

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
EXPERIMENTAL RESEARCHESDOI 10.22363/1815-5235-2020-16-2-152-160
УДК 620.16/17

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Результаты экспериментальных исследований железобетонных подпорных стен

О.Д. Рубин¹, С.Е. Лисичкин^{1*}, Ф.А. Пащенко²¹АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», Российская Федерация, 125362, Москва, Строительный пр., 7А, а/я 393²АО «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: 19 декабря 2019 г.

Доработана: 06 марта 2020 г.

Принята к публикации: 14 марта 2020 г.

Аннотация

Актуальность. В состав гидроузлов входят железобетонные подпорные стены. Они предназначены для защиты основных сооружений от обрушения и сползания грунтовых массивов. Подпорные стены характеризуются значительными размерами, сравнительно невысоким содержанием арматуры, наличием горизонтальных межблочных швов, что существенно влияет на особенности их работы и состояние. Нормативные документы, действовавшие в период проектирования и строительства большинства подпорных стен (вторая половина прошлого столетия), не в полной мере учитывали особенности их работы, вследствие чего при длительной эксплуатации проявились отклонения от проектных предпосылок, такие как чрезмерные смещения верха стен, раскрытия горизонтальных межблочных швов, которые превышали проектные значения. В целом ряде случаев выполнялось усиление железобетонных конструкций подпорных стен в зонах межблочных швов. **Цель работы** заключается в проведении экспериментальных исследований железобетонных подпорных стенок, в том числе с учетом их усиления наклонными арматурными стержнями. В качестве основного **метода** применялась методика экспериментальных исследований гидротехнических железобетонных конструкций в соответствии с нормативными документами и разработанной программой экспериментальных исследований железобетонных подпорных стен. Полученные **результаты** показали раскрытие горизонтальных межблочных швов, образование наклонных трещин, выходящих из швов. Было зафиксировано повышение прочности железобетонных конструкций подпорных стен и снижение их деформативности за счет усиления наклонными стержнями в зоне межблочного шва.

Ключевые слова: железобетонные подпорные стены гидроузлов, железобетонные модели, межблочные горизонтальные швы, армирование, наклонные арматурные стержни, контрольно-измерительная арматура

Для цитирования

Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пащенко Ф.А. Результаты экспериментальных исследований железобетонных подпорных стен // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 2. С. 152–160. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-2-152-160>

Введение

Подпорные стены являются наиболее распространенными сооружениями гидроузлов [1–5].

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, директор филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»; Scopus Author ID: 7004427140, eLIBRARY SPIN-код: 2720-6627.

Лисичкин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»; Scopus Author ID: 6603919071, eLIBRARY SPIN-код: 5423-0643.

Пащенко Федор Александрович, генеральный директор АО «ПИИНИИ ВТ «Ленаэропроект»».

© Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пащенко Ф.А., 2020

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



Действующие в период проектирования подпорных стенок нормативные документы не в полной мере учитывали характерные особенности железобетонных конструкций, в первую очередь наличие горизонтальных межблочных швов, вследствие чего во многих случаях при длительной эксплуатации проявились существенные отклонения от проектных предпосылок (чрезмерные смещения верха конструкций стен, раскрытие горизонтальных межблочных швов и др.) [6–8]. По этой причине в ряде случаев было выполнено усиление конструкций подпорных стен в зонах горизонтальных межблочных швов.

Потребовалось проведение экспериментальных исследований железобетонных моделей гидротехнических подпорных стенок, в том числе с учетом их усиления наклонными стержнями, для исследования работы подпорных стен.

1. Материалы и методы исследований.

Конструкция модели железобетонной подпорной стенки. Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена железобетонная модель подпорной стены в масштабе 1:12 с габаритами: высота 143,0 см; толщина 30,0 см; ширина в корневом сечении 33,0 см. По высоте моделировались три горизонтальных межблочных шва: нижний шов протяженностью 29,9 см на расстоянии 14,0 см от нижней грани; средний шов протяженностью 25,2 см на расстоянии 35,4 см от нижней грани; верхний шов протяженностью 17,5 см на расстоянии 70,8 см от нижней грани. На этапе 1 модель испытывалась без усиления; на этапе 2 была усилена посредством наклонных стержней диаметром 10 мм из арматуры класса А400, установленных по боковым граням модели под углом 15° к горизонтали в зоне среднего межблочного шва. Усиление модели выполнялось по аналогии с усилением существующих конструкций подпорных стен и стен камер шлюзов [13–15].

Конструкция модели на этапах 1 и 2 представлена на рис. 1.

