



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ТОНКУЮ ПОДПОРНУЮ СТЕНКУ С РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

УДК 167.23:624.131.387

АВТОРЫ

ХОНЕЛИЯ Н.Н., канд. техн. наук, доцент Одесского национального морского университета.

СЛОБОДЯНИК А.В., ассистент Одесского национального морского университета.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований бокового давления грунта засыпки на тонкую подпорную стенку с контрфорсными элементами (ребра жесткости).

Results of experimental researches of soil filling lateral pressure upon the thin retaining wall with counterforces are considered.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экспериментальные исследования, подпорная стенка, ребра жесткости, боковое давление грунта.

Тонкие подпорные стены являются широко распространённым видом строительных конструкций, которые применяются в промышленном, транспортном и, особенно, гидротехническом строительстве для устройства подземных переходов и тоннелей, крепления строительных котлованов и траншей; они образуют причальный фронт морских и речных портов и являются важнейшим элементом судоходных шлюзов, доков и целого ряда других гидротехнических сооружений.

Тонкие подпорные стенки состоят из тонкой стены ограждения и системы анкеровки в виде анкерных тяг или тонких железобетонных плит. Лицевая стенка в большинстве случаев выполняется из металлического или железобетонного шпунта (из свай). Как показывает анализ конструктивных решений рассматриваемых подпорных стен, грунт в этих конструкциях создает нагрузку, которая должна быть воспринята сооружением. В силу больших величин боковых давлений, создаваемых грунтом, конструкции подпорных стен получают дорогостоящими.

Одна из основных задач взаимодействия подпорных стен с грунтовой средой, над решением которой ведутся широкие исследовательские и проектные работы с целью совершенствования конструкций тонких подпорных стенок, является разработка методов и способов уменьшения бокового давления грунта. Новыми конструкциями, отвечающими указанным требованиям, являются анкерно-контрфорсные элементы подпорных



стен, расположенные со стороны грунтовой засыпки и заземленные в ней.

Таким образом, разработка технических решений анкерно-контрфорсных элементов тонких подпорных стен, исследование особенностей их взаимодействия с грунтовой засыпкой и разработка инженерных методов расчета таких конструкций представляют собой актуальную задачу.

Разработано новое конструкторско-технологическое решение шпунтовой стенки при использовании контрфорсных элементов в виде ребер жесткости, расположенных со стороны грунтовой засыпки, которые приводят к увеличению жесткости всей конструкции и уменьшению бокового давления грунта [1].

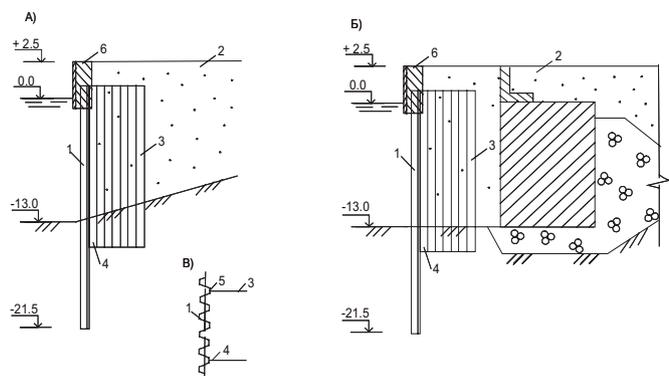


Рис. 1. Конструкция шпунтовой стенки с ребрами жесткости а) как самостоятельное сооружение; б) при реконструкции; в) план. 1 – стальные шпунтовые сваи; 2 – обратная засыпка; 3, 4 – шпунтовые сваи; 5 – замковые соединения; 6 – ж/б надстройка

На рис. 1 показано новое конструкторско-технологическое решение шпунтовой стенки с ребрами жесткости (контрфорсами).

С целью внедрения нового технического решения элементов тонких подпорных стен [1] в практику проектирования и строительства гидротехнических сооружений выполнены экспериментальные исследования бокового давления грунта засыпки на тонкую подпорную стенку с ребрами жесткости (контрфорсами).

Изучению давления грунта на жесткие и гибкие, незаанкеренные и заанкеренные стенки посвящены работы Лазебника Г.Е., Шихиева Ф.М. [2, 3]. Менее изучен вопрос работы контрфорсов. Угловые стенки с контрфорсами исследовали Евстигнеев В.Н., Зеленский В.С. [4, 5] и др. Целью экспериментальных работ Евстигнеева В.Н. и Соколова А.Д. было определение характера распределения давления грунта на стенку при наличии ребер жесткости, Зеленского В.С. – изучение общих

деформаций сооружения и напряжений на контакте засыпки с элементами стенки.

