Саинов М.П., Богатырев И.Л.

Влияние толщины противофильтрационной стены в основании грунтовой плотины на её напряжённое состояние

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/spc-22-07-2019-03

idsp: sciencepublic-22-07-2019-03

Аннотация

Противофильтрационные стены в основании грунтовых плотин могут испытывать значительные сжимающие вертикальные напряжения, а также растягивающие напряжения. Результаты выполненных исследований показали, что в большинстве случаев увеличение толщины не является эффективным способом снижения этих напряжений. Толщина стены в большинстве случаев не влияет на величину сжимающих напряжений, которые воспринимаются ею при осадках основания.

Ключевые слова: противофильтрационная стена, напряжения, модуль деформации, прочность, грунтовая плотина

Abstract

Seepage-control walls in earthfill dam foundations may be subject to considerable vertical compressive stresses as well as to tensile stresses. We carried out studies on the impact of the wall thickness on the values of stresses. It was revealed that in most cases the wall thickness does not affect the value of compressive stresses, which are perceived by the wall at foundation settlements. If there is a cross bend of the wall the increase of thickness leads to increase of risk of affecting the tensile strength condition.

Keywords: cut-of-wall, stress, deformation modulus, strength, earthfill dam

Часто в качестве противофильтрационных элементов в основании плотин используются конструкции типа «стена в грунте» [1]. Важной задачей проектирования таких противофильтрационных элементов является обеспечение их прочности. Исследования [2] показали, что из-за веса выше лежащей грунтовой плотины в стене могут возникать высокие вертикальные сжимающие напряжения, сопоставимые по величине с прочностью материала стены на сжатие. Это происходит в том случае, если материал стены более жёсткий, чем окружающий её грунт.

Исследования установили, что чем выше модуль деформации материала стены, тем выше в ней напряжения. Однако это зависимость не линейная. При небольших соотношениях модулей деформации стены и грунта основания ($E_{ст}/E_{гр} < 20$) рост напряжений может быть описан степенной зависимостью [3]. Однако существует предел роста напряжений, он ограничен сдвиговой прочностью контакта между стеной и грунтом. Предел напряжений достигается при больших значениях $E_{ст}/E_{гр}$.

По этой причине рекомендуется выполнять стену не из жёсткого бетона, а из более деформируемого глиноцементобетона [4]. Однако теоретически для обеспечения прочности материала стены может быть предложен другой путь. Традиционно для снижения напряжений в конструкции увеличивают её толщину. В данной публикации представлены результаты исследования эффективности данного способа.

Исследование проводилось на примере противофильтрационной стены, выполненной в основании высокой каменно-земляной плотины с центральным ядром. Высота плотины была принята равной 100 м, а глубина стены – 120 м. Рассматривались 2 варианта граничных условий – «висячая» стена и стена, опёртая на жёсткий скальный

грунт. Модуль линейной деформации грунта основания был принят равным 100 МПа, а коэффициент Пуассона – 0,35.

Рассматривались 2 варианта толщины стены. В первом варианте толщина стены принималась равной 1 м, а во втором – 1,5 м. Рассматривались несколько вариантов типов материала противофильтрационной стены – от литого глиноцементобетона до железобетона. Соответственно модуль деформации материала стены варьировался от 100 МПа до 29000 МПа. Таким образом, диапазон соотношения модулей деформации стены и грунта основания составил от 1 до 29.

Исследования проводились методом конечных элементов. Для расчётов использовалась вычислительная программа NDS_N, составленная Саиновым М.П. [5]. Материал стены принимался равным линейно деформируемым. Учитывалась возможность проявления нелинейных эффектов на контакте между грунтами и стеной – проскальзывания и отлипания. Угол внутреннего трения на контакте принимался равным 38° , а удельное сцепление равным 0.

Конечно-элементная модель плотины и основания была выполнена довольно подробной. Она насчитывала 1157 конечных элементов. Для моделирования стены использовались конечные элементы высокого порядка. Общее количество степеней свободы составило 11208.

Анализ НДС проводился для двух моментов времени. Первый соответствует моменту времени до наполнения водохранилища, а второй – после формирования в основании плотины фильтрационного потока.

Анализ результатов расчёта НДС для первого момента времени подтвердил сделанные ранее выводы об особенностях формирования НДС противофильтрационной стены. Показатель степени, характеризующий нелинейную зависимость между соотношением $E_{ст}/E_{гр}$ и вертикальными напряжениями в стене σ был получен равным 0,84.

Новыми результатами являются следующие:

- При $E_{ст}/E_{гр} < 50$ толщина стены мало влияет на величину вертикальных сжимающих напряжений в ней. Это объясняется тем, что при данном соотношении стена и грунт деформируются совместно – вертикальные деформации грунта и стены совпадают. Эти общие деформации мало зависят от толщины стены, поэтому и напряжения в стене мало зависят от её толщины;
- Увеличение толщины стены снижает предельное значение вертикальных напряжений в ней. Это объясняется тем, что высокие сжимающие продольные усилия в стене передаются от грунта через трение. При повышении жёсткости стены увеличивается длина той части контакта, которая находится в предельном состоянии (когда касательные напряжения соответствуют сопротивлению сдвигу). Это ограничивает усилия, передаваемые на стену через трение. За счёт этого при $E_{ст}/E_{гр} > 100$ увеличение толщины стены позволяет уменьшить значение вертикальных сжимающих напряжений в ней.

Например, в «висячей стене» из железобетона при увеличении толщины в 1,5 раза максимальные сжимающие напряжения уменьшились с 29,2 МПа до 20,6 МПа. Аналогично в стене-стойке напряжения уменьшились с 41,8 МПа до 29,8 МПа.

Анализ результатов расчёта НДС на второй момент времени (после наполнения водохранилища) показал, что увеличение толщины стены не значительно влияет на величины и характер распределения её изгибных деформаций, возникающих при восприятии горизонтальных сил. Поэтому в соответствии теорией изгиба тонкостенных конструкций (основанной на уравнении изгибаемой оси балки) увеличение толщины стены приводит к увеличению изгибающего момента и, соответственно, к увеличению неравномерности распределения напряжений между гранями стены. Из-за этого в

варианте с увеличенной толщиной стены появление растягивающих напряжений в стене становится более вероятным.

Выводы:

1. Увеличение толщины противофильтрационной стены, как правило, не ведёт к уменьшению в ней сжимающих продольных напряжений, возникающих при восприятии вертикальных сил. Толщина стены играет роль только в случае высокой жёсткой стены.

2. Изгибные деформации противофильтрационной стены мало зависят от толщины стены. При восприятии стеной горизонтальных сил в стене с большей толщиной опасность образования растягивающих напряжений увеличивается.

3. Увеличение толщины противофильтрационной стены в основании грунтовой плотины нельзя считать эффективным способом обеспечения её прочности.

***

1. Радченко В.Г., Лопатина М.Г., Николайчук Е.В., Радченко С.В. // Опыт возведения противофильтрационных устройств из грунтоцементных смесей // Гидротехническое строительство. 2012. №12. С.46-54.
2. Саинов М.П., Лубьянов В.В. Напряжённо-деформированное состояние противофильтрационных стен в основании грунтовых плотин // Инженерно-строительный журнал. 2017. №5(73). С.96-112.
3. Саинов М.П. Приближенный прогноз прочности противофильтрационной стены в основании плотины // Научное обозрение. 2017. №4. С.34-38.
4. ICOLD. Filling materials for watertight cut-off walls. 1985. Bulletin 51.
5. Саинов М.П. Вычислительная программа по расчету напряжённо-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 4. С.208-225.