

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова, Т.В. Чеснокова, Д.С. Коняшов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПОРТОВОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS

Решение поставленной задачи выполнено на примере причала ОАО «Капролактант», расположенного в районе г. Дзержинска на р. Ока. Гидротехническое сооружение причала представляет собой вертикальную разрезную двуханкерную набережную из железобетонного шпунта ШТБ-80 с надстройкой из шпунта ШТБ-50, заанкерованную двумя рядами анкерных тяг, диаметрами в верхнем ряду 56 мм, в нижнем ряду – 90 мм. В тыловой части сооружения анкерные тяги крепятся к анкерным плитам. На уровне нижнего шапочногo бруса вдоль всего причала расположено разгрузочное устройство в виде свайного ростверка. Причал предназначен для перегрузки поваренная соли навалом, оборудован порталными кранами грузоподъемностью 10 т, на фронте и в тылу имеет склады. В основании складов лежит железобетонное монолитное покрытие толщиной 0,4 м.

Согласно обследованию технического состояния причала, проведенному ООО «Нижегородстройдиагностика» в 2012 г. сооружение имеет значительное количество различных дефектов: разрушение шапочногo бруса с оголением и коррозией арматуры; трещины в надстройке и шпунте; разрыв и расхождение замков между шпунтинами; высачивание фильтрационного потока и вынос грунта засыпки. Наибольшие разрушения имеет нижний шапочный брус. Практически по всей площади бруса со стороны фасада стенки имеются сколы бетона с оголением и без оголения арматуры. Также сильно повреждена поверхность шпунтового ряда. На всей надводной его площади имеются сколы бетона, а также наблюдаются значительные расхождения швов между шпунтами. Металл закладных деталей швов повсеместно изъеден коррозией, а также 40% швов по всей длине стенки имеют раскрытие шва на ширину от 2 до 6 см. Надстройка набережной имеет небольшие повреждения. Авторами было проведено исследование возможных причин, обуславливающих повреждения сооружения.

Особенностью конструкции данного причального сооружения является наличие разгружающего свайного ростверка. Установлено, что раскрытие замков между шпунтинами находится в районе примыкания ростверка к шпунту, поэтому нами проведено исследование его влияния на сооружение с помощью программного комплекса Plaxis, позволяющего определять напряженно-деформированное состояние сооружений, взаимодействующих с грунтом, методом конечных элементов с учетом различных условий: пластических деформаций, консолидации грунта, анализа фильтрации, деформаций и устойчивости грунтов гидротехнических сооружений. Расчетная схема сооружения описывает все особенности моделируемой конструкции и создана таким образом, чтобы границы расчетной модели не влияли на получаемый результат. Процесс моделирования осуществлялся в несколько этапов:

- Создание геометрической модели. Построение производилось восходящим методом от точек к линиям и областям. Слои грунта описываются кластерами; шпунт, надстройка и анкерная плита – балочными элементами; анкерная тяга стержневым элементом. Созданным геометрическим контурам присваиваются характеристики материалов. Грунт засыпки согласно данным инженерно-геологических изысканий имеет сложную слоистую структуру, грунт основания сложен из песка среднезернистого с подстилающими слоями глины. Модель содержит геометрическое описание этапа строительства на момент возведения котлована под сооружение и этапа эксплуатации.

- Нагрузки и граничные условия. Нагрузка на поверхности территории причала принималась проектной равномерно-распределенной, ступенчатой. В прикордонной части она составляет 40 кПа, в складской 153 кПа. На границах модели устанавливались стандартные граничные условия, предлагаемые программой по умолчанию.

- Построение сетки конечных элементов. На геометрической модели создана сетка конечных элементов, состоящая из 15-узловых треугольных конечных элементов.

- Гидравлические условия. На этом этапе моделируется уровень воды, уровень грунтовых вод и генерирование поровых давлений возникающих в грунте. Для расчетной модели уровень воды и грунтовых вод равны проектному уровню воды – 64,5 м;

- Начальная геометрическая конфигурация;

- Расчеты. Задание этапов строительства и получение результатов.

