

УДК 627.335

Алонзов Алексей Александрович<sup>1</sup>, магистрант 2 курса направления подготовки 08.04.01 «Строительство»,

e-mail: cool.leha-al.52@yandex.ru

Мильцын Дмитрий Алексеевич<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений,

e-mail: miltsinda@mail.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХАНКЕРНОГО НЕРАЗРЕЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО БОЛЬВЕРКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ АНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

*Аннотация.* В статье представлено исследование влияния высотных параметров, а именно высоты крепления верхней и нижней анкерных тяг к шпунту и величины заглубления анкерной плиты, на параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) двуханкерного неразрезного металлического больверка. Данные, полученные в результате исследования, позволяют производить рациональный выбор параметров анкерных устройств и оптимизировать конструкцию причального сооружения в соответствии с возникающими в ней усилиями.

*Ключевые слова:* причальное сооружение, двуханкерный больверк, анкерное устройство, анкерные тяги, анкерная плита, изгибающий момент, анкерные реакции, напряженно-деформированное состояние

Изучению проблематики исследования НДС портовых гидротехнических сооружений различных конструкций были посвящены труды отечественных [1], [2], [3] и зарубежных ученых [4].

Существующие нормы проектирования причальных портовых сооружений в виде шпунтовых набережных различного типа [5] указывают оптимальные диапазоны геометрических значений конструктивных элементов для безанкерных и одноанкерных больверков. Однако точных значений или рекомендуемых диапазонов размеров для конструктивных элементов двуханкерных неразрезных больверков действующие нормы не содержат. В связи с этим, при выполнении работ по проектированию конкретного сооружения в виде двуханкерного больверка приходится решать трудоемкую технико-экономическую задачу по нахождению оптимальных решений и подбору наиболее рационального положения анкерных устройств для снижения усилий в конструкции и минимизации затрат на её возведение.

В качестве основных параметров НДС двуханкерного больверка в исследовании были рассмотрены изгибающий момент в шпунтовой стене, реакция, возникающая в верхней анкерной тяги и реакция, возникающая в нижней анкерной тяги.

Исследование напряженного деформированного состояния (НДС) производилось для нескольких схем. Для принятой первоначальной расчетной схемы с неизменными геометрическими параметрами шпунтовой стены и инженерно-геологическими условиями, рассматривались различные положения анкерных устройств, в том числе:

- места крепления верхней анкерной тяги к шпунту относительно поверхности территории;
- места крепления нижней анкерной тяги к шпунту относительно поверхности территории;
- глубина заложения анкерной плиты относительно поверхности территории.

Расчетные схемы сооружения приведена на рисунке 1, при этом изменяемые параметры:  $h_1$  - расстояние от отметки территории до места крепления верхней анкерной тяги к шпунту,  $h_2$  - расстояние от отметки территории до места крепления нижней анкерной тяги к шпунту,  $t_{пл}$  – заглубление анкерной плиты.

Изменяемые параметры анкерных устройств приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение знаков препинания в УДК

№ п/п	Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение	Шаг значений
1	Высота крепления верхней анкерной тяги к шпунтовому ряду от территории	2,0 м	4,0 м	0,5 м
2	Высота крепления нижней анкерной тяги к шпунтовому ряду от территории	6,0 м	8,0 м	0,5 м
3	Глубина заложения плиты	6,0 м	10,0 м	2,0 м

Для всех расчетных схем общая длина шпунта составляла 23 м, глубина погружения шпунта в грунт 9 м, свободная высота набережной 11 м. Анкерная плита принята в виде единой железобетонной вертикальной плиты высотой 3,0 м с креплением металлическими анкерными тягами за середину. Расчетная схема сооружения представлена на рисунке 1.