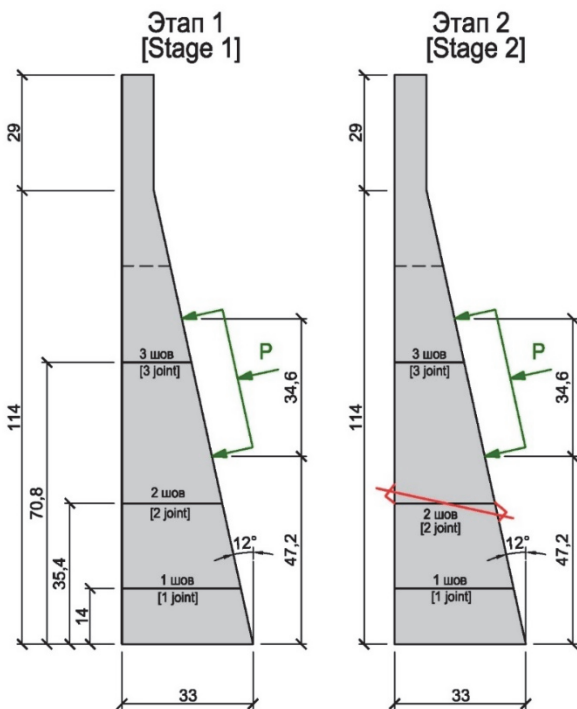


Рис. 1. Конструкции модели подпорной стены на этапах 1 и 2
 [Figure 1. The structures of the retaining wall model in the stages 1 and 2]

Рабочее армирование у тыловой грани модели стенки выполнялось в виде трех 12 мм диаметров А-III (А400), у лицевой грани – одного 12 мм диаметра А-III (А400). Бетон модели класса В25.

Методика экспериментальных исследований модели подпорной стены. При проведении экспериментальных исследований использовались следующие средства испытаний:

- стенд для испытания моделей железобетонных конструкций;
- гидроцилиндр (домкрат) ДГС-63 с максимальным усилием 630 кН;
- тензорезисторы для измерения деформаций с точностью до $10 \times E-5$ (0,00001) е.о.д.;
- тензометрическая станция ZET 017-T8;
- индикаторы часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм;
- микроскоп МПБ-3 для измерения величины раскрытия трещин.

В ходе экспериментальных исследований определялись такие показатели, как:

- нагрузка образования трещин (в том числе по горизонтальным межблочным строительным швам) и характер образовавшихся трещин;
- ширина раскрытия горизонтальных межблочных швов и трещин;
- перемещение верха модели;
- деформации элементов усиления модели (наклонных стержней);
- прирост нагрузки для усиленной модели (по сравнению с неусиленной конструкцией).

Экспериментальные исследования проводились в определенном порядке: нагрузка прикладывалась ступенями по 10 % от нагрузки разрушения (по 5 % при величине нагрузки более 90 % от планируемой разрушающей нагрузки) с выдержкой 15 мин.

Схема установки контрольно-измерительной аппаратуры на железобетонной модели подпорной стены представлена на рис. 2.

Для контроля перемещения верха модели устанавливались прогибомеры – индикаторы часового типа (мессуры). Раскрытие горизонтальных межблочных швов контролировалось посредством установленных вертикально индикаторов часового типа, трещинообразование в железобетонной модели – визуально с применением микроскопа отсчетного МПБ-3 (трубки Бриннеля).

При проведении экспериментальных исследований был учтен опыт экспериментальных исследований гидротехнических сооружений [16–19; 21; 22].

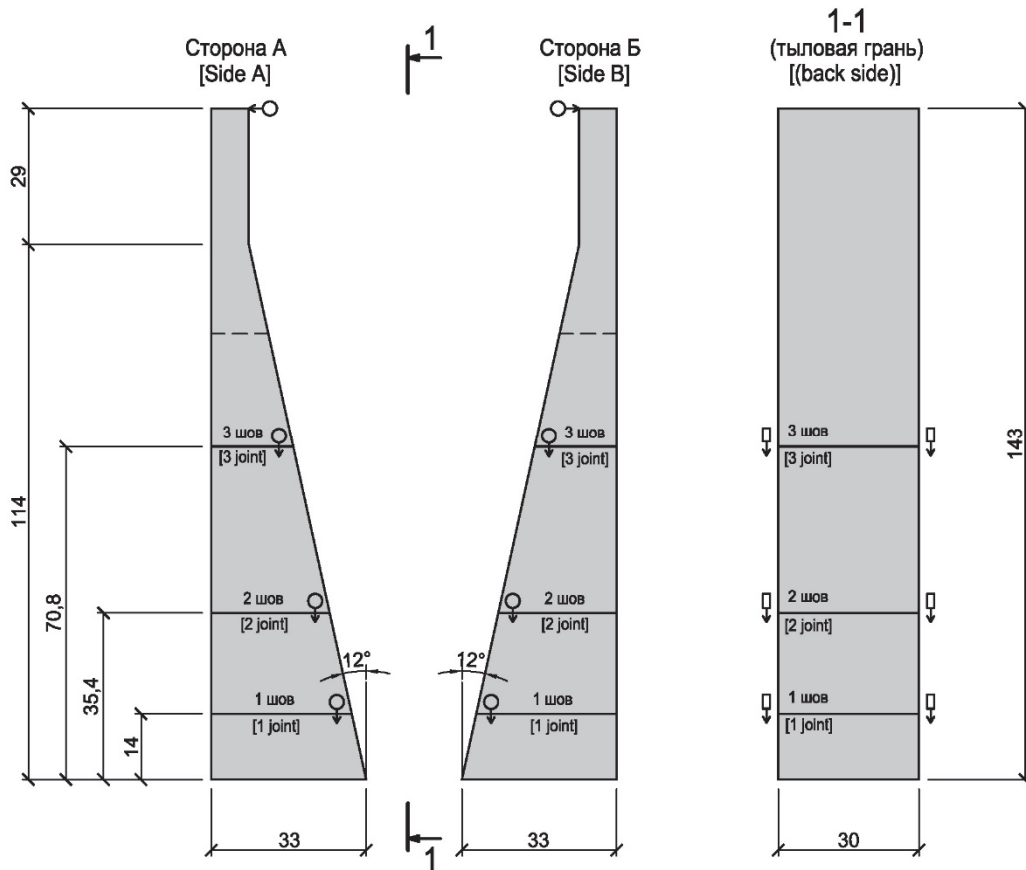


Рис. 2. Схема установки контрольно-измерительной аппаратуры на железобетонной модели подпорной стены
 [Figure 2. The installation diagram of the instrumentation on a reinforced concrete retaining wall model]