Пример принятой геометрической области моделирования приведен на рисунке 1.

Для обоснования применимости Plaxis к расчету причальных сооружений и оценке корректности получаемых результатов был произведен сравнительный анализ результатов расчетов по методу упругой линии (модель Блюма–Ломейера) и по программе. Результаты приведены в таблице 1.

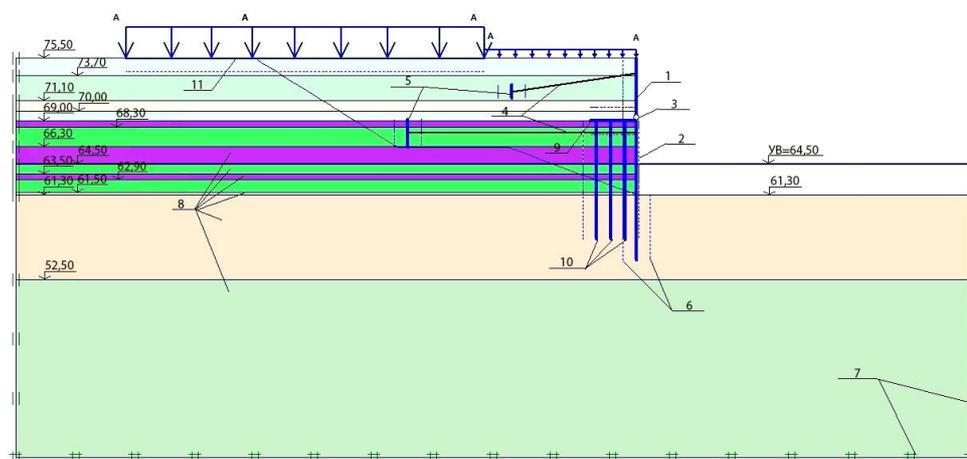


Рис. 1. Расчетная схема; 1-надстройка; 2-шпунт; 3-шарнирное соединение; 4-анкерные тяги; 5-анкерные плиты; 6-интерфейсы (области взаимодействия); 7-граничные условия; 8-кластеры грунта; 9-разгрузочная плита; 10-свая; 11-покрытие склада.

Таблица 1

Сравнительный анализ результатов расчетов

Элемент	Изгибающий момент, возникающий в сечении, кНм/м		Расхождение результатов, %
	Программный пакет «Plaxis»	Ручной расчет по методу упругой линии	
Шпунт	240,59	240,89	0,12
Надстройка	71,96	73,76	2,50

По данным таблицы 1 видно, что расхождение результатов расчетов не превышает 2,5%, что является очень хорошей сходимостью.

В связи с отсутствием части проектной документации и каких-либо данных об особенностях проектирования, возведения и эксплуатации свайного ростверка, были рассмотрены возможные варианты его расположения в сооружении:

Схема 1. Причалное сооружение без наличия разгрузочного устройства (рисунок 2а);

Схема 2. Шарнирное крепление разгрузочного устройства к шпунтовому ряду (рисунок 2б);

Схема 3. Жесткое крепление разгрузочного устройства к шпунтовому ряду (рисунок 2в);

Схема 4. Жесткое крепление разгрузочного устройства к надстройке (рисунок 2г);

Схема 5. Устройство свайного ростверка без взаимодействия с причальной стенкой (на расстоянии 5 см), (рисунок 2д).

