

УТВЕРЖДАЮ
Проректор ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»



доктор технических наук
А.З. Тер-Мартirosян
А.З. Тер-Мартirosян
2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

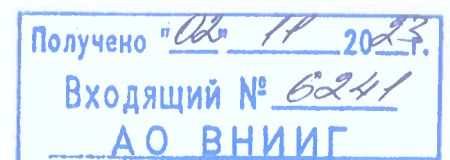
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) на диссертацию «Расчетно-экспериментальное обоснование проектирования гидротехнических сооружений с применением заполненных грунтом оболочек», представленную Цимбельманом Никитой Яковлевичем на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.6 - Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Диссертация Цимбельмана Н.Я. посвящена разработке методики расчётно-теоретического обоснования, новых технических и технологических решений гидротехнических сооружений, выполняемых из заполненных грунтом тонких оболочек.

Актуальность темы исследования

Актуальность темы исследований обосновывается увеличением потребности в реконструкции и возведении новых причалов в российских портах, она связана с увеличением грузооборота портов и совершенствованием портовой инфраструктуры. В настоящее время существует потребность в развитии портов и портопунктов, расположенных в относительно труднодоступных регионах, например, на Северном Морском Пути.

Развитию портов может способствовать применение конструкций, созданных на основе жёстких оболочек, заполненных грунтом. Они представляют собой железобетонные или металлические оболочки большого диаметра, целостность, устойчивость которых обеспечивается грунтом, удерживаемым оболочкой в проектном положении. Конструкции в виде оболочек обладают целым рядом преимуществ: экономичностью, универсальностью, высокой транспортной пригодностью, высоким потенциалом в части возможности применения в различных инженерно-геологических условиях.



Однако высокий потенциал применения конструкций в виде жёстких заполненных грунтом оболочек сдерживается ограниченностью методик расчётного обоснования конструкций, а также трудностями в обеспечении эксплуатационных качеств.

Представленная диссертация направлена на решение актуальных проблем:

- на развитие теории и построение методов обоснования, проектирования и строительства заполненных грунтом оболочек, возводимых, в том числе, в арктических регионах и в зонах сейсмической опасности,
- на развитие методов физического и математического моделирования оболочек,
- на разработку новых расчетно-теоретических, конструктивных, технических и технологических решений оболочек.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Исследования, выполненные в диссертации, направлены на решение задач развития портовой инфраструктуры страны, которые отражены в «Стратегии развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года» и Государственной программе Российской Федерации «Развитие транспортной системы».

Положения и результаты исследований автора отражены ряде отчётов о научно-исследовательских работах, выполненных в рамках плана реализации государственных программ Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», «Развитие науки и технологий».

Степень разработанности темы исследования

В гидротехническом строительстве в России и зарубежом накоплен значительный опыт разработки методов расчёта, проектирования и возведения конструкций в виде оболочек. В 1960-х –1980-х годов был разработан ряд норм и рекомендаций, регламентирующих порядок расчета сооружений из заполненных грунтом железобетонных оболочек с относительно толстыми стенками. Однако недостаточно проработанной осталась проблема расчёта напряжённо-деформированного состояния гидротехнических сооружений из тонкостенных оболочек с грунтовым наполнителем. В частности, мало изучены условия взаимодействия этих элементов, а также условия передачи нагрузок от оболочечной конструкции на грунтовое основание.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложена методика определения соотношения высоты и диаметра заполненных грунтом жёстких оболочек из условия достижения оптимального распределения усилий в оболочке;

- разработана и апробирована методика расчётного обоснования конструкций портовых гидротехнических сооружений, состоящих из внецентренно-нагруженных заполненных грунтом жёстких оболочек, опирающихся на грунтовое основание;
- предложена методика определения параметров модели контакта грунта и оболочки, позволяющая адекватно моделировать напряжённо-деформированное состояние сооружения из заполненной грунтом жёсткой оболочки;
- доказана адекватность предложенной методики расчётного обоснования заполненных грунтом оболочек на конкретных примерах путём верификации на основе экспериментальных данных;
- доказано несоответствие модели жёсткого штампа для описания взаимодействия заполненной грунтом тонкой жёсткой оболочки с основанием;
- разработана теоретическая модель, функционально связывающая параметры элементов системы «гидротехническое сооружение – основание» с максимальной нагрузкой, которую сооружение воспринимает без потери несущей способности основания;
- доказано влияние последовательности возведения сооружения из заполненных грунтом жёстких оболочек на его работоспособность.