2. Результаты экспериментальных исследований модели подпорной стены

Железобетонная модель подпорной стены, подверженная действию силовой нагрузки, устанавливалась вертикально в силовом стенде. Схема испытаний представлена на рис. 1.

На этапе 1 проводились экспериментальные исследования неусиленной модели подпорной стены при расположении равнодействующей нагрузки на высоте 64,5 см от корневого сечения.

На этапе 2 изучалась модель подпорной стены, усиленная посредством наклонных арматурных стержней, при том же расположении равнодействующей нагрузки.

В ходе экспериментов фиксировалось раскрытие горизонтальных межблочных швов со стороны тыловой грани модели; а на более поздних этапах нагружения из горизонтальных швов происходило образование наклонных трещин (рис. 3), что согласовывалось с исследованиями особенностей работы действующих сооружений [9–12; 20; 23].

Основные результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, представлены в табл. 1 – при полных значениях нагрузок испы-

тания модели на этапах 1 и 2 и в табл. 2 – при одинаковых нагрузках (62,4 кН) на этапах 1 и 2 в целях сопоставления результатов.

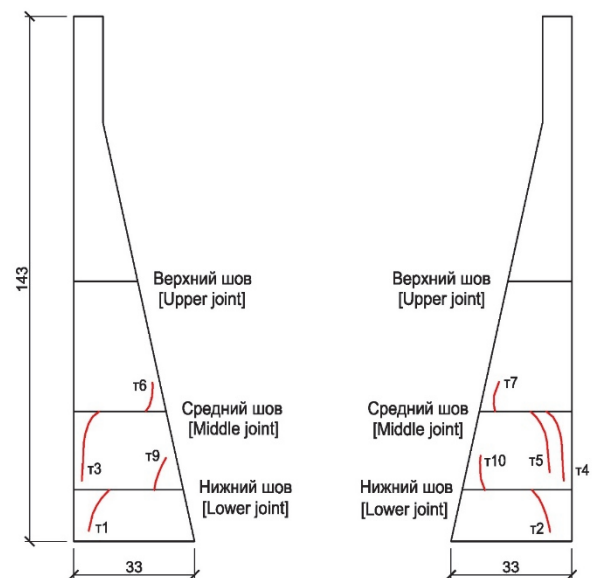


Рис. 3. Схема образования наклонных трещин в модели подпорной стены
 [Figure 3. The diagram of the inclined cracks formation in the retaining wall model]

На этапе 2 испытаний деформации растяжений в наклонных стержнях усиления модели составили 65×10^{-5} единиц относительной деформации, что соответствует напряжениям 130 МПа (усилию в каждом стержне 10,2 кН).

Результаты экспериментальных исследований модели подпорной стены (графики перемещений верха модели, ширины раскрытия горизонтальных межблочных швов, ширины раскрытия наклонных трещин, деформаций в наклонных элементах усиления) представлены графически на рис. 4–14.

Таблица 1

Полное значение нагрузки [Table 1. Full load value]		
	Этап 1 (нагрузка 68,64 кН) [Stage 1 (68,64 kN load)]	Этап 2 (нагрузка 70,72 кН) [Stage 2 (70,72 kN load)]
<i>Ширина раскрытия горизонтальных швов</i> [The width of horizontal joints disclosure]		
Верхний шов [Upper joint]	ср. 0,06 мм [avg. 0,06 mm]	ср. 0,09 мм [avg. 0,09 mm]
Средний шов [Middle joint]	ср. 0,425 мм [avg. 0,425 mm]	ср. 0,35 мм [avg. 0,35 mm]
Нижний шов [Bottom joint]	ср. 0,475 мм [avg. 0,475 mm] Датчик на тыловой грани ИЧ11-0,60 мм [Rear Edge Sensor ИЧ11-0,60 mm]	ср. 0,325 мм [avg. 0,325 mm] Датчик на тыловой грани ИЧ11-0,50 мм [Rear Edge Sensor ИЧ11-0,50 mm]
Ширина раскрытия наклонных трещин [Width disclosure of the inclined cracks]	Т3 – 0,45 мм [mm] Т6 – 0,80 мм [mm] Т7 – 0,50 мм [mm]	Т3 – 0,40 мм [mm] Т6 – 0,75 мм [mm] Т7 – 0,45 мм [mm]
Относительная деформация наклонных стержней [The relative deformation of the inclined rods]	–	$65,0 \times 10^{-5}$ е.о.д.
Перемещение верха модели [Displacement of the top of the model]	18,3 мм [mm]	16,9 мм [mm]

