

составляет 10 длин расчетного судна. Затем импортировали ее через формат STL в СИА.

2. Задание математической модели. В нашей задаче судно движется в потоке жидкости со свободной поверхностью, которая описывается при помощи многофазной модели. Рассчитываемыми уравнениями в этом случае будут: скорость, турбулентность и относительный объем жидкости в ячейке. Это означает, что будут решаться только уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости, уравнения переноса для турбулентной энергии и диссипации и уравнение переноса *функции заполнения*.

3. Задание граничных условий. На входе в канал гр.условие «Нормальный вход/выход»; на выходе гр.условие «Нулевое давление/выход»; на свободной поверхности гр.условие симметрии «Стенка с проскальзыванием»; дно канала и откосы гр.условие стенки с логарифмическим профилем скорости у стенки «Стенка, логарифмический закон»

4. Задание подвижного тела с помощью фильтра. На этом этапе импортируем модель корпуса расчетного крупнотоннажного судна.

5. Задание параметров метода расчета. На этом этапе задаются такие параметры как: опорные значения (температура, давление), начальное значение скорости судна, уровень жидкости и её свойство.

6. Задание исходной расчетной сетки. Задаём начальную расчетную сетку, сгущенную в области корпуса судна. Затем выбираем шаг по времени и задаем глобальные параметры расчета.

7. Расчет подготовленного варианта. Время расчета зависит от количества заданных ячеек. В процессе расчета есть возможность контролировать ход вычисления и вносить некоторые изменения. Отображение результатов моделирования возможно в различных видах: в виде заливки, графиков или изоповерхностей.

Проведенное нами моделирование процесса движения в канале судна, приближенного к реальному прототипу, дало положительный результат. Это говорит о возможности применения данного метода для исследования процесса движения крупнотоннажных судов в ограниченном потоке с получением вполне приемлемых результатов.

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова, А.С. Иютин, И.С. Командиров
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА НА ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ В ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ НАБЕРЕЖНОЙ

Ключевые слова: изгибающий момент, грунт основания и засыпки, угол внутреннего трения, шпунтовые набережные, одноанкерная и двуханкерная стенки, корреляционный анализ

В статье рассмотрены результаты исследования влияния физико-механических характеристик грунтов засыпки и основания, положения высотных отметок основания на изгибающие моменты в одноанкерной и двуханкерной железобетонных причальных стенках.

При расчетах причальных сооружений принимается определенный набор физико-механических свойств грунтов: угол внутреннего трения, удельное сцепление, удельный вес и др. Расчетные схемы сооружений принимаются с учетом возможных технологических особенностей строительных работ: устройства котлована для строительства сооружения, уровня установки анкерных опор, глубины забивки шпунтов и т.д.

Для оценки степени влияния физико-механических характеристик на изгибающий момент в шпунтовой стенке были проведены расчеты при разных значениях угла внутреннего трения и удельного веса грунтов. Удельное сцепление для грунта засыпки не учитывалось в силу его малого значения. Результаты расчета показывают, что наибольшее влияние на изгибающий момент оказывает угол внутреннего трения грунта. В то же время снижение плотности грунта (его разуплотнение) сопровождается снижением угла внутреннего трения и, соответственно, увеличением изгибающего момента в стенке.

Для более детальных расчетов использовались методы численного моделирования на примере одноанкерной и двуханкерной железобетонных шпунтовых стенок.

Основные характеристики нескальных грунтов принимались согласно [1, 2]: для песчаных грунтов при изменении удельного веса от 14 до 23кН/м³ угол внутреннего трения изменяется от 26° до 43°, модуль деформации от 10 до 150МПа.

В нашем исследовании принималось моделирование разных ситуаций со «слабыми» и «сильными» грунтами при следующих характеристиках:

- угол внутреннего трения принимался от 26 до 42 градусов;
- меньшие значения угла внутреннего трения моделировали «слабый» грунт, – большие значения – «сильный» грунт.