Проведенные исследования не отражают всей специфики работы рассматриваемых конструкций. Лицевая стенка не рассматривалась как тонкая. Следовательно, вопрос в направлении исследования конструкции в виде тонкой стенки с контрфорсами (ребрами жесткости), расположенными со стороны грунтовой засыпки является актуальным.

Цель эксперимента – исследование бокового давления грунта засыпки на тонкую подпорную стенку с ребрами жесткости.

Задачи экспериментальных исследований:

- экспериментальным путем определить характер распределения давления грунта на тонкую стенку при наличии ребер жесткости;
- установить зависимость бокового давления грунта на стенку от геометрических параметров контрфорса;
- определить перемещения грунта засыпки по высоте стенки.

Модель подпорной стенки с ребрами жесткости исследована в грунтовой лотке длиной 170 см, шириной 100 см, высотой 109 см. Боковыми стенками лотка служили листы полированного стекла толщиной 20 мм, опирающиеся на жесткий каркас лотка. Задняя стенка лотка представляет собой жесткую подпорную стенку в виде плиты с ребрами жесткости, отлитую из алюминия. Передняя сторона была открыта на $\frac{3}{4}$ высоты лотка, что позволяло смоделировать грунт основания и облегчало работу с измерительной аппаратурой.

Модель подпорной тонкой стенки представляет собой стальной щит размером 100,5x99 см, толщиной 1,65 мм. Ребра жесткости выполнены из той же стали прямоугольной и трапециевидальной формы, высотой 68 см. Ширина ребра прямоугольной формы 30 см, трапециевидальной с расширением книзу 18 и 42 см (поверху и понизу соответственно), трапециевидальной с расширением кверху 42 и

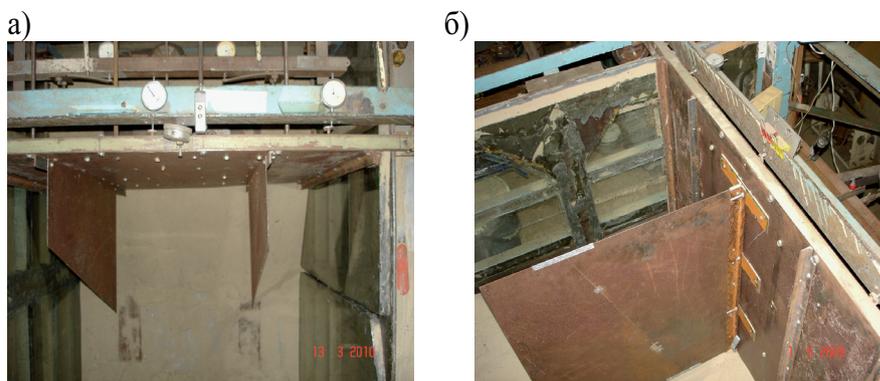


Рис. 2. Общий вид модели тонкой подпорной стенки а) вид сверху – стенка с двумя ребрами жесткости; б) вид сбоку – стенка с одним ребром жесткости



Рис. 3. Силовые датчики

18 см (поверху и понизу соответственно). Общий вид стенки, установленной в лотке, показан на рис. 2.

Материалом засыпки служил мелкозернистый кварцевый люберецкий песок, объемный вес которого $15,8 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения 30° .

Полезную равномерно-распределенную нагрузку создавали бетонными кубиками массой 1 кг, которые укладывались на деревянные доски, обеспечивающие равномерную передачу нагрузки по всей поверхности. Стальной щит-модель был заземлен в грунт и имел две опоры, на которых измерялась результирующая сила давления песка, насыпанного в лоток. Модель подпорной заанкеренной стенки представляла собой тот же стальной щит, опорами которому служили дополнительно четыре анкера, расположенные от верха щита на 20 мм.

Выбор схемы измерительной системы определяется точностью измерений и диапазоном измеряемых значений, а также характером и формой получения опытных данных.

Для изучения величины давления грунта на сооружение использовались различные измерительные устройства – интегральные датчики, индикаторы часового типа и манометр.

По выполняемым функциям в грунтовом лотке установленные датчики можно разделить на три группы:

- 1) датчики Д №1, Д №2, Д №3, Д №6, Д №7, Д №8 (индикаторы часового типа) – для определения перемещения щита-модели по высоте;
- 2) силовые датчики Д №4, Д №5 (индикаторы часового типа и упругие элементы) – для определения суммарной горизонтальной составляющей величины давления грунта на щит-модель;
- 3) датчики НД № 1, НД № 2, НД № 3, НД № 4, НД № 5, НД № 6, НД №7, НД № 8 (интегральные) – для определения величины горизонтального давления грунта на щит-модель по высоте.