Таблица 2

Одинаковая нагрузка – 62,4 кН [Table 2. The same load – 62.4 kN]		
	Этап 1 (нагрузка 62,4 кН) [Stage 1 (62,4 kN load)]	Этап 2 (нагрузка 62,4 кН) [Stage 2 (62,4 kN load)]
<i>Ширина раскрытия горизонтальных швов</i> [The width of horizontal joints disclosure]		
Верхний шов [Upper joint]	ср. 0,052 мм [avg. 0,052 mm]	ср. 0,075 мм [avg. 0,075 mm]
Средний шов [Middle joint]	ср. 0,365 мм [avg. 0,365 mm]	ср. 0,28 мм [avg. 0,28 mm]
Нижний шов [Bottom joint]	ср. 0,405 мм [avg. 0,405 mm] Датчик на тыловой грани ИЧ11-0,52 мм [Rear Edge Sensor ИЧ11-0,52 mm]	ср. 0,275 мм [avg. 0,275 mm] Датчик на тыловой грани ИЧ11-0,48 мм [Rear Edge Sensor ИЧ11-0,48 mm]
Ширина раскрытия наклонных трещин [Width disclosure of the inclined cracks]	Т3 – 0,35 мм [mm] Т6 – 0,70 мм [mm] Т7 – 0,40 мм [mm]	Т3 – 0,30 мм [mm] Т6 – 0,65 мм [mm] Т7 – 0,35 мм [mm]
Относительная деформация наклонных стержней [The relative deformation of the inclined rods]		$57,0 \times 10^{-5}$ е.о.д.
Перемещение верха модели [Displacement of the top of the model]	15,96 мм [mm]	15,34 мм [mm]

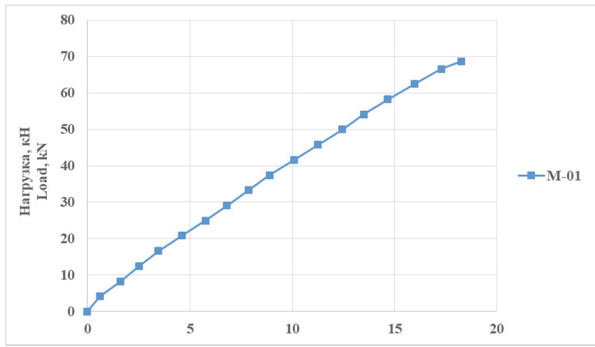


Рис. 4. График перемещения верха модели на этапе 1, мм
[Figure 4. Diagram of the displacement of the top of the model at the stage 1, mm]

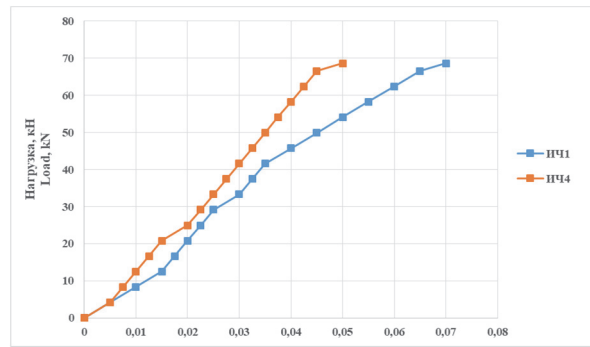


Рис. 5. Графики ширины раскрытия верхнего шва модели на этапе 1, мм
[Figure 5. Diagrams of the disclosure width of the upper joint of the model at the stage 1, mm]

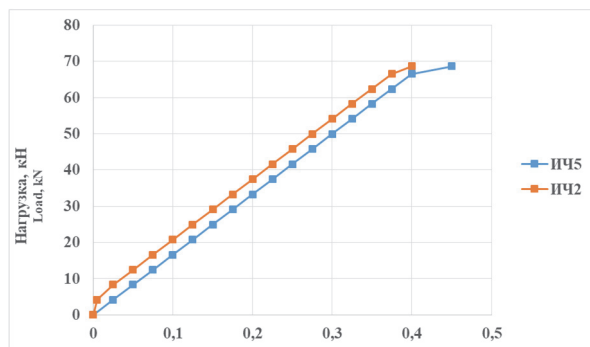


Рис. 6. Графики ширины раскрытия среднего шва модели на этапе 1, мм
[Figure 6. Diagrams of the disclosure width of the middle joint of the model at the stage 1, mm]

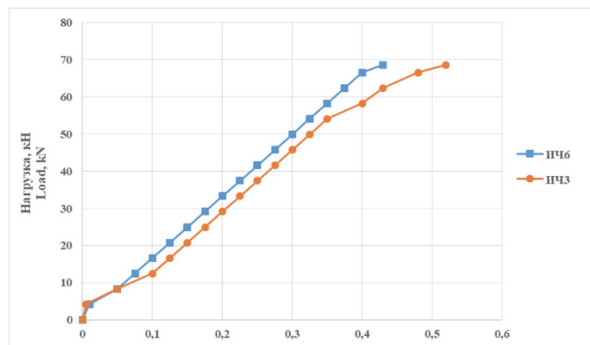


Рис. 7. Графики ширины раскрытия нижнего шва модели на этапе 1, мм
[Figure 7. Diagrams of the disclosure width of the lower joint of the model at the stage 1, mm]