Структура диссертационной работы

Представленная к рассмотрению диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 376 страниц машинописного текста, включает 196 рисунков, 32 таблицы и список литературы из 376 наименований. В приложении содержатся акты внедрения результатов работы.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследований, проанализирована степень её разработанности, описаны объект и предмет исследования, сформулированы цели и задачи исследования. Приведена аннотация содержания работы, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, приведены сведения об апробации и реализации результатов работы, обосновано соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Глава 1 представляет собой обзор опыта применения и расчётного обоснования гидротехнических сооружений с применением заполненных грунтом оболочек. Кратко описана история развития конструкций оболочек, взаимодействующих с грунтом, обозначены область применения оболочек в гидротехническом строительстве, показаны их преимущества.

В рамках обзора выполнен анализ развития теоретических, экспериментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области обоснования применения оболочек в гидротехническом

строительстве. Исследования систематизированы и условно сгруппированы по временным периодам, приведены результаты наиболее значимых теоретических и экспериментальных исследований, включая исследования сейсмостойкости конструкций.

В главе описаны проблемы строительства и эксплуатации заполненных грунтом оболочек исходя из имеющихся работ, посвящённых опыту обследования технического состояния исследуемых конструкций и наблюдений за их поведением, описаны конкретные примеры потери эксплуатационных качеств сооружений.

Выполнен анализ нормативных методик расчёта, обозначены ограничения действующих методик и задачи их совершенствования. Автором показано, что основной проблемой расчётного обоснования конструкций из заполненных грунтом оболочек является сложность моделирования взаимодействия оболочки с грунтовым материалом наполнителя и со сжимаемым грунтовым основанием.

Глава 2 посвящена анализу конструктивных решений гидротехнических сооружений, выполненных на основе заполненных грунтом оболочек. В ней описаны возможные конструкции оболочек и представлена типизация расчётных моделей, применяемых для их расчёта. Автором предложено классифицировать сооружения в зависимости от схемы работы на гравитационные, полугравитационные сооружения, относящиеся к категории тонких стенок.

В главе также решена задача о выборе оптимальных габаритов заполненных грунтом стальных оболочек. Для условий жёсткого защемления оболочки в основании установлен оптимальный диапазон соотношения габаритных размеров D/H (диаметр/высота), при которых для заданной жесткости оболочки и материала наполнителя достигается оптимальное распределение усилий в оболочке. Результаты исследования приведены в диссертации в виде таблиц и графиков.

В дальнейших исследованиях автором рассмотрена расчетная модель «гидротехническое сооружение – основание» как система внецентренно-нагруженных тонких оболочек, заполненных сыпучим телом, воспринимающих типовые и специфические нагрузки и воздействия, и закреплённых на грунтовом основании.

Глава 3 посвящена применяемым для расчёта оболочек методам математического моделирования. Автором описана методика теории оболочек и показано её основное ограничение – применимость только к отдельному участку оболочки, нагруженному постоянной нагрузкой. Для преодоления этого ограничения предложено рассматривать заполненную грунтом тонкостенную цилиндрическую оболочку как набор взаимоувязанных друг с другом колец, а также разработана аналитико-численная модель такой оболочки. Модель позволяет вычислить внутренние усилия в элементах конструкции и перемещения ее

характерных точек. Однако дальнейшего развития разработанный аналитико-численный способ расчёта развития не получил. Автором показано, что использовать его можно только с существенными ограничениями. В связи с этим автором было принято базировать методику расчётного обоснования цилиндрической оболочки только на основе численного моделирования.

В главе также описаны теоретические основы численного моделирования оболочек методом конечных элементов. Для описания поведения грунтового наполнителя и основания предложено использовать модели упругопластической среды, а для описания поведения контакта оболочки с грунтом – модель переходного слоя («интерфейса»), характеризующуюся коэффициентом снижения прочности по сравнению с грунтом.

Глава 4 посвящена выполненным в диссертации экспериментальным исследованиям заполненных грунтом оболочек. Исследования выполнены на основе теории подобия на моделях масштаба 1:20 для условий статического и динамического нагружения. В экспериментах измерялись перемещения и напряжения в оболочке, напряжения в грунте основания и заполнения.

Экспериментальные исследования позволили провести калибровку предложенной численной модели. В результате калибровки было установлено, что для обеспечения адекватности численного моделирования необходимо моделировать ослабление контакта между грунтом и оболочкой, при этом коэффициент снижения прочности необходимо принимать $0,3 \div 0,4$. Автору удалось добиться качественного и количественного соответствия между результатами экспериментов и численного моделирования (с незначительными расхождениями).