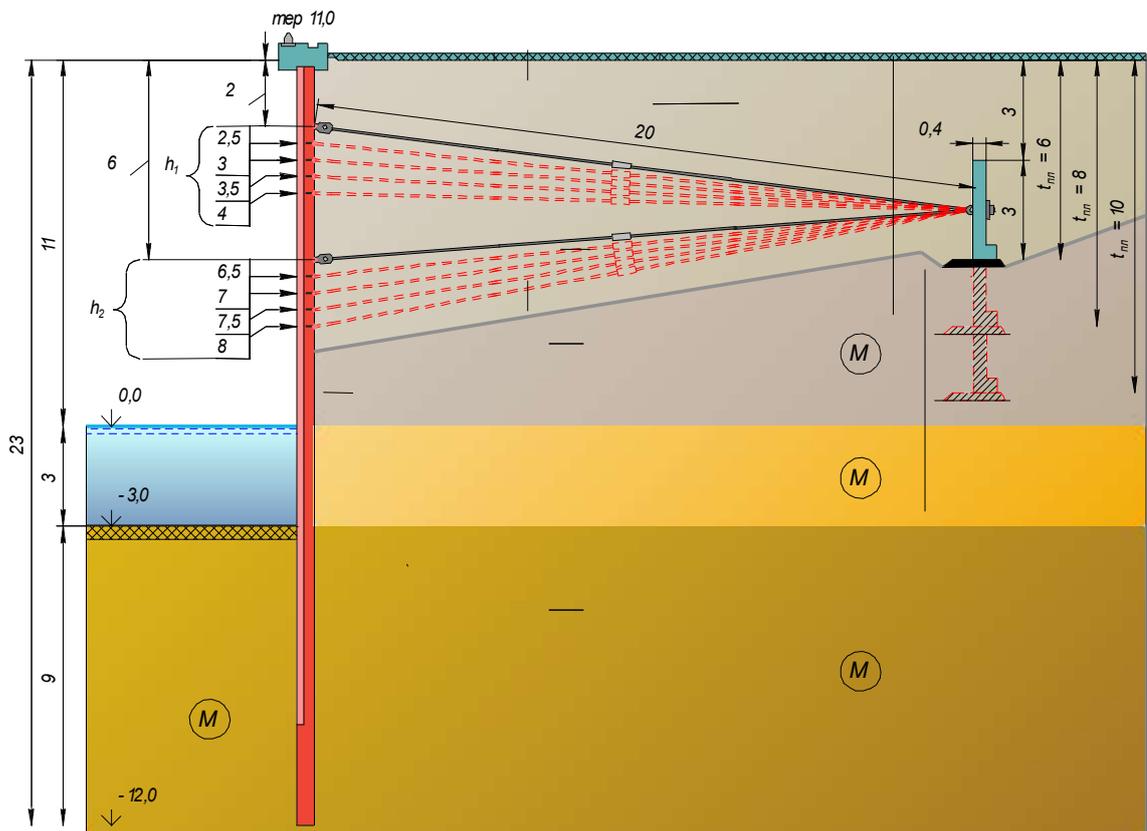


Рисунок 1 - Расчетная схема сооружения

В результате расчета получены следующие значения напряженно-деформированного состояния конструкции, представленные на рисунках 2-4.