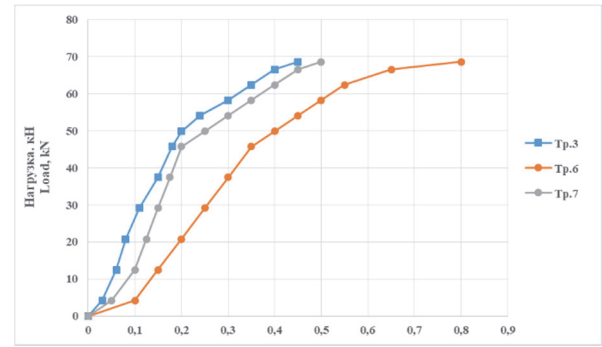


Рис. 8. Графики ширины раскрытия наклонных трещин в модели на этапе 1, мм
[Figure 8. Diagrams of the disclosure width of the inclined cracks in the model at the stage 1, mm]

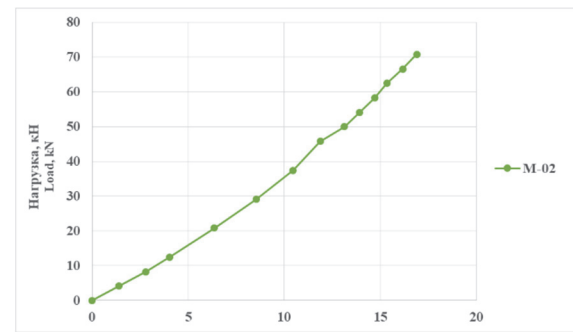


Рис. 9. График перемещения верха модели на этапе 2, мм
[Figure 9. Diagram of the displacement of the top of the model at stage 2, mm]

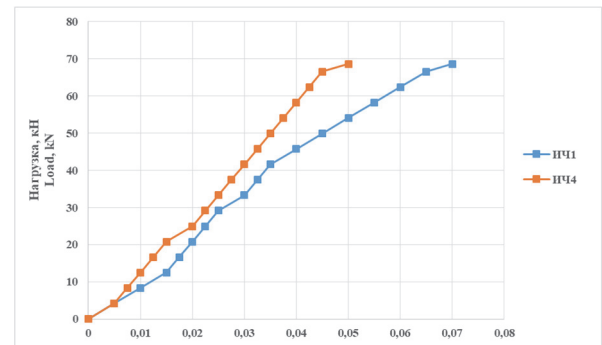


Рис. 10. Графики ширины раскрытия верхнего шва модели на этапе 2, мм
[Figure 10. Diagrams of the disclosure width of the upper joint of the model at the stage 2, mm]

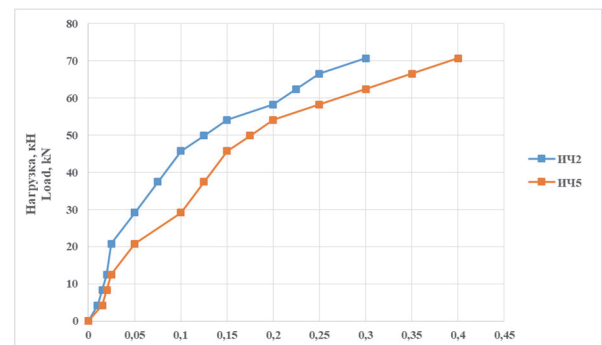


Рис. 11. Графики ширины раскрытия среднего шва модели на этапе 2, мм
[Figure 11. Diagrams of the disclosure width of the middle joint of the model at the stage 2, mm]

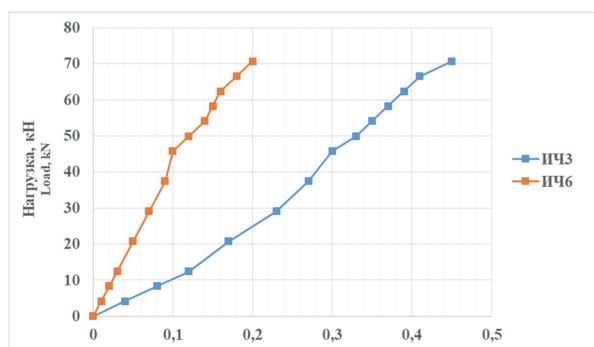


Рис.12. Графики ширины раскрытия нижнего шва модели на этапе 2, мм
[Figure 12. Diagrams of the disclosure width of the lower joint of the model at the stage 2, mm]

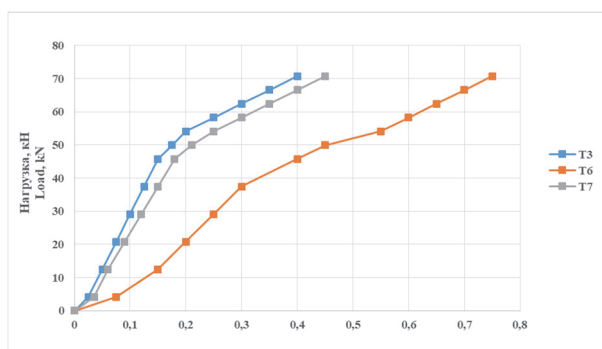


Рис.13. Графики ширины раскрытия наклонных трещин в модели на этапе 2, мм
[Figure 13. Diagrams of the disclosure width of the inclined cracks in the model at the stage 2]