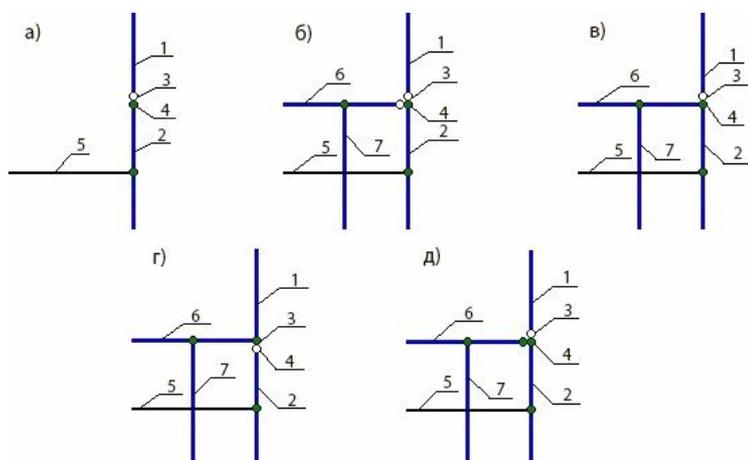


Рис. 2. Варианты крепления разгрузочного устройств:

а) Схема 1; б) Схема 2; в) Схема 3; г) Схема 4; д) Схема 5;

1-надстройка; 2-шпунт; 3-шарнирное крепление; 4-узлы конструкции;

5-анкерная тяга; 6-разгрузочная плита; 7-свая.

Разгрузочное устройство в виде свайного ростверка служит для восприятия давлений от грунта и нагрузок от перегрузочных машин и грузов, действующих на конструкцию сооружения и увеличения несущей способности сооружения. Разгружающее действие должно проявляться в снижении напряжений и понижении изгибающего момента в элементах конструкции, а, следовательно, и их деформаций.

Пример результатов расчетов приведен на рисунках 3, 4.

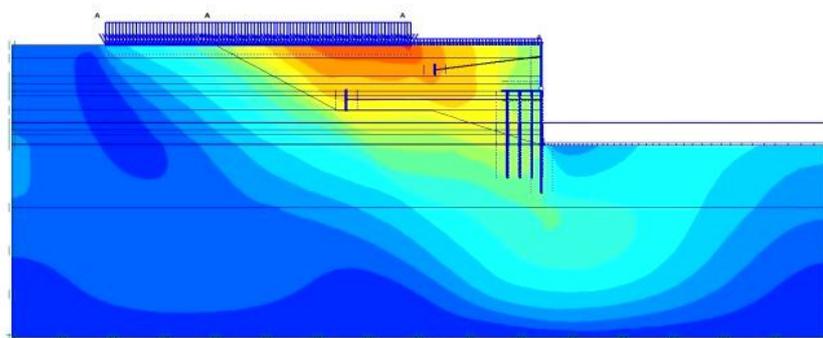


Рис. 3. Перемещения возникающие в расчетной модели

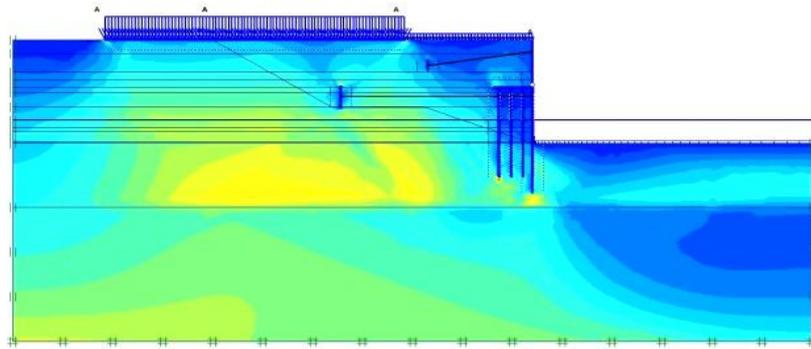


Рис. 4. Напряжения возникающие в расчетной модели

Изгибающие моменты, возникающие в шпунте при расчете различных схем крепления разгрузочного устройства, приведены в таблице 2.

