

Экспериментальное обоснование усиления подпорных стен

Ф.А. Пашенко¹, инженер

С.Е. Лисичкин^{2,*}, доктор технических наук

О.Д. Рубин², доктор технических наук

¹АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт воздушного транспорта “ЛенАэроПроект”»

Российская Федерация, 198095, Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 122, лит. Б

²АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»

Российская Федерация, 125362, Москва, Строительный проезд, д. 7а, а/я 393

*E-mail: cskte@mail.ru

Целью работы является проведение экспериментальных исследований железобетонных подпорных стенок для обоснования способа их усиления наклонными арматурными стержнями. *Методы исследований.* Применялась методика физического моделирования гидротехнических железобетонных конструкций. *Результаты.* Было зафиксировано повышение прочности железобетонных конструкций подпорных стен за счет усиления наклонными стержнями в зоне межблочного шва. Также было зафиксировано снижение ширины раскрытия горизонтальных межблочных швов со стороны тыловой грани и наклонных трещин, выходящих из швов. Было экспериментально обосновано усиление подпорных стен наклонными стержнями.

Ключевые слова: подпорные стены гидроузлов, железобетонные модели, усиление, наклонные арматурные стержни

1. Введение

Железобетонные подпорные стены являются составной частью гидроузлов. Их задача состоит в защите сооружений от сползания и обрушения массивов грунта [1 - 4].

При проектировании и строительстве большинства подпорных стен действовали нормативные документы, которые не в полной мере отражали конструктивные особенности подпорных стен, в первую очередь, наличие в них межблочных швов. Вследствие этого в процессе длительной эксплуатации были зафиксированы отклонения от проектных предпосылок (в том числе образование наклонных трещин, выходящих из швов, отделяющих сжатую зону подпорных стен), что потребовало усиление конструкций. Один из

способов усиления подпорных стен заключался в установке наклонных арматурных стержней в пробуренные наклонные отверстия в зонах горизонтальных межблочных швов [5 - 7]. Возникла необходимость экспериментального обоснования способа усиления подпорных стен наклонными арматурными стержнями в зонах межблочных швов.

Цель работы заключается в экспериментальном обосновании усиления подпорных стен наклонными арматурными стержнями.

2. Материалы и методы

Для экспериментальных исследований из бетона класса В25 изготавливались железобетонные модели подпорных стены М-1 и М-2 высотой 1430 мм; толщиной 300 мм; шириной в корневом сечении 330 мм. На расстояниях 140 мм, 354 мм и 708 мм воспроизводились горизонтальные межблочные швы. Модель М-1 изготавливалась без усиления. Модель М-2 была усилена наклонными арматурными стержнями Ø10 мм А400, которые размещались в зоне среднего межблочного шва у боковых граней модели под углом 15° к горизонтали. У тыловых граней моделей устанавливались 3Ø12 мм А400, у лицевых граней – 1Ø12 А400. Конструкции моделей М-1 и М-2 показаны на рис. 1.

Методика экспериментальных исследований моделей подпорных стен

Экспериментальные исследования проводились с использованием следующего оборудования. Испытания проводились с использованием силового стенда для испытания моделей железобетонных конструкций.

Нагрузка прикладывалась посредством гидродомкрата ДГС-63 с максимальным усилием 630 кН. Для измерения деформаций в наклонных стержнях усиления модели М-1 использовались тензорезисторы для измерения деформаций с точностью до 10^{-5} единиц относительной деформации. Показания тензорезисторов фиксировались посредством тензометрической станции ZET 017-T8. Для измерения перемещений верха моделей применялись индикаторы часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Измерение величины раскрытия трещин производилось посредством микроскопа отсчетного МПБ-3.

При проведении экспериментальных исследований контролировались: перемещение верха моделей; ширина раскрытия горизонтальных межблочных швов; траектории и ширина раскрытия наклонных трещин; деформации наклонных стержней усиления модели; увеличение величины нагрузки, приложенной к усиленной модели М-2 по сравнению с неусиленной моделью М-1.