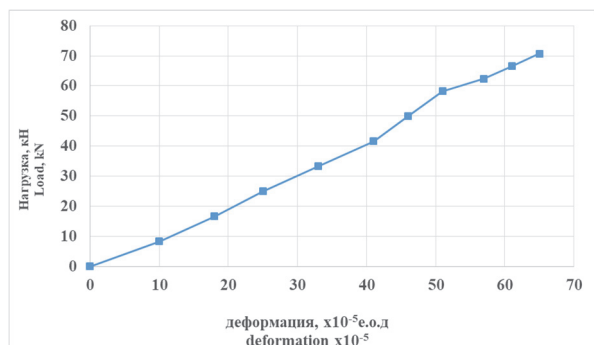


Рис. 14. График деформаций наклонного стержня усиления модели на этапе 2 ($\times 10^{-5}$ е.о.д)
[Figure 14. Diagram of the deformation of the inclined model gain rod at the stage 2 ($\times 10^{-5}$)]

Сопоставление результатов экспериментальных исследований, представленных в табл. 1 и 2, а также на рис. 4–14, показало, что за счет усиления модели подпорной стены наклонными стержнями увеличилась предельная нагрузка на модель, уменьшились прогиб верха модели, ширина раскрытия горизонтальных межблочных швов и наклонных трещин.

При этом при одинаковой нагрузке 62,4 кН прогиб верха модели снизился на 3,9 %, ширина раскрытия среднего шва – на 23,3 %, нижнего шва – на 32,1%, ширина раскрытия наклонной трещины

Т3 – на 14,3 %, трещины Т6 – на 7,1 %, трещины Т7 – на 12,5 %.

Заключение

Изготовлена железобетонная модель подпорной стены в масштабе подобия 1:12, в которой воспроизведены горизонтальные межблочные швы. При этом на этапе 2 испытаний модель была усилена наклонными стержнями в зоне среднего межблочного шва.

Проведены экспериментальные исследования работы железобетонной модели подпорной стены на действие нагрузки, приложенной к тыловой грани модели, равнодействующая которой приложена перпендикулярно к наклонной грани на высоте 64,5 см от корневого сечения. На этапе 1 выполнялось испытание неусиленной модели, на этапе 2 – модели, усиленной наклонными стержнями в зоне среднего межблочного шва.

Анализ результатов экспериментальных исследований на этапах 1 и 2 показал, что за счет усиления наклонными стержнями на этапе 2 предельная нагрузка увеличилась на 3,0 %, прогиб верха модели снизился на 3,9 %, ширина раскрытия горизонтальных швов снизилась в среднем на 27,7 %, а ширина раскрытия наклонных трещин – на 11,3 %.

Список литературы

1. Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений. М.: АСВ, 2015. 96 с.
2. Волосухин В.А., Воропаев В.И., Яццкий Л.В. Расчет подпорных стен гидротехнических сооружений: учебное пособие. Новочеркасск, 2000. 81 с.
3. Ксенофонтова Т.К., Нью Фудун. Железобетонные подпорные стены, выбор расстояния между контрфорсами // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: сб. материалов Международной научно-практической конференции. Ч. III. Безопасность гидротехнических сооружений. М.: МГУП, 2011. С. 106–111.
4. Ксенофонтова Т.К., Чумичева М.М. Железобетонные подпорные стены: учебное пособие. М.: МГУП, 2010. 153 с.
5. Семенюк С.Д., Котов Ю.Н. Железобетонные подпорные стены // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 86–101.
6. Залесов А.С., Рубин О.Д. Характер и причина трещинообразования в стенах шлюзов канала имени Москвы // Энергетическое строительство. 1990. № 11. С. 54–56.
7. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В. и др. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния подпорной стенки первого яруса ЛВ-1 водохранилища Загорской ГАЭС, в том числе с учетом данных синхронных замеров при суточном изменении уровня верхнего аккумулирующего бассейна // Безопасность гидро-

технических сооружений. М.: НИИЭС. 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. Николаев В.Б., Гун С.Я., Лисичкин С.Е. и др. Прочность железобетонных подпорных стенок // Гидротехническое строительство. 1988. № 10. С. 54–58.

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

12. Рубин О.Д., Баклыков И.В., Антонов А.С., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е. Инструментальные и расчетные исследования низовых подпорных стен Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2019. № 2. С. 80–88. DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-80-88.

13. Рубин О.Д., Ляпин О.Б., Ни В.Е. Усиление эксплуатируемых подпорных сооружений // Гидротехническое строительство. 1989. № 12. С. 42–45.

14. Щербина В.И., Рубин О.Д., Ни В.Е. Эксплуатация, оценка состояния и разработка мероприятий по повышению надежности шлюзов канала имени Москвы // Гидроэлектростанции. М.: Информэнерго, 1989. Вып. 7. 56 с.

15. Рубин О.Д. Усиление стен шлюзов докового типа и контроль за эксплуатацией // ПРЕДСО-90: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. СПб., Энергоатомиздат, 1991. С. 73–75.

16. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е. Результаты экспериментальных исследований железобетонных

конструкций ГЭС, имеющих межблочные строительные швы, усиленных внешним армированием из углеродного волокна // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 9. С. 1067–1079. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.9.1067-1079.

17. 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. Т. 14. № 3. С. 198–204. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-3-198-204>

18. Фролов К.Е. Результаты экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных конструкций гидросооружений, усиленных углеродными лентами, по второй группе предельных состояний // Природообустройство. 2017. № 2. С. 42–47.

19. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Lyapin O.B., Nefedov A.V. Research of concrete and reinforced-concrete power-generating structures // Hydrotechnical Construction Consultants bureau. 2000. Vol. 33. No. 8–9. Pp. 459–466.

20. Nikolaev V.B., Gun S.Ya., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. Strength of reinforced-concrete retaining walls // Hydrotechnical Construction. 1988. Vol. 22. Issue 10. Pp. 616–621.

21. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. Improvement of reinforced-concrete designs of power-generating structures // Hydrotechnical Construction Consultants bureau. 1999. Vol. 33. No. 8–9. Pp. 522–528.

22. Vinay B. Chauhan, Satyanarayana M. Dasaka, Vinil K. Gade Investigation of failure of a rigid retaining wall with relief shelves // The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016. Pp. 2492–2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02

23. 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. № 2 (38). Pp. 6–18.

RESEARCH PAPER

Results of experimental researches of reinforced concrete retaining walls

Oleg D. Rubin¹, Sergey E. Lisichkin^{1*}, Fedor A. Pashchenko²

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

²JSC “Lenaeroproect”, 122B Obvodnogo Kanala Embankment, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

*cskte@mail.ru

Article history:

Received: December 12, 2019

Revised: March 06, 2020

Accepted: March 14, 2020

Abstract

Relevance. Hydroelectric facilities include reinforced concrete retaining walls. They are intended to protect the main structures from the collapse and sliding of soil massifs. Retaining walls are characterized by significant size, relatively low content of reinforcement, the presence of horizontal interblock seams, which considerably affects the features of the work and the state of retaining walls. The normative documents that were in force during the design and construction of most retaining walls (the second half of the last century) did not fully take into account the features of the retaining walls,

Oleg D. Rubin, Doctor of Technical Sciences, Director of a branch of JSC “Institute Hydroproject” – NIIES; Scopus Author ID: 7004427140, eLIBRARY SPIN-code: 2720-6627.

Sergey E. Lisichkin, Doctor of Technical Sciences, Deputy General Director; Scopus Author ID: 6603919071, eLIBRARY SPIN-code: 5423-0643.

Fedor A. Pashchenko, General Director of JSC “Lenaeroproect”.

For citation

Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A. Results of experimental researches of reinforced concrete retaining walls. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(2):152–160. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-2-152-160>. (In Russ.)

as a result of which long-term operation revealed deviations from the design premises, including excessive displacement of the top of the walls, the disclosure of horizontal interblock joints, which exceeded the design values. In a number of cases, reinforced concrete structures of retaining walls were reinforced in areas of interblock joints. **The aim of the work** is to conduct experimental studies of reinforced concrete retaining walls, including taking into account their reinforcement by inclined reinforcing bars. **Methods.** The technique of experimental studies of hydraulic engineering reinforced concrete structures was applied in accordance with regulatory documents and the developed program of experimental studies of reinforced concrete retaining walls. **The results** obtained showed the opening of horizontal interblock joints, the formation of inclined cracks emerging from the joints. An increase in the strength of reinforced concrete structures of retaining walls and a decrease in their deformability due to reinforcement by inclined rods in the area of the interblock weld were recorded.

Keywords: reinforced concrete retaining walls of waterworks, reinforced concrete models, interblock horizontal seams, reinforcement, inclined reinforcing bars, instrumentation fittings

