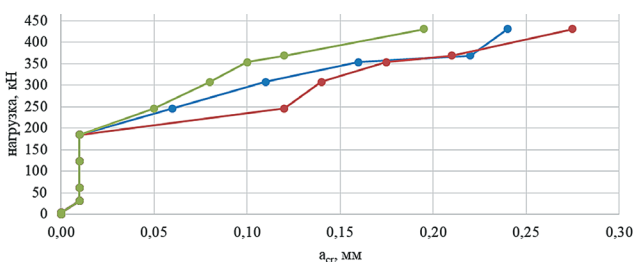


Рис. 9. Раскрытие трещин в модели № 2

Fig. 9. Crack opening in 2nd model

Rubin O.D., Lisichkin S.E., Kuznetsov S.Yu., Balagurov V.B., Baklykov I.V.
Experimental studies of reinforced concrete structures made of light high-strength concrete (applicable to the design of the dry floating bulkhead)

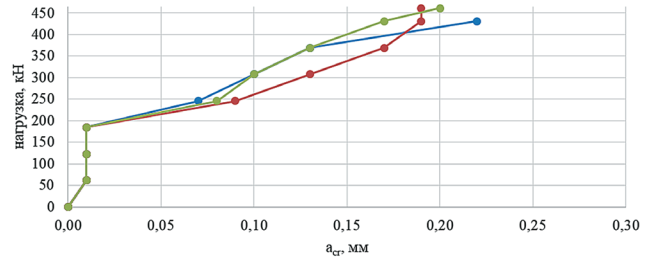


Рис. 10. Раскрытие трещин в модели № 3

Fig. 10. Cracks opening in model No 3

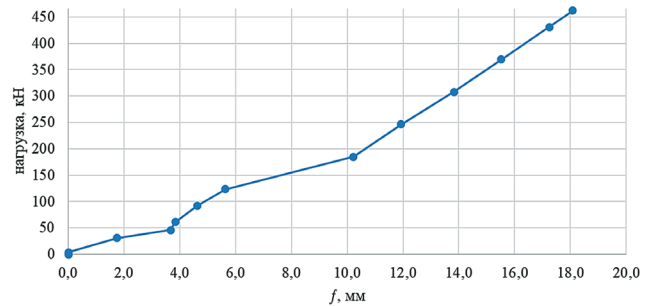


Рис. 11. График среднего значения прогибов моделей 1-й серии

Fig. 11. Graph of the average value of deflections of the 1st series models

Среднее значение прогибов моделей 1-й серии составило 18,08 мм. Его отношение к длине пролета (1950 мм) составило 18,08:1950 = 0,0093 > 1/150 = 0,00666 [14].

Таким образом, модели 1-й серии не удовлетворяют требованиям норм по прогибам.

Далее были проведены экспериментальные исследования 2-й серии моделей с коэффициентом армирования $\mu = 0,015$, приближенным к гидротехническим конструкциям.

Результаты экспериментальных исследований прочности моделей 2-й серии представлены ниже.

Модель № 4 была испытана в возрасте 28 сут. при прочности бетона 66,0 МПа. Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 294,30 кН.

Модель № 5 была испытана в возрасте 30 сут. при прочности бетона 53,1 МПа. Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 283,02 кН.

Модель № 6 была испытана в возрасте 31 сут. при прочности бетона 56,5 МПа. Разрушение модели было зафиксировано при нагрузке ($P_{\text{эксп}}$) 273,90 кН.

Результаты испытаний моделей 2-й серии на прочность представлены в таблице. При этом во всех случаях было зафиксировано достижение напряжениями

в продольной рабочей арматуре предела текучести (равного 500 МПа для арматуры класса А500С).

Ниже представлены результаты исследований ширины раскрытия трещин (рис. 12-14) и прогибов (рис. 15) в моделях 1-й серии.