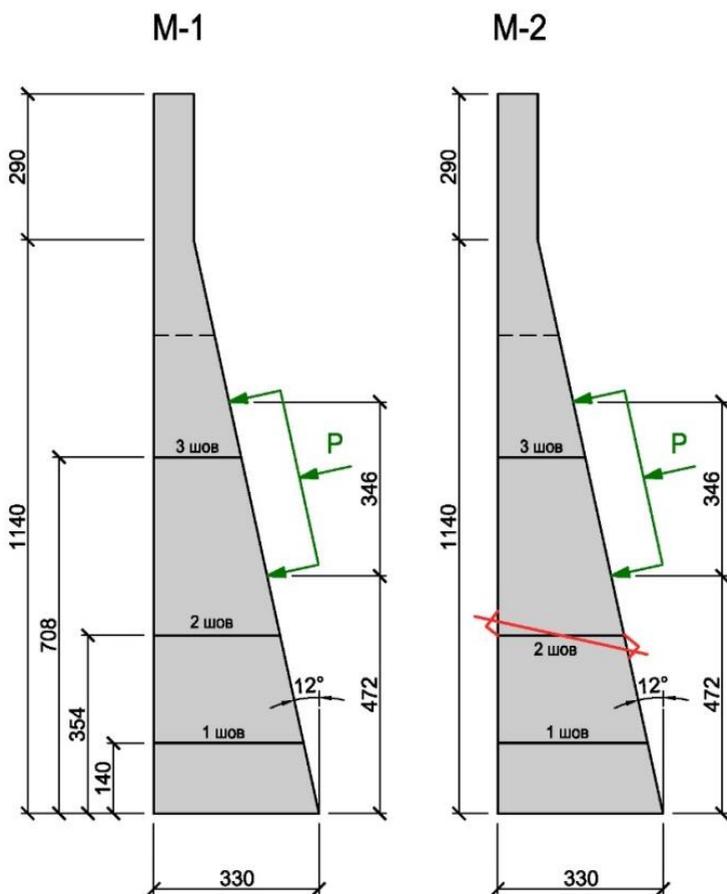


Рис. 1. Конструкции моделей М-1 и М-2 подпорных стен

3. Результаты экспериментальных исследований модели подпорной стены

Схема испытаний моделей приведена выше на рис. 1. Железобетонные модели М-1 и М-2, устанавливалась вертикально в силовом стенде. Нагрузка прикладывалась по нормали к тыловой грани моделей посредством распределительной траверсы; при этом равнодействующая нагрузка прикладывалась на высоте 645 мм от корневого сечения.

В процессе нагружения моделей было зафиксировано раскрытие горизонтальных межблочных швов со стороны тыловой грани. На более позд-

них этапах нагружения происходило образование наклонных трещин, выклинивающихся из горизонтальных швов (рис. 2).

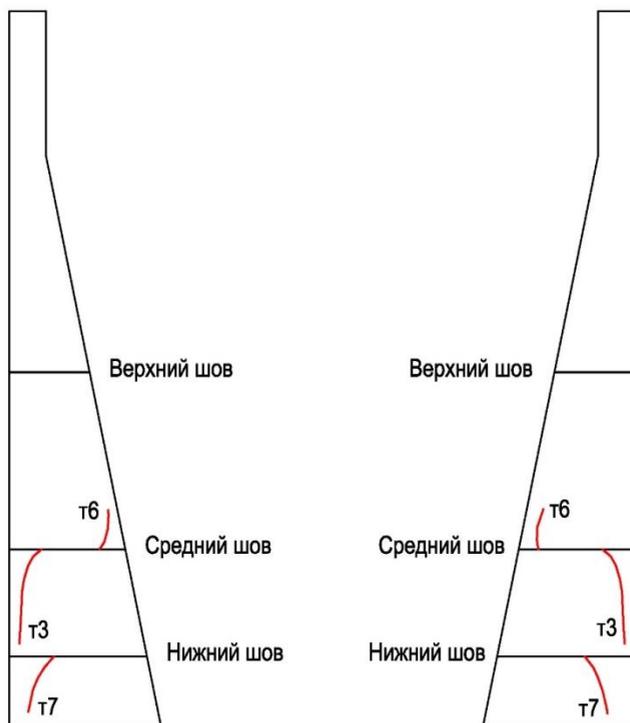


Рис. 2. Расположение наклонных трещин в моделях подпорных стен

В таблице 1 приведены опытные значения перемещения верха моделей М-1 и М-2; средние значения ширины раскрытия горизонтальных межблочных швов; максимальные значения ширины раскрытия наклонных трещин; максимальные относительные деформации наклонных стержней усиления модели М-2.

При испытании модели М-2 максимальные деформации растяжения в наклонных стержнях усиления составили 72×10^{-5} единиц относительной деформации, что соответствует напряжениям 144 МПа (усилию в каждом стержне 16,27 кН).

В таблице 2 для сопоставления результатов исследований моделей М-1 и М-2 представлены полученные экспериментальные данные при одинаковых нагрузках 62,4 кН.