Характер влияния грунтов основания и засыпки рассматривался для возможных вариантов сочетания грунтов засыпки и основания:

- 1 вариант – «слабый» грунт засыпки и основания;
- 2 вариант – «слабый» грунт засыпки и «сильный» грунт основания;
- 3 вариант – «сильный» грунт засыпки и основания;
- 4 вариант – «сильный» грунт засыпки и «слабый» грунт основания.

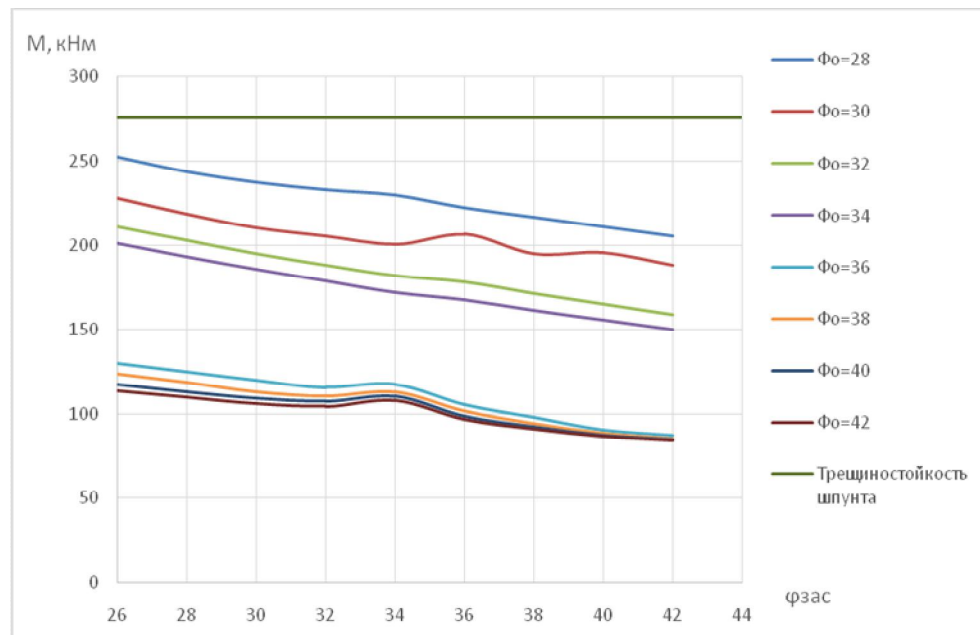
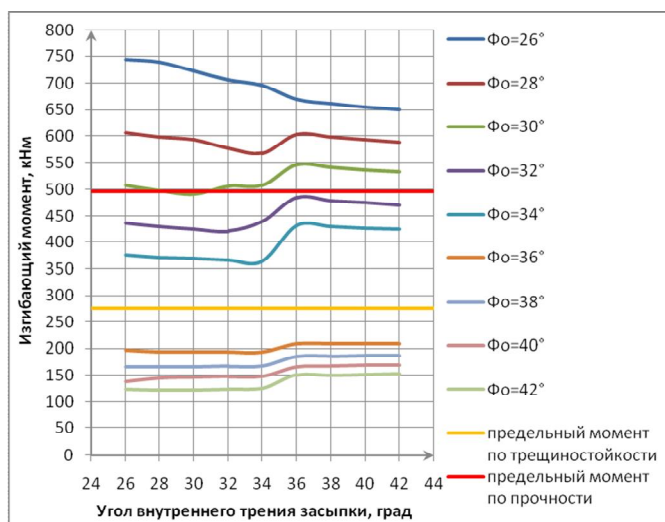
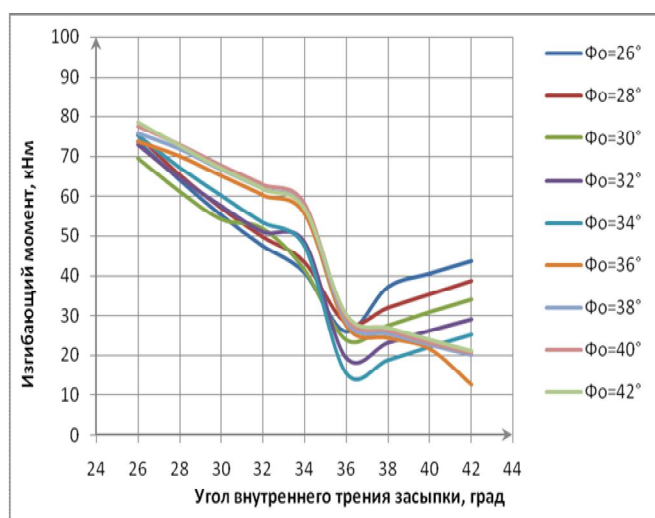