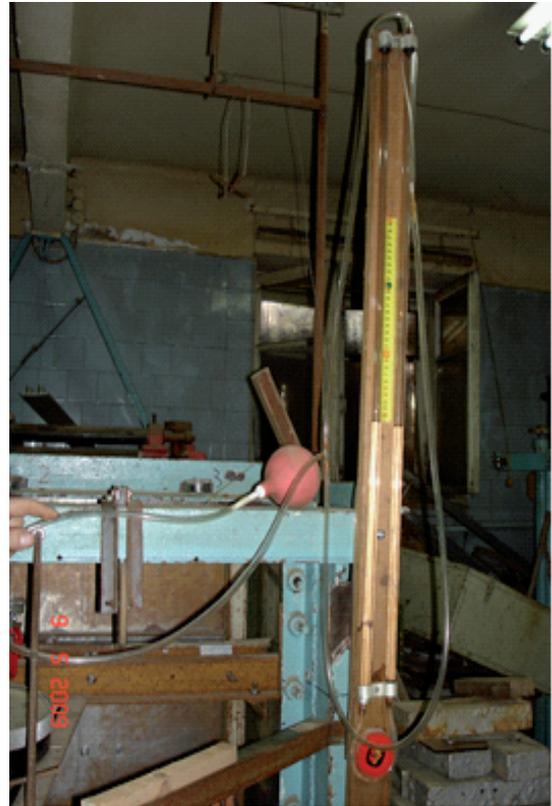


Рис. 4. Водяной манометр

Принцип работы датчиков.

Силовые датчики (рис. 3) изготовлены из рессорной стали толщиной 5 мм и длиной 170 мм, шириной 30 мм. На пластину с одной стороны упирается индикатор часового типа, с другой упор от щита-модели. При положении нагрузки упругий элемент прогибается, и индикатор фиксирует перемещение. Тарировка упругих элементов осуществляется с помощью винтового приспособления через динамометр на 100 кг, работающий на растяжение. Жесткость датчика можно регулировать, перемещая подкладку между датчиком и швеллером.

Интегральный датчик работает следующим образом. Датчик прикрепляется к щиту. Трубка и провод через отверстие в щите выводится наружу. При засыпке грунта диафрагма прижимается через контакт ко дну датчика. В полость датчика подается давление воздуха, и когда давление превысит давление от грунта, мембрана микроскопически переместится и контакт прервется. Этот момент отмечается сигнальным устройством в цепи, где установлен контакт датчика. В качестве регистрирующей аппаратуры выступал водяной манометр с высотой водяного столба 100 см, установленный на вертикальной стойке (рис. 4).

К середине опытного щита по вертикали со стороны песчаной засыпки крепились интегральные датчики с помощью узкой металлической полосы толщиной 1 мм, приклеенной на щит-модель, а



датчики в свою очередь приваривались на полосу. Интегральные датчики по высоте устанавливались на расстоянии 15 см друг от друга, начиная с 4 см от верха, всего 8 датчиков (рис. 5).

С внешней стороны к каркасу грунтового лотка неподвижно крепились две рамы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, на которых устанавливались индикаторы часового типа и силовые датчики. Индикаторы часового типа устанавливались по высоте на середине опытного щита-модели (Д №2, Д №6, Д №7) и на расстоянии 12 см от краев – Д №1, Д №3 для контроля перемещения щита-модели по горизонтали. Индикаторы опирались на щит-модель через регулировочные устройства. По центру щита устанавливались две силовые системы, состоящие из индикаторов часового типа и упругих элементов – Д №4, Д №5 (рис.6).

Тарировка силовых датчиков проводилась перед началом опытов и после их завершения (контрольная). По мере выполнения опытов делали повторное тарирование и соответствующие корректирование тарировочных кривых.

Опыты проводились в такой последовательности.

В лоток засыпался слой песка 47 см, затем его уплотняли. Модель гибкой стенки устанавливалась в вертикальное положение и вдавливалась на глубину 1/3 высоты стенки с помощью домкрата. Фиксировались показания индикаторов часового типа. Отсыпался песок засыпки слоями на полную высоту 62 см. Снимались показания индикаторов часового типа, интегральных датчиков и силовых систем. Опыты повторяли не менее 3 раз. Результаты обрабатывались методом математической статистики.