Таблица 1

При полном значении нагрузки

	Модель М-1 (нагрузка 79,04 кН)	Модель М-2 (нагрузка 83,2 кН)
	Среднее значение ширины раскрытия горизонтальных швов:	
- верхний шов (шов 3)	0,085 мм	0,07 мм
- средний шов (шов 2)	0,37 мм	0,34 мм
- нижний шов (шов 1)	ср. 0,30 мм	ср. 0,37 мм
Ширина раскрытия наклонных трещин	Тр.3 – 0,80 мм Тр.6 – 0,70 мм Тр.7 – 0,65 мм	Тр.3 - 0,43 мм Тр.6 – 0,63 мм Тр.7 – 0,60 мм
Относительная деформация наклонных стержней		$72,0 \times 10^{-5}$ е.о.д.
Перемещение верха модели	17,86 мм	18,24 мм

Таблица 2

При одинаковой нагрузке 62,4 кН

	Модель М-1 (нагрузка 62,4 кН)	Модель М-2 (нагрузка 62,4 кН)
	Среднее значение ширины раскрытия горизонтальных швов:	
- верхний шов (шов 3)	0,07 мм	0,06 мм
- средний шов (шов 2)	0,30 мм	0,27 мм
- нижний шов (шов 1)	0,39 мм	0,30 мм
Ширина раскрытия наклонных трещин	Тр.3 - 0,55 мм Тр.6 - 0,43 мм Тр.7 - 0,48 мм	Тр.3 - 0,30 мм Тр.6 - 0,40 мм Тр.7 - 0,43 мм
Относительная деформация наклонных стержней		$55,0 \times 10^{-5}$ е.о.д.
Перемещение верха модели	15,32 мм	15,28 мм

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований, показал, что за счет усиления модели М-2 подпорной стены наклонными стержнями предельная нагрузка на модель возросла от 79,04 кН до 83,2 кН.

При сопоставлении результатов испытаний моделей М-1 и М-2 при одинаковой нагрузке 62,4 кН было выявлено следующее влияние усиления модели М-2.

Перемещение верха моделей снизилось с 15,32 мм до 15,28 мм.

Ширина раскрытия верхнего шва снизилась с 0,07 мм до 0,06 мм; среднего шва – с 0,30 мм до 0,27 мм; нижнего шва – с 0,39 мм до 0,30 мм.

Ширина раскрытия наклонных трещин снизилась, соответственно: трещины Т3 с 0,55 мм до 0,30 мм; трещины Т6 с 0,43 мм до 0,40 мм; трещины Т7 с 0,48 мм до 0,43 мм.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили обосновать целесообразность применения усиления подпорных стен посредством наклонных арматурных стержней в зонах горизонтальных межблочных швов.

Список литературы

1. Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений. Изд-во АСВ, 2015. 96 с.
2. Волосухин В.А., Воропаев В.И., Яицкий 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 // Сб. материалов Международной научно-практической конференции «Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения». 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. Рубин О.Д., Ляпин О.Б., Ни В.Е. Усиление эксплуатируемых подпорных сооружений // Гидротехническое строительство. 1989. № 12. С. 42-45.
6. Щербина В.И., Рубин О.Д., Ни В.Е. Эксплуатация, оценка состояния и разработка мероприятий по повышению надежности шлюзов канала им. Москвы. Серия «Гидроэлектростанции». М.: Информэнерго, 1989. Вып. 7. 56 с.
7. Рубин О.Д. Усиление стен шлюзов докового типа и контроль за эксплуатацией // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике (ПРЕДСО-90). С-Пб.: Энергоатомиздат, 1991. С. 73-75.

Experimental substantiation of retaining walls strengthening

F.A. Pashchenko¹, *Engineer*

S.E. Lisichkin^{2,*}, *Doctor of Technical Sciences*

O.D. Rubin², *Doctor of Technical Sciences*

¹JSC «Lenaeroproect»

122B Obvodnogo Kanala Embankment, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

²Scientific Research Institute of Energy Structures

7A Stroitel'nyi Dr, Moscow, 125362, Russian Federation

*E-mail: cskte@mail.ru

Abstract. *The aim* of the work is to conduct experimental studies of reinforced concrete retaining walls to substantiate the method of their reinforcement by inclined reinforcing bars. *Methods.* The technique of physical modeling of hydraulic reinforced concrete structures was applied. *Results.* An increase in the strength of reinforced concrete structures of retaining walls was recorded due to the strengthening of inclined rods in the area of the interblock joint. Also, a decrease in the width of the disclosure of horizontal interlock joints from the rear side and inclined cracks emerging from the seams was recorded. The reinforcement of retaining walls with inclined bars was experimentally justified.

Keywords: retaining walls of waterworks; reinforced concrete models; strengthening; inclined reinforcing bars