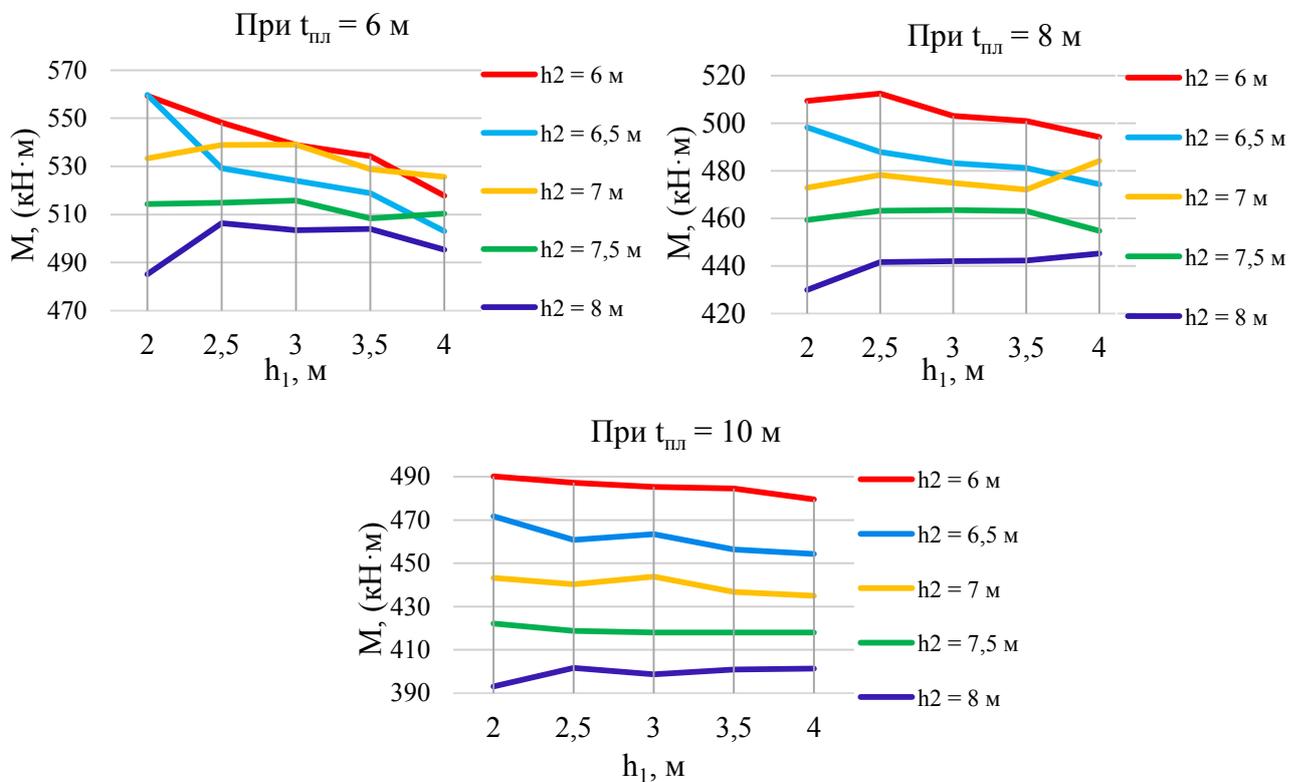


Рисунок 2 - Результаты расчета изгибающего момента в шпунте при совместном учете изменения положения крепления тяг и заглубления анкерной плиты

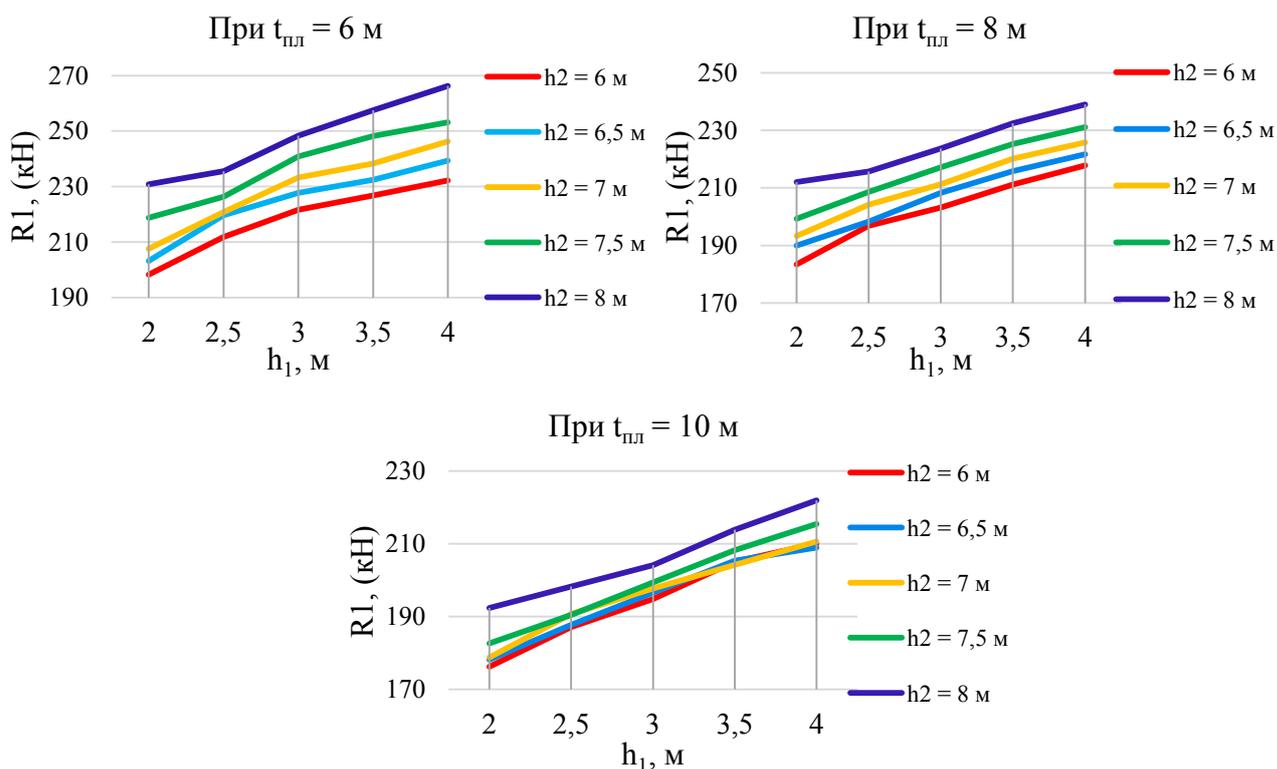


Рисунок 3 – Результаты расчета анкерной реакции в верхней анкерной тяге при совместном учете изменения положения крепления тяг и заглубления анкерной плиты