Стенка с ребрами жесткости работает за счет защемления в грунт, при этом изгибная жесткость на уровне защемления составила:

- для стенки без ребер $EI = 0,000078 \cdot 10^3 \text{ кНм}^2$,
- для стенки с ребрами

жесткости с расширением книзу $EI = 11,25 \cdot 10^3 \text{ кНм}^2$,

- для стенки с прямоугольными ребрами жесткости $EI = 4,43 \cdot 10^3 \text{ кНм}^2$,
 - для стенки с ребрами жесткости с расширением кверху $EI = 1,08 \cdot 10^3 \text{ кНм}^2$, (E – модуль упругости, кН/м^2 ; I – момент инерции, м^4).
- Для достоверности поставленных опытов были

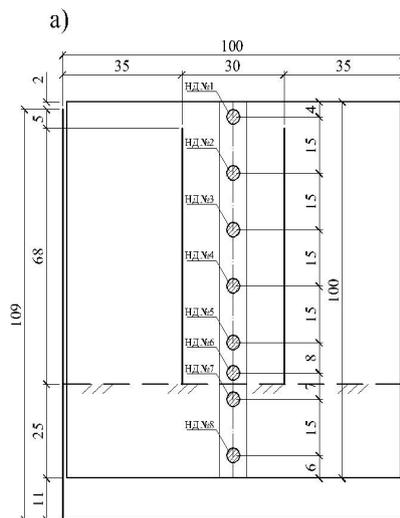


Рис. 5. Расположение интегральных индикаторов датчиков давления.

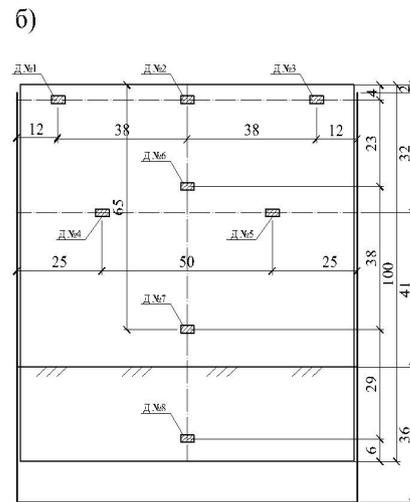


Рис. 6. Расположение датчиков часового типа и силовых.

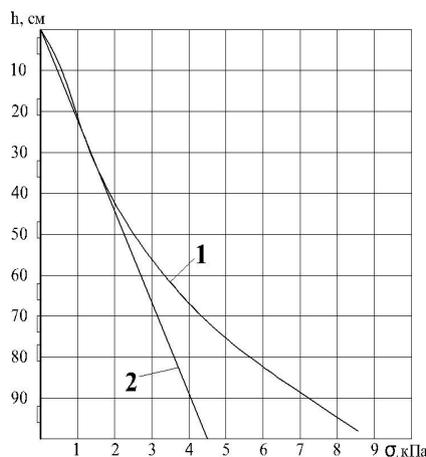


Рис. 7. Эпюра давления на стенку без ребер жесткости: 1 – по эксперименту; 2 – по методу Ш. Кулона

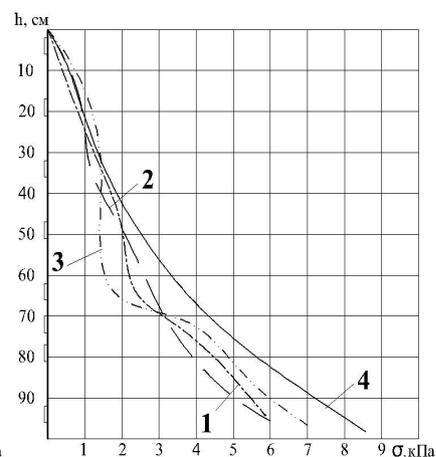


Рис. 8. Эпюра давления на стенку с различными формами ребер жесткости: 1 – прямоугольная; 2 – с расширением книзу; 3 – с расширением кверху; 4 – без ребер жесткости

Таблица 1. Суммарное давление на различные виды стенок

Вид стенки	Без ребер	Стенка с анкерами	Стенка с прямоугольными ребрами жесткости	Стенка с ребрами жесткости с расширением книзу	Стенка с ребрами жесткости с расширением кверху
Давление E, кН	0,658	0,567	0,415	0,381	0,443



построены эпюры давления грунта (кривая 1) на стенку без ребер жесткости, полученная опытным путем и эпюра давления грунта на стенку (кривая 2), построенная по методу Ш. Кулона (рис. 7). Анализ эпюр показывает хорошее качественное и близкое количественное совпадение результатов для жестких незаанкеренных стенок (результаты опытов Дуброва Г.А. [6]). Увеличение давления на нижнем датчике связано со смещением стенки верхним концом от грунта и смещением ее нижнего конца на грунт, вызывая в грунте «отпорное» сопротивление.

