



УДК 627.81

**Ситнов Александр Николаевич**<sup>1</sup>, заведующий кафедрой ВПиГС, профессор, д.т.н.  
e-mail: stnv1952@rambler.ru

**Кочкурова Наталия Викторовна**<sup>1</sup>, доцент, к.т.н. кафедры ВПиГС  
e-mail: kochkurovanataly@mail.ru

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

### ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЧАЛЬНЫХ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

*Аннотация.* Рассмотрены обобщенные вопросы изменения напряженно-деформированного состояния причальных портовых сооружений некоторых типов под действием природных и эксплуатационных факторов. Даны примеры их действия на сооружение под влиянием факторов.

*Ключевые слова:* Портовое гидротехническое сооружение, несущая способность, предельная нагрузка, изгибающие моменты, полосовые нагрузки, коррозия, грунт основания, грунт засыпки.

Портовые гидротехнические сооружения работают в сложных естественных и эксплуатационных условиях и являются строительными конструкциями, подвергающимися наиболее интенсивным и разнообразным внешним воздействиям [1, 2, 5, 6].

Конструкции портовых гидротехнических сооружений (ГТС) подвергаются влиянию значительного числа природных и эксплуатационных факторов.

Основными природными факторами являются давление грунтов, действие течения и волн, колебания уровня воды, физические процессы в результате изменения температур, агрессивное действие водогрунтовой среды и др. К эксплуатационным факторам относятся давление на поверхность сооружения от перегрузочной и транспортной техники и складированных грузов, навал судов и усилия при их швартовке, действие химических грузов на причале и т.д.

При эксплуатации сооружений происходит случайное изменение действующих факторов, включающее их взаимодействие и наложение, определяющее разнообразные условия работы конструкции. Сочетания различных факторов разнообразны, их действие может накладываться друг на друга, ухудшая условия работы сооружений, а также их частей и их техническое состояние.

Одним из существенных факторов, влияющих на несущую способность сооружений является режим его эксплуатации. Превышение проектных нагрузок на сооружении негативно сказывается на напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкции, возникают усилия большие, чем предельные и с течением времени это отражается на состоянии несущих элементов сооружения. При эксплуатации могут иметь место



изменения проектных отметок территории и акватории причала. Постоянство отметок территории, исключение выемок грунта засыпки, если нет покрытия на поверхности, увеличение глубины акватории под действием течения, работы движителей судов или эксплуатационные переуглубления дна изменяют высотные параметры сооружений и могут вызывать дополнительные усилия в конструкции.

На причальное сооружение при эксплуатации оказывают влияние механические воздействия в результате навала судов при их швартовке, падения грузов, ударов грейферов и др. Они оказывают ухудшают ее техническое состояние в результате повреждающего воздействия на конструкцию.

Изменение напряженно-деформированного состояния причальных портовых сооружений можно описать выражением:

$$N=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

где  $N$  – несущая способность конструкции;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – факторы, действующие на сооружение.

Влияние разных факторов на НДС рассмотрим на примере нескольких из них.

Влияние на НДС грунтовых условий для разных типов сооружений зависит от вида грунта, его однородности и физико-механических характеристик. Например, исследования влияния физико-механических характеристик грунтов засыпки и основания, положения высотных отметок основания в одноанкерной и двуханкерной железобетонных причальных стенках показали, что наибольшее влияние на изгибающий момент в конструкции оказывает угол внутреннего трения грунта [3]. В то же время, если в засыпке происходит снижение плотности грунта (его разуплотнение), то оно сопровождается снижением угла внутреннего трения и, соответственно, увеличением изгибающего момента в стенке. При моделировании разных ситуаций грунты с малыми углами внутреннего трения ослабляют несущую способность грунта и нами при исследованиях названы «слабыми», а с большими – «сильными». Для «слабых» и «сильных» грунтов основания и засыпки принимался угол внутреннего трения от 26 до 43 градусов: моделирование «слабых» грунтов осуществлялось меньшими значениями угла, «сильных» - большими значениями.

Оценка результатов исследования одноанкерной стенки на действие грунтов основания и засыпки показала, что изгибающий момент уменьшается при увеличении угла внутреннего трения обоих грунтов.

Для двуханкерной стенки сочетания сильных и слабых грунтов для засыпки и основания сооружений показывают разные результаты.

В надстройке при «слабых» грунтах основания и засыпки при увеличении угла внутреннего трения засыпки несущая способность увеличивается (изгибающий момент уменьшается), а при увеличении угла внутреннего трения основания, наоборот, уменьшается. Для шпунта в тех же условиях изгибающий момент увеличивается при повышении значений угла внутреннего трения.

При использовании «сильного» основания и «слабой» засыпки и наоборот в надстройке большее влияние оказывает грунт засыпки. Изменение угла внутреннего трения в ней обратно пропорционально изменению изгибающего момента в надстройке. Для шпунта грунт основания является приоритетным, его несущая способность имеет прямую связь с изменением изгибающего момента в шпунте и определяет вектор этого изменения. Однако «сильное» основание для шпунта является стабилизирующим фактором, при этом угол внутреннего трения и изгибающий момент по отношению друг к другу индифферентны.

Грунты «сильные» основания и засыпки для надстройки и шпунта являются положительным фактором. При этом в надстройке изгибающий момент снижается и в шпунте почти не изменяется.