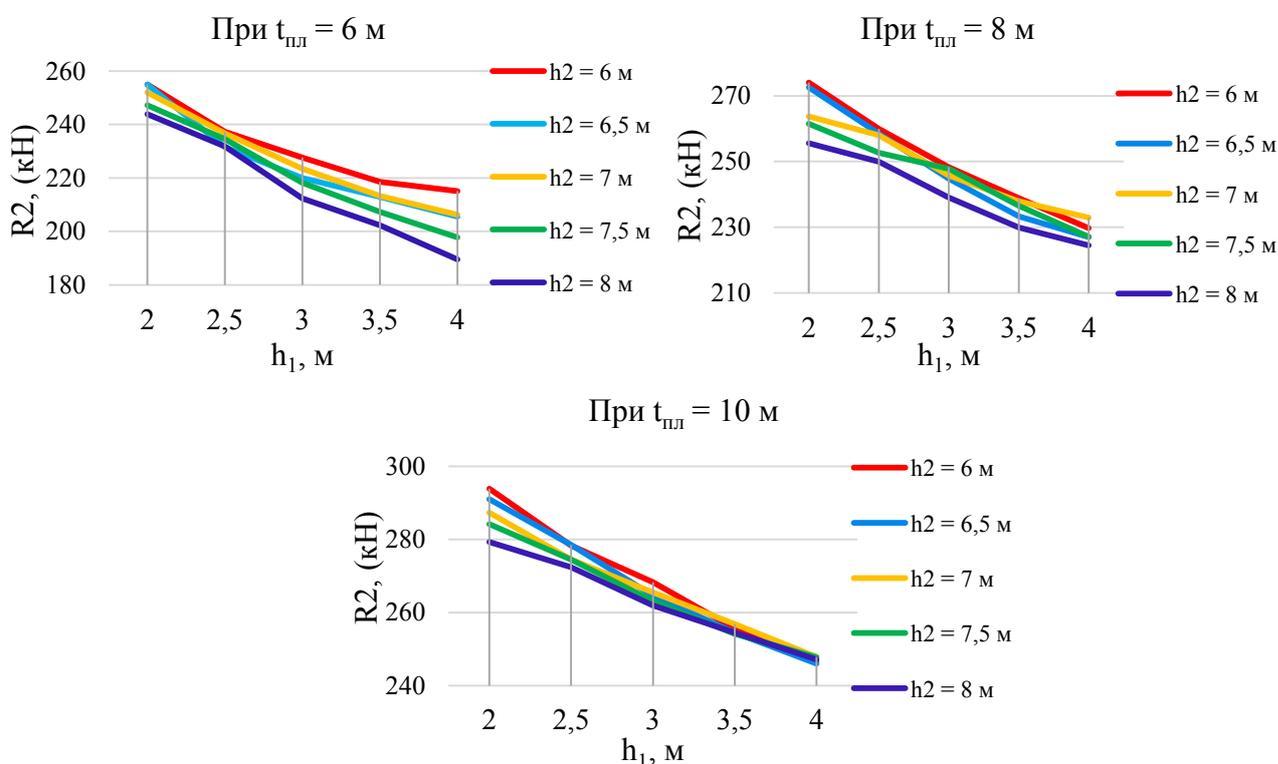


Рисунок 4 – Результаты расчета анкерной реакции в нижней анкерной тяге при совместном учете изменения положения крепления тяг и заглубления анкерной плиты

При анализе всех рассмотренных положений анкерных устройств по высоте сооружения получено, что максимальный изгибающий момент в шпунте возникает на



отметке уровня воды (на высоте около 3,0 м над уровнем дна). Экстремальное значение момента наблюдается при заглублении анкерной плиты на 6 м от отметки территории ( $t_{пл} = 6$  м), крепление верхней анкерной тяги на расстоянии 2 м от отметки территории ( $h_1 = 2$  м), крепление нижней анкерной тяги на расстоянии 6,5 м от отметки территории ( $h_2 = 6,5$  м). Величина максимального изгибающего момента в этом случае составила 559,73 кН·м.

Минимальный изгибающий момент в шпунте наблюдается при заглублении анкерной плиты на 10 м от отметки территории ( $t_{пл} = 10$  м), крепление верхней анкерной тяги на расстоянии 2 м от отметки территории ( $h_1 = 2$  м), крепление нижней анкерной тяги на расстоянии 8 м от отметки территории ( $h_2 = 8$  м). Величина минимального изгибающего момента в этом случае составила 393,09 кН·м.