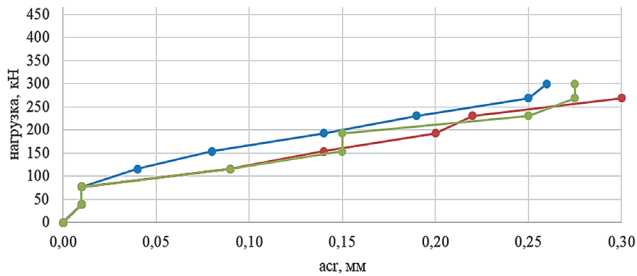


Рис. 12. Раскрытие трещин в модели № 4
Fig. 12. Cracks opening in model № 4

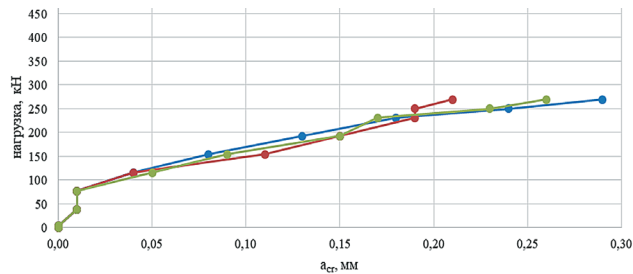


Рис. 13. Раскрытие трещин в модели № 5
Fig. 13. Cracks opening in model № 5

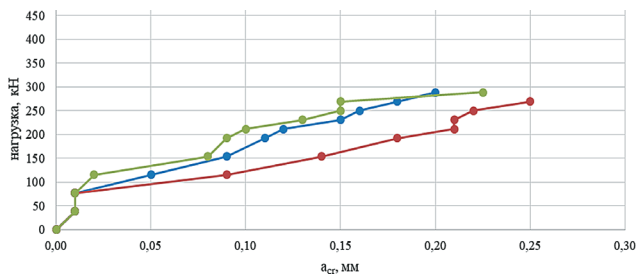


Рис. 14. Раскрытие трещин в модели № 6
Fig. 14. Cracks opening in model № 6

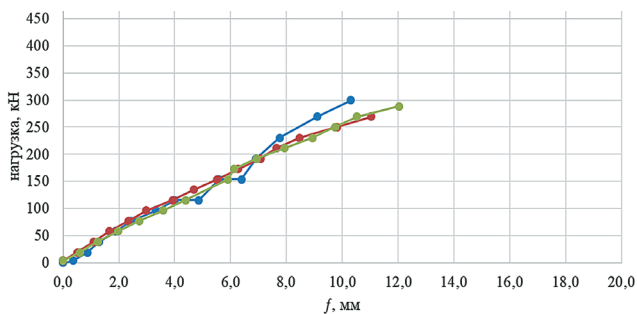


Рис. 15. Графики прогибов моделей 2-й серии

Fig. 15. Graphs of deflections of the 2nd series models

Максимальная ширина раскрытия трещин составила:

0,30 мм – в модели № 4,

0,29 мм – в модели № 5,

0,25 мм – в модели № 6.

Таким образом ширина раскрытия трещин не превышает предельного значения, равного 0,5 мм (п. 9.8. СП 41.13330.2012). Следовательно, модели 2-й серии удовлетворяют требования норм по ширине раскрытия трещин.

Прогибы составили:

10,31 мм при нагрузке 294,3 кН – для модели № 4,

11,04 мм при нагрузке 283,02 кН – для модели № 5,

12,03 мм при нагрузке 273,90 кН – для модели № 6.

В среднем значение прогибов моделей 2-й серии составило 11,13 мм. Его отношение к длине пролета (1950 мм) составило $11,13 / 1950 = 0,0057 < 1 / 150 = 0,00666$ [14].

Таким образом, модели 2-й серии удовлетворяют требования норм по прогибам.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено следующее.