Корреляционно-регрессионный анализ показал, что для одноанкерного больверка на шпунт в большей степени оказывает влияние грунт основания. Для двуханкерного больверка влияние различное для надстройки и шпунта. На надстройку – грунт засыпки, при этом необходимо отметить обратную связь между изгибающим моментом и углом внутреннего трения. На шпунт большее влияние оказывает грунт основания.

Таким образом, прослеживается прямая взаимосвязь между изгибающими моментами и характеристиками грунта основания в шпунте обеих конструкций: чем прочнее основание, тем меньший изгибающий момент возникает в шпунте.

Расположение естественной поверхности основания за шпунтом сооружения оказывает значительное влияние на его несущую способность. Исследования, проведенные при нескольких уровнях положения основания по высоте между низом анкерной опоры и уровнем дна показали, что при наличии слабых грунтов необходимо укреплять их толщу. При прочных грунтах засыпки и основания снижаются изгибающие моменты в шпунте, что может способствовать подбору более легких конструкций сооружения.

Коррозионные явления уменьшают сечение несущих элементов любой конструкции и действуют отрицательно, снижая ее несущую способность. Проведенные исследования железобетонных и металлических больверков подтвердили этот факт [4]. Совместное действие эксплуатационной нагрузки на поверхности двуханкерного железобетонного больверка при разрушенной лицевой поверхности сооружения показало, что не все участки сооружения могут выдержать заданные нагрузки. Для шпунта при частичных разрушениях, таких как скол или небольшой дефект его лицевой поверхности, изгибающие моменты не превышают несущую способность и такие участки не являются лимитирующими. При среднем дефекте лицевой части, изгибающие моменты в шпунте под нагрузкой достигают предела прочности, частично несколько превышая его, что говорит о том, что на таких участках будут происходить дальнейшие процессы разрушения бетона. При значительных дефектах лицевой части сооружения, пределы несущей способности элементов стенки значительно превышены и в таких частях сооружения происходят разрушения не только защитного слоя бетона с оголением арматуры, разрушается внутренняя часть конструкции, что приводит к предельному техническому состоянию сооружения с ограничением его работоспособности.

Равномерно-распределенная эксплуатационная нагрузка, начинающаяся от линии кордона и отодвинутая от нее действуют по-разному в зависимости от вида сооружения. Для одноанкерного больверка увеличение нагрузки на поверхности ожидаемо приводит к увеличению изгибающего момента в шпунте и чем дальше нагрузка от кордона, тем меньше сказывается ее влияние. Для двуханкерного больверка отодвинутая нагрузка оказывает наибольшее влияние на шпунт, а расположенная непосредственно от линии кордона – на надстройку.

При действии полосовой нагрузки выделяются зоны ее влияния: зона прикордонной механизации, зона прикордонных складов, тыловой механизации и тыловых складов. Уровень нагрузки в этих зонах разный и может значительно изменяться. В целом получено, что на несущую способность стенки оказывают наибольшее влияние нагрузки в прикордонной зоне механизации и в зоне прикордонных складов. Зоны тыловой механизации и зона тылового склада значительного влияния на изменение изгибающего момента в стенке не оказывает из-за значительного удаления от линии кордона.

Сравнивая полосовую и отодвинутую от линии кордона равномерно-распределенную нагрузки можно сделать вывод, что наибольшее влияние на НДС сооружения оказывает полосовая при прочих равных условиях.



В процессе проектирования причальной набережной необходимо учитывать влияние совокупности природных и эксплуатационных факторов на нее и назначать также их значения и характеристики, которые обеспечат при строительстве и эксплуатации конструкции ее надежность и долговечность в будущем.

#### **Список литературы:**

1. Корнюшин, П. С. Дефекты конструктивных элементов причальных сооружений и их влияние на режим эксплуатации: На примере портов Дальнего Востока России : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.01.- Владивосток, 2006.- 188 с.
2. Сахненко, М. А. Методика оценки коэффициента надежности морских причалов с учетом сроков эксплуатации : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.19 / Сахненко Маргарита Александровна; [Место защиты: Моск. гос. акад. вод. трансп.]. - Москва, 2007. - 262 с.
3. 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.
4. Оценка влияния эксплуатационных условий на несущую способность двуханкерного больверка при его коррозионном разрушении / Вестник ВГАВТ. Выпуск 45 / А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова - Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО "ВГАВТ", 2015.- с.67-81.
5. Kornushin P.S. Perfection of dock fenders in Far East ports of Russia The Sixth (2004) ISOPE Pacific / Asia Offshore mechanics Symposium. Vladivostok. Section "Elements. Construction. Safety", 2005, p.20-23.
6. Yajneswaran Analysis of the Effect of Anchor Rod on the Behavior of Deaphragm Wall Using Plaxis 3D / Yajneswaran, Ranjan H. S., Subba Rao / International conference on water resources, coastal and ocean engineering (ICWRCOE 2015) – Mangalor, India.

### **CHANGES IN THE STRESS-STRAIN STATE OF BERTHING PORT FACILITIES UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS**

A.N. Sitnov, N.V. Kochkurova

*Abstract.* Generalized issues of changes in the stress-strain state of berthing port structures of certain types under the influence of natural and operational factors are considered. Examples of their effect on the structure on a number of factors are given.

*Keywords:* Port hydraulic structure, load-bearing capacity, maximum load, bending moments, band loads, corrosion, foundation soil, backfill soil.