Рис. 1. Изгибающие моменты в одноанкерной стенке

Рассматривая результаты исследования влияния характеристик грунтов засыпки и основания на изгибающий момент стенки можно сказать, что для одноанкерной стенки с увеличением угла внутреннего трения засыпки и основания значения изгибающих моментов уменьшаются.



а)



б)

Рис. 2. Изгибающие моменты в двуханкерной стенке:
а — для шпунта; б — для надстройки

Для двуханкерной стенки зависимости следующие:

а) при «слабом» основании и «слабой» засыпке для надстройки с увеличением угла внутреннего трения грунта засыпки изгибающий момент уменьшается; с увеличением угла внутреннего трения грунта основания — растет. Для шпунта как с увеличением угла внутреннего трения грунта основания, так и грунта засыпки изгибающий момент уменьшается.

б) при «сильном» основании и «слабой» засыпке для надстройки с увеличением угла внутреннего трения грунта засыпки изгибающий момент уменьшается, с увеличением угла внутреннего трения грунта основания — растет. Для шпунта при фиксированном значении угла внутреннего трения грунта основания значения изгибающего момента изменяются незначительно.

в) при «сильной» засыпке и «слабом» основании для надстройки с увеличением угла внутреннего трения грунта засыпки изгибающий момент растет, с увеличением угла внутреннего трения грунта основания — уменьшается. Для шпунта как с увеличе-

нием угла внутреннего трения грунта основания, так и грунта засыпки изгибающий момент уменьшается.

г) при «сильной» засыпке и «сильном» основании для надстройки с увеличением угла внутреннего трения грунта засыпки изгибающий момент уменьшается, с увеличением угла внутреннего трения грунта основания – растет. Для шпунта при фиксированном значении угла внутреннего трения грунта основания значения изгибающего момента остаются примерно одинаковыми.

Для выявления влияния грунта засыпки и основания на изгибающие моменты в стенке, был выполнен корреляционно-регрессионный анализ.

Полученные коэффициенты парной корреляции для надстройки двуханкерной стенки между углом внутреннего трения грунта основания и изгибающим моментом $r\varphi_{осн} M_{изг}^{max} = 0,043$, $r\varphi_{зас} M_{изг}^{max} = -0,903$ показывают, что на изгибающий момент в надстройке большее влияние оказывает грунт засыпки. Связь между моментом и углом внутреннего трения здесь обратная, т.е. чем больше значение $\varphi_{зас}$, тем меньше значение $M_{изг}^{max}$. Для шпунта по коэффициентам парной корреляции $r\varphi_{осн} M_{изг}^{max} = -0,971$, $r\varphi_{зас} M_{изг}^{max} = 0,034$ видно, что большее влияние на изгибающий момент оказывает грунт основания.

Для одноанкерной стенки $r\varphi_{осн} M_{изг}^{max} = -0,917$, $r\varphi_{зас} M_{изг}^{max} = -0,258$ влияние на шпунт оказывает в большей степени грунт основания.

Таким образом, прочность, плотность грунта основания напрямую влияет на изгибающие моменты в шпунте обеих конструкций: чем прочнее основание, тем меньший изгибающий момент возникает в шпунте.