Анкерные реакции в верхней и нижней тягах изменяются в расчетных случаях противоположно друг другу. В верхней тяге реакция уменьшается при заглублении анкерной плиты, в нижней тяге наоборот реакция в этом случае увеличивается. Расстояние от поверхности территории до места крепления верхней анкерной тяги равно 2 м ( $h_1 = 2$  м) и расстояние до места крепления нижней анкерной тяги равно 6 м ( $h_2 = 6$  м) является переломным для значений анкерных реакций в верхней и нижней тягах. При данных параметрах величина анкерной реакции в верхней тяге является наименьшей (176,2 кН), а в нижней максимальной (293,9 кН). Такая тенденция сохраняется при всех рассмотренных вариантах заглубления анкерной плиты.

С увеличением глубины заложения анкерной плиты, величина анкерной реакции в верхней тяге снижается, а величина анкерной реакции в нижней тяге наоборот возрастает. При заглублении анкерной плиты на 10 м от поверхности территории усилия в верхней тяге минимальны, в нижней тяге максимальны.

Комплексный анализ при учете всех рассмотренных факторов показывает, что:

- заглубление анкерной плиты оказывает значительное влияние как на изгибающий момент в шпунте, так и на анкерную реакцию при любом положении закрепления верхней и нижней анкерных тяг за шпунтовый ряд;

- на величину изгибающего момента в шпунте в значительной степени оказывает влияние величина заглубления анкерной плиты ( $t_{пл}$ ), а также расстояние до точки крепления нижней анкерной тяги ( $h_2$ );

- расстояние до точки крепления верхней анкерной тяги ( $h_1$ ) оказывает незначительное влияние на величину момента по сравнению с другими показателями анкерного устройства;

- при увеличении заглубления анкерной плиты и возрастании расстояния до точки крепления нижней анкерной тяги, значение изгибающий момента уменьшается в значительной степени;

- основным фактором, влияющим на анкерную реакцию, является величина заглубления анкерной плиты;

Результатом исследования стала общая картина изменения параметров НДС для двуханкерного неразрезного металлического больверка при различных положениях конструктивных элементов. На основе полученных данных можно сделать вывод, что наибольшее влияние на параметры НДС сооружения в виде двуханкерного металлического неразрезного больверка оказывают следующие параметры анкерного устройства: величина заглубления анкерной плиты и расстояние до точки крепления нижней анкерной тяги до отметки территории. Расстояние от точки крепления верхней анкерной тяги до территории оказывает незначительное влияние по сравнению с другими рассмотренными показателями.

#### Список литературы:

1. Гуткин Ю.М. Об учете навала наданкерной части шпунтовых стенок на подпиремый грунтовый массив / Журнал «Гидротехника» №4, 2016. – с. 49–54.



2. Ситнов А.Н. Оценка изменения изгибающих моментов в шпунтовых причальных набережных при различных грунтовых условиях / Вестник ВГАВТ. Выпуск 44 / А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2015. – с. 84–93.

3. Ситнов А.Н., Кочкурова Н.В., Сапунов А.А., Платицын Е.Д. Оценка влияния грунтовых условий на напряженно-деформированное состояние причальной набережной бульверкового типа. // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019. – URL: [http://вф-река-море.рф/2019/PDF/3\\_7.pdf](http://вф-река-море.рф/2019/PDF/3_7.pdf) (дата обращения 16.15.2021)

4. Binumol S. Software for analysis and design of concrete sheet pile quay wall with relieving plat- form – RELPT6.0 / Binumol S., Subba Rao, Arkal Vittal Hegde - International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 3, March 2013. – p. 679–686.

5. Указания по проектированию причальных набережных: СН-РФ 54.1–85 / Минречфлот РСФСР, Кн. 1,2,3. – М.: Гипроречтранс, 1985.

### **INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE TWO-ANCHOR CONTINUOUS METAL BULWARK AT DIFFERENT POSITIONS OF ANCHOR DEVICES**

Alexey A. Alonzov, Dmitriy A. Miltsin

*Abstract. The influence of high- altitude parameters, namely, the height of attachment of the upper and lower anchor rod to the sheet pile, the depth of the anchor plate on the parameters of the stress-strain state (SSS) of the two-anchor continuous metal bulwark was studied. The data obtained as a result of the study allow us to make a rational choice of the parameters of the anchor devices and optimize the design in accordance with the forces arising in it.*

*Keywords: waterfront structure, two-anchor bulwark, anchor device, anchor pull, anchor plate, bending moment, anchor reactions, stress-strain state.*