Получены эпюры давления на стенку с прямоугольными ребрами жесткости, на стенку с ребрами жесткости с расширением книзу и на стенку с ребрами жесткости с расширением сверху (рис. 8) и суммарное давление E , кН силовых датчиков для стенок, упомянутых выше, а также для стенки с анкерами (табл. 1.).

В результате анализа проведения опытов составлены графики давления грунта (рис. 9), которые наглядно показывают преимущества подпорной стенки с ребрами жесткости перед подпорной стенкой без ребер жесткости и подпорной стенкой с анкерами.

Анализ полученных данных показывает, что применение ребер жесткости в стенке уменьшает суммарное давление на 26,7% при прямоугольной форме ребер жесткости, на 32,8% при ребрах жесткости с расширением книзу и на 21,8% при ребрах жесткости с расширением сверху по сравнению со стенкой с анкерами. Форма эпюр давления на стенку с различными ребрами жесткости, повторяющая очертания треугольника, указывает на то, что стенка с ребрами жесткости работает по схеме консольной балки, защемленной в упругом основании (ниже уровня дна).

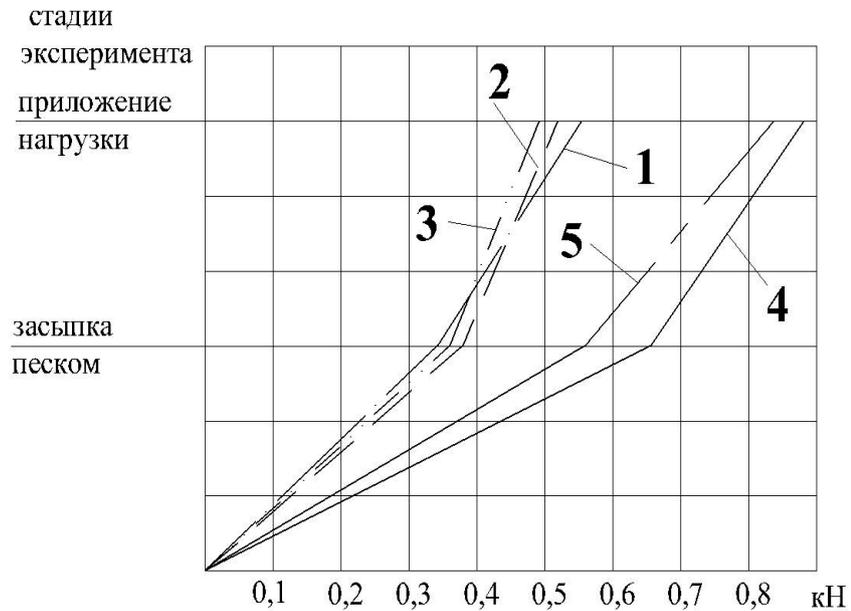


Рис. 9. Графики давления на стенку при приложении нагрузки для стенки с различными формами ребер жесткости: 1 – прямоугольная форма; 2 – с расширением книзу; 3 – с расширением сверху; 4 – без ребер жесткости; 5 – стенка с анкерами.

ния / Лазебник Г.Е. // Разработка аппаратуры и проверка методик экспериментального определения давления. Результаты опытных исследований. - К., 2005.-243 с.

3. Шихиев Ф.М. Кинематическая теория давления грунта на причальные сооружения и гибкие ограждения: дисс. ... доктора техн. наук / Шихиев Ф.М. - Одесса: ОИИМФ, 1964. - 471 с.
4. Евстигнеев В.Н. Экспериментальное изучение давления грунта на стенку с контрфорсами / Евстигнеев В.Н. // Портовое гидротехническое строительство. - М.: Транспорт, 1967. - № 15. - С. 23-28.
5. Зеленский В.С. Результаты лабораторных исследований набережной уголкового типа с наклонными анкерами / Зеленский В.С. // СоюзморНИИпроект. - 1967. - № 17(23). - С. 18-24.
6. Дуброва Г.А. Методы расчета давления грунтов на транспортные сооружения / Дуброва Г.А. - М.: Транспорт, 1969. - 232 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 84888. Україна, МПК(2006) E02D 29/2, E02B 3/06. Підпірна стінка / Дубровський М.П, Слободяник Г.В.; заявник та патентовласник Одеський національний морський університет; заявл. 29.05.2006; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23. – 4 с.
2. Лазебник Г.Е. Давление грунта на сооруже-