По данным таблицы 2 видно, что изгибающие моменты, возникающие в шпунте, при расчете по всем схемам превышают значение момента по трещиностойкости шпунта ШТБ-80, равного 274,14 кНм. Однако, если рассматривать схему без разгрузочного ростверка (схема 1), то в этом случае моменты выше не только в пролетной части шпунта, но и в заземленной и значения их выше нормы на 29% в пролете и на 5% в заземлении, что говорит о необходимости применения разгрузочного устройства. При опирании свайного ростверка на шпунт (схема 3) видно, что изгибающие моменты в пролете выше нормы на 54%. Кроме этого, возникает дополнительный момент в месте опирания ростверка и соединения шпунта с надстройкой, значение которого почти в три раза выше нормативного. При устройстве свайного ростверка на расстоянии 5 см от стенки (схема 5) видно, что моменты значительно снижаются и приближаются к нормативному, что является самой благоприятной ситуацией.

Таблица 2

Изгибающие моменты, возникающие в шпунте при различных схемах крепления разгрузочного устройства

Вариант схемы	Расчетный изгибающий момент, возникающий в сечении, кНм/м		
	В пролетной части	В заземленной части	На уровне крепления разгрузочного устройства
Схема 1	390,04	287,89	–
Схема 2	350,57	170,65	–
Схема 3	597,80	140,07	801,74
Схема 4	328,40	171,66	–
Схема 5	274,46	216,129	–

Таким образом, данные расчетов показали, что значения моментов, значительно превышающих нормативные для шпунта ШТБ-80, появляются при схеме опирания свайного ростверка на шпунт и могут служить причиной возникновения повсеместно трещин в шпунте и расхождения замковых соединений. В этом случае свайный ростверк не обладает разгружающим действием, а, наоборот, создает дополнительное давление на сооружение. Если свайный ростверк отодвинуть от стенки, то он начинает работать согласно проектному решению, то есть воспринимать часть давления и разгружать основную конструкцию сооружения.

Это явилось основанием для рассмотрения различных вариантов расположения ростверка относительно шпунта. Были произведены дополнительные расчеты для

схем удаления ростверка от вертикальной стенки в границах 5 см – 6 м. Результаты расчетов приведены на рисунке 5.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что наибольший разгрузочный эффект появляется при расположении свайного ростверка на расстоянии 2–3 м от шпунта. В этом случае изгибающие моменты в конструкции не превышают 210 кНм, что показывает, что большую часть нагрузки от веса вышележащего грунта и нагрузок на нем воспринимает свайный ростверк.

Таким образом, для возможности дальнейшей эксплуатации причала необходимо произвести ремонтные работы в виде: демонтажа надстройки и верхнего ряда анкерных тяг с откопкой плиты свайного ростверка и частичного демонтажа плиты свайного ростверка, которая опирается на шпунтовый ряд; установки новой надстройки и анкерных тяг. Также необходимо ограничить высоту штабеля соли для уменьшения давлений, действующих на причальное сооружение.

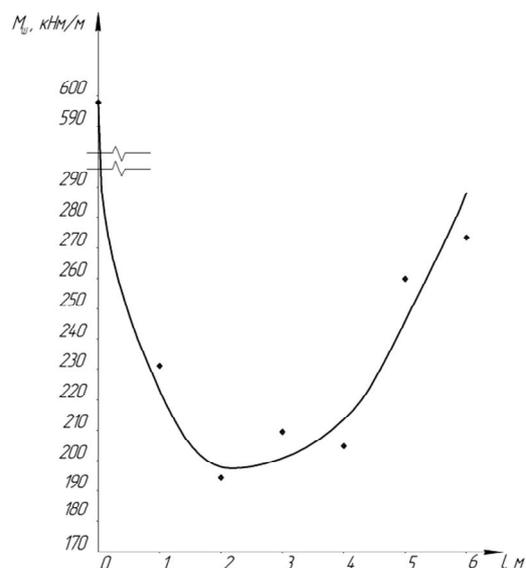


Рис. 5. График зависимости изгибающего момента от расположения свайного ростверка

Выполненные расчеты, основанные на использовании возможностей программного комплекса Plaxis подтверждают, что этот программный продукт является эффективным инструментом решения сложных инженерных задач, малоприменимых к исследованию стандартными методами.