При испытании железобетонных моделей 1-й серии ($3\text{Ø}25$, $\mu = 0,036$) произошло разрушение по наклонной трещине и бетону сжатой зоны в зоне действия поперечной силы и изгибающего момента (соотношение экспериментальных и расчетных значений разрушающей нагрузки составило от 1,01 до 1,12).

Разрушение железобетонных моделей 2-й серии ($3\text{Ø}16$, $\mu = 0,015$) произошло в соответствии с расчетными показателями, а именно: при достижении расчетной нагрузки напряжения в продольной рабочей арматуре достигли предела текучести (соотношение экспериментальных и расчетных значений разрушающей нагрузки составило от 0,97 до 1,03).

Взаимное сопоставление результатов испытаний на прочность показало, что среднее значение разрушающей нагрузки моделей 1-й серии в 1,67 раза выше, чем среднее значение разрушающей нагрузки моделей 2-й серии.

Раскрытие трещин не превышало предельного значения, равного 0,5 мм [2] во всех моделях.

Среднее значение прогибов моделей 1-й серии (18,08 мм) превысило величину, допускаемую по нормам [14], в соответствии с положениями которых отношение прогиба к длине пролета не должно превышать $1 / 150$.

Среднее значение прогибов моделей 2-й серии (11,1 мм) не превысило величину, допускаемую по нормам [14], в соответствии с положениями которых отношение прогиба к длине пролета не должно превышать 1/150.

Экспериментальные исследования показали, что модели 1-й серии удовлетворяют требования норм по прочности и раскрытию трещин, однако не удовлетворяют требования по прогибам.

Библиографический список

1. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. <https://docs.cntd.ru/document/1200095246>
2. СП 41.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. <https://docs.cntd.ru/document/1200095549>
3. ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия». <https://docs.cntd.ru/document/1200115734>
4. **Held M.** Hochfester Konstruktions-Leichtbeton // Beton. Juli 1996. – S. 411-415.
5. **Рубин О.Д., Умнова Р.В.** Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил // Сб. научных трудов Гидропроекта. Вып. 145. – М.: Гидропроект, 1991. – С. 83-95.
6. **Рубин О.Д., Захаров И.Б., Лисичкин С.Е.** Оценка состояния автодорожного моста Павловской ГЭС и расчетно-экспериментальное обоснование мероприятий по его усилению // Энергетическое строительство. – 1994. – № 9. – С. 47-50.
7. **Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Камнев Н.М.** Экспериментальное обоснование узла распределителя к напорному водоводу здания ГЭС гидроузла Аль Вахда // Гидротехническое строительство. – 1998. – № 6. – С. 52-56.
8. **Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е.** Экспериментальные исследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений с блочными швами, усиленных системой внешнего армирования // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2018. – № 3. – С. 198-204.
9. **Karthika R.B., Vidyapriya V., Nandhini Sri K.V., Merlin K., Beaula G., Harini R., Sriram M.** Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate. *Materials Today: Proceedings*. – Vol. 43. – Part 2. – 2021. – Pp. 1606-1613.

Модели 2-й серии удовлетворяют требования норм по прочности, ширине раскрытия трещин и прогибам.

Таким образом, испытания моделей 2-й серии позволили обосновать применение легкого и высокопрочного бетона для гидротехнических сооружений с коэффициентом армирования менее 0,015, в том числе для железобетонной конструкции батопорта сухого дока.