References

1. Volosukhin V.A., Dyba V.P., Yevtushenko S.I. *Raschet i proyektirovaniye podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Calculation and design of retaining walls of hydraulic structures]. Moscow, ASV Publ.; 2015. (In Russ.)
2. Volosukhin V.A., Voropayev V.I., Yaitskiy L.V. *Raschet podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Calculation of retaining walls of hydraulic structures]: Study Guide. Novocherkassk; 2000. (In Russ.)
3. Ksenofontova T.K., Nyu Fudun. Zhelezobetonnyye podpornyye steny, vybor rasstoyaniya mezhdru kontrforsami [Reinforced concrete retaining walls, the choice of the distance between buttresses]. *Problems of development of land reclamation and water management and ways to solve them: Proceedings of the of the International scientific-practical conference*. Moscow, MGUP Publ.; 2011. p. 106–111. (In Russ.)
4. Ksenofontova T.K., Chumicheva M.M. *Zhelezobetonnyye podpornyye steny* [Reinforced Concrete Retaining Walls]: Study Guide. Moscow, MGUP Publ.; 2010. (In Russ.)
5. Semenyuk S.D., Kotov Yu.N. Zhelezobetonnyye podpornyye steny [Reinforced concrete retaining walls]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. 2018;4(61):86–101. (In Russ.)
6. Zalesov A.S., Rubin O.D. Kharakter i prichina treschينوобразованиya v stenakh shlyuzov kanala imeni Moskvy [The nature and cause of crack formation in the walls of the locks of the Moscow Canal]. *Energeticheskoye stroitel'stvo*. 1990;11:54–56. (In Russ.)
7. Rubin O.D., Lisichkin S.Ye., Nefedov A.V. et al. Raschetnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoy stenki pervogo yarusy LV-1 vodopriyemnika Zagorskoy GAES, v tom chisle s uchetom dannykh sinkhronnykh zamerov pri sutochnom izmenenii urovnya verkhnego akkumuliruyushchego basseyna [Design studies of the stress-strain state of the retaining wall of the first tier of LV-1 of the intake of the Zagorskaya PSPP, including taking into account the data of synchronous measurements with a daily change in the level of the upper accumulating basin]. *Bezopasnost' gidrotekhnicheskikh sooruzheniy*. 2013;(18):38–50. (In Russ.)
8. Lisichkin S.Ye., Rubin O.D., Atabiyev I.Zh., Melnikova N.I. Raschetnyye issledovaniya ustoychivosti i prochnosti podpornykh sten pervogo yarusy vodopriyemnika Zagorskoy GAES [Computational studies of the stability and strength of retaining walls of the first tier of the water intake of the Zagorskaya PSPP]. *Prirodoobustroystvo*. 2012;(2):44–48. (In Russ.)
9. Rubin O.D., Ponomarev D.I., Melnikova N.I. Raschetnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornykh sten pervogo yarusy vodopriyemnika Zagorskoy GAES [Computational studies of the stress-strain state of retaining walls of the first tier of the intake of the Zagorskaya PSPP]. *Prirodoobustroystvo*. 2011;(5):51–55. (In Russ.)
10. Nikolayev V.B., Gun S.Ya., Lisichkin S.Ye. et al. Prochnost' zhelezobetonnykh podpornykh stenok [The strength of the reinforced concrete retaining walls]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 1988;(10):54–58. (In Russ.)
11. Lisichkin S.Ye., Lyapin O.B. Poperechnoye armirovaniye massivnykh konstruktivnykh energeticheskikh sooruzheniy [Transverse reinforcement of massive structures of power plants]. *Energeticheskoye stroitel'stvo*. 1989;11:40–43. (In Russ.)
12. Rubin O.D., Baklykov I.V., Antonov A.S., Lisichkin S.Ye., Frolov K.Ye. Instrumental'nyye i raschetnyye issledovaniya nizovykh podpornykh sten Zagorskoy GAES [Instrumental and design studies of the lower retaining walls of the Zagorskaya PSPP]. *Prirodoobustroystvo*. 2019;(2):80–88. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-80-88. (In Russ.)
13. Rubin O.D., Lyapin O.B., Ni V.Ye. Usileniye ekspluatiruyemykh podpornykh sooruzheniy [Strengthening the operating retaining structures]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 1989;(12):42–45. (In Russ.)
14. Shcherbina V.I., Rubin O.D., Ni V.Ye. Ekspluatatsiya, otsenka sostoyaniya i razrabotka meropriyatiy po povysheniyu nadezhnosti shlyuzov kanala imeni Moskvy [Operation, assessment of the condition and development of measures to improve the reliability of the locks of the Moscow Canal]. *Gidroelektrostantsii*. 1989;(7):56. (In Russ.)
15. Rubin O.D. Usileniye sten shlyuzov dokovogo tipa i kontrol' za ekspluatatsiyey [Strengthening the walls of dock-type locks and monitoring operation]. *PREDSO-90: Mate-*

rials of conferences and meetings on hydraulic engineering. Saint Petersburg: Energoatomizdat Publ.; 1991. p. 73–75. (In Russ.)

16. Rubin O.D., Lisichkin S.Ye., Frolov K.Ye. The results of the experimental studies of reinforced concrete structures of hydraulic structures with interconnect construction joints, reinforced by external reinforcement of carbon fiber. *Vestnik MGSU*. 2018;13(9):1067–1079. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.9.1067-1079. (In Russ.)

17. Rubin O.D., Lisichkin S.Ye., Frolov K.Ye. Experimental investigations of reinforced concrete structures of hydraulic structures with block seams, enhanced by the external reinforcement system. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2018;14(3):198–204. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-3-198-204>. (In Russ.)

18. Frolov K.Ye. Results of experimental studies of flexible reinforced concrete structures of hydraulic structures reinforced with carbon tapes for the second group of limiting states. *Prirodoobustroystvo*. 2017;(2):42–47. (In Russ.)

19. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Lyapin O.B., Nefedov A.V. Research of concrete and reinforced-concrete power-generating structures. *Hydrotechnical Construction Consultants bureau*. 2000;33(8–9):459–466.

20. Nikolaev V.B., Gun S.Ya., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. Strength of reinforced-concrete retaining walls. *Hydrotechnical Construction*. 1988;22(10):616–621.

21. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Lyapin O.B. Improvement of reinforced-concrete designs of power-generating structures. *Hydrotechnical Construction Consultants bureau*. 1999;33(8–9):522–528.

22. Vinay B. Chauhan, Satyanarayana M. Dasaka, Vinil K. Gade Investigation of failure of a rigid retaining wall with relief shelves. *The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016: 2492–2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02.

23. 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; 2(38):6–18.