В связи с такой высокой оценкой значимости грунта основания на изгибающий момент в шпунте дальнейшие исследования нами проводились по выявлению влияния высотного положения естественной поверхности основания. В традиционных расчетных схемах при расчетах прочности, устойчивости причальных сооружений естественная поверхность грунта основания располагается на уровне проектного дна акватории.

Естественная поверхность грунта основания принималась исходя из технологии проведения строительных работ на нескольких высотных уровнях между отметкой дна акватории и отметкой низа анкерной плиты (расстояние между ними H_{max} принято за 100%, расстояние между отметкой дна и расчетным уровнем H_p). Результаты расчета приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Результаты расчета для одноанкерной стенки

H_p/H_{max}	I вариант	II вариант	III вариант	IV вариант
100	221,75	92,37	93,65	210,29
67	228,18	92,03	95,89	-
33	213,87	88,25	94,42	219,88
0	218,93	118,88	91,18	205,7

Таблица 3

Результаты расчета для двуханкерной стенки

H_p/H_{max}	Мизг., кНм	I вариант	II вариант	III вариант	IV вариант
100	Мнад.	51,49	60,63	26,35	86,7
	Мшп.	485,04	149,64	185,27	568,19
79	Мнад.	54,37	64,3	26,93	110,22

H_p/H_{\max}	Мизг., кНм	I вариант	II вариант	III вариант	IV вариант
	Мшп.	491,35	165,03	184,15	542,84
59	Мнад.	53,57	66,42	27,62	103,11
	Мшп.	506,36	199,59	189,74	523,74
29	Мнад.	55,24	69,25	26,81	94,78
	Мшп.	513,32	261,71	192,1	478,47
0	Мнад.	56,13	71,17	25,56	89,43
	Мшп.	520,31	310,91	182,29	382,3

Рассматривая результаты по 1 варианту расчета, когда в модели заложены характеристики грунтов: «слабая» засыпка и «слабое» основание можно сделать выводы:

- для надстройки высотная отметка естественной поверхности основания не оказывает значительного влияния на изгибающий момент в ней;
- для шпунта двуханкерной стенки значения изгибающих моментов велики и в ряде случаев превышают предельные значения;
- для одноанкерной стенки изгибающие моменты в целом выше, чем при других вариантах расчета, но ниже предельных.

Во 2 варианте расчета, когда в модели заложены характеристики грунтов: «слабая» засыпка и «сильное» основание делаем вывод:

Для двуханкерной стенки:

- высотное положение естественной поверхности основания значительного влияния на изгибающие моменты в надстройке не оказывает;
- для шпунта изгибающий моменты существенно зависит от отметки дна котлована и при его углублении до дна акватории возрастает более, чем в 2 раза.

Для одноанкерной стенки заглубление дна котлована увеличивает изгибающий момент в стенке и, например, при достижении им дна акватории возрастает на 29%.

Для 3 варианта расчета (при характеристиках грунтов: «сильная» засыпка и «сильное» основание) положение дна котлована не оказывает значительного воздействия на изгибающий момент как для двуханкерной, так и одноанкерной стенок

Рассматривая результаты IV варианта расчета, когда в модели заложены характеристики грунтов: «сильная» засыпка и «слабое» основание, имеем:

- для надстройки при понижении дна котлована изгибающие моменты до уровня 10,65м увеличиваются, а затем уменьшаются.
- для шпунта двуханкерной стенки при понижении естественной поверхности основания уменьшается изгибающий момент, также ведет себя изгибающий момент в одноанкерной стенке.

Выводы:

1. При прочном грунте основания дно котлована причального сооружения должно проходить по естественной поверхности основания.
2. При слабом грунте основания необходимо заменять толщу слабых грунтов, что подтверждают результаты исследований других авторов.
3. Прочные грунты основания и засыпки позволяют существенно снизить изгибающие моменты в конструкциях и тем самым могут послужить основанием для назначения более легких конструкций.

Список литературы:

- [1] Пособие к СН-РФ 54.1-85 – М.: Гипроречтранс, 1991.
 [2] СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – Введ. 2011-05-20 – М.: Минрегион России, 2011.