References

1. SP 63.13330.2012. Svod pravil. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktсии. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003. <https://docs.cntd.ru/document/1200095246>
2. SP 41.13330.2012. Svod pravil. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktсии gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.08-87. <https://docs.cntd.ru/document/1200095549>
3. GOST 25820-2014 «Betony legkiye. Tekhnicheskiye usloviya». <https://docs.cntd.ru/document/1200115734>
4. **Held M.** Hochfester Konstruktions-Leichtbeton // Beton. Juli 1996 S. 411-415.
5. **Rubin O.D., Umnova R.V.** Eksperimentalnyye issledovaniya zhelezobetonnykh konstruktсий pri deystvii izgibayushchikh momentov, prodolnykh i poperechnykh sil // Sbornik nauchnykh trudov Gidroyekta. – Vyp. 145. – M.: Gidroyekt, 1991. – S. 83-95.
6. **Rubin O.D., Zakharov I.B., Lisichkin S.E.** Otsenka sostoyaniya avtodorozhnogo mosta Pavlovskoy GES i raschetno-eksperimentalnoye obosnovaniye meropriyatий po yego usileniyu // Energeticheskoye stroitelstvo. – 1994. – № 9. – S. 47-50.
7. **Lisichkin S.E., Rubin O.D., Kamnev N.M.** Eksperimentalnoye obosnovaniye uzla raspredelitel'ya k napornomu vodovodu zdaniya GES gidrouzla Al Vakhda // Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. – 1998. – № 6. – S. 52-56.
8. **Rubin O.D., Lisichkin S.E., Frolov K.E.** Eksperimentalnyye issledovaniya zhelezobetonnykh konstruktсий gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s blochnymi shvami, usilennykh sistemoy vneshnego armirovaniya // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy. – 2018. – № 3. – S. 198-204.
9. **R.B. Karthika, V. Vidyapriya, K.V. Nandhini Sri K. Merlin, G. Beaula, R. Harini, M. Sriram.** Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 43. – Part 2. – 2021. – Pp. 1606-1613.

10. **Sohel K.M.A., Al-Jabri K., Zhang M.H., Richard Liew J.H.** Flexural fatigue behavior of ultra-lightweight cement composite and high strength lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. – Vol. 173. – 2018. – Pp. 90-100.

11. **Hugo Costa, Eduardo Júlio, Jorge Lourenço.** New approach for shrinkage prediction of high-strength lightweight aggregate concrete. – *Construction and Building Materials*. – Vol. 35. – 2012. – Pp. 84-91.

12. **Moreno D., Zunino Fr., Paul Al., Lopez Mauricio.** High strength lightweight concrete (HSLC): Challenges when moving from the laboratory to the field. *Construction and Building Materials*. – Vol. 56. – 2014. – Pp. 44-52.

13. **Iqbal Shahid, Ahsan Ali, Holschmacher Klaus, Bier T.A., Abid A. Shah.** Strengthening of RC beams using steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC) and their strength predictions. *Materials & Design*. – Vol. 100. – 2016. – Pp. 37-46.

14. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. <https://docs.cntd.ru/document/1200084848>

Критерии авторства

Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Кузнецов С.Ю., Балагуров В.Б., Баклыков И.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 11.06.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

10. **Sohel K.M.A., Al-Jabri K., Zhang M.H., Richard Liew J.H.** Flexural fatigue behavior of ultra-lightweight cement composite and high strength lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 173. – 2018. – Pp 90-100.

11. **Hugo Costa, Eduardo Júlio, Jorge Lourenço,** New approach for shrinkage prediction of high-strength lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 35. – 2012. – Pp. 84-91.

12. **D. Moreno Fr. Zunino, Ál. Paul, Mauricio Lopez.** High strength lightweight concrete (HSLC): Challenges when moving from the laboratory to the field. *Construction and Building Materials*. Vol. 56. – 2014. – Pp. 44-52.

13. **Shahid Iqbal, Ahsan Ali, Klaus Holschmacher T.A. Bier, Abid A. Shah.** Strengthening of RC beams using steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC) and their strength predictions. *Materials & Design*. Vol. 100. – 2016. – Pp 37-46.

14. SP 20.13330.2011 «Nagruzki i vozdeystviya». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* <https://docs.cntd.ru/document/1200084848>

Criteria of authorship

Rubin O.D., Lisichkin S.E., Kuznetsova S.Yu., Balagurov V.B., Baklykov I.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 11.06.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021