Глава 5 посвящена разработке теоретической модели, позволяющей оценить устойчивость заполненной грунтом оболочки по схеме глубинного сдвига. Модель разработана на основе метода теории предельного напряженного состояния сыпучих сред. Автором получены формулы, которые позволяют определить максимальную горизонтальную силу, которая может быть воспринята сооружением без потери несущей способности основания. Составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать максимальное значение горизонтальной сил для заданных размеров оболочки, физических и физико-механических характеристики элементов сооружения. Сравнение результатов аналитических расчётов и численного моделирования по оценке устойчивости сооружения показало удовлетворительное совпадение.

Глава 6 посвящена разработанной автором методике численного моделирования напряжённо-деформированного состояния сооружений из заполненных грунтом оболочек.

Автором построен алгоритм расчётов заполненной грунтом оболочки, которые необходимы для формирования её численного моделирования. Алгоритм состоит из трёх блоков действий. Первый блок – это выбор конструкции сооружения на основе простых предварительных расчётов и формирование его расчётной модели. Второй блок – это определение нагрузок на сооружение. Третий блок – это проверочные расчёты оболочки по первой и второй группе предельных состояний. По результатам выполнения этих расчётов может быть составлена модель сооружения для определения напряжённо-деформированного состояния при статических и динамических нагрузках. В главе представлены рекомендации по определению нагрузок, по формированию конечно-элементной модели.

В рамках шестой главы автором с помощью численного моделирования был выполнен ряд исследований напряжённо-деформированного состояния оболочки – исследование работы при циклическом действии льда и исследование работы при сейсмических нагрузках. Показано, что при циклическом действии льда в течение 5-10 циклов происходит нарастание перемещений оболочки, а затем оно стабилизируется.

Глава 7 посвящена предлагаемым автором техническим и технологическим решениям с целью повышения устойчивости сооружения из оболочек. Предложен способ повышения устойчивости сооружений путём устройства опорной консоли. С помощью модельных экспериментов установлено, что оптимальное с точки зрения распределения напряжений на контакте оболочки с основанием соотношение ширины консоли B к диаметру D оболочки находится в диапазоне $B/D=0,02-0,06$.

В главе изложены также новые запатентованные автором решения по технологии устройства оболочек с грунтовым наполнителем. Разработана технология монтажа оболочек в составе протяжённых сооружений с применением системы универсальных распределённых по высоте оболочки монтажных дисков, соединённых между собой гибкими связями. Предложено конструктивное решение опирания оболочки на основание, включающее систему опорных поверхностей различной формы, распределяющих давление от конструкции на основание. Разработано также решение по снижению сопротивления грунта основания при внедрении оболочек вибропогружением при наличии в грунтовом основании мёрзлых линз и прослоек.

В главе 7 приведено расчётное исследование влияния последовательности возведения на напряжённо-деформированное состояние сооружения из заполненных грунтом оболочек. В результате исследования обоснована рациональная схема последовательности установки конструкций с промежутками и предложена конструкция причального сооружения смешанного типа, в котором

вертикальные конструкции из оболочек сочетаются с промежуточными подводными откосными участками.

В главе 7 также приведено обоснование экономической эффективности конструкций гидротехнических сооружений из заполненных грунтом оболочек, в результате которого показаны их преимущества в сравнении с альтернативными вариантами проекта (заанкеренный больверк из трубошпунта и высокий монолитный железобетонный ростверк с тыловой шпунтовой стенкой).

В **заключение** диссертации изложены полученные автором научные и практические результаты работы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

корректным применением положений технической теории оболочек, теории механики деформированного твёрдого тела и теории предельного напряжённого состояния сыпучих сред;

аккуратностью планирования и выполнения экспериментов, обработке его результатов методами математической статистики;

сопоставлением с результатами вычислений по более строгим в математическом отношении решениям.

Достоверность результатов исследований подтверждается соответствием результатов численного моделирования по предложенным методикам данным экспериментальных исследований и результатам расчётов по более строгим методам.

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Результаты изложенных в диссертации теоретических исследований вносят вклад в *научное обоснование* проектирования и строительства портовых причальных и оградительных гидротехнических сооружений с применением жёстких, заполненных грунтом оболочек.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в следующем:

- применительно к проблематике диссертации результативно использованы современные достижения прикладной математики, гидромеханики, геотехники для получения новых знаний по теории расчётного обоснования конструкций, образуемых сыпучим телом, удерживаемым тонкой жёсткой оболочкой в составе гидротехнического сооружения;

- модернизирована классификация расчётных моделей внецентренно-нагруженных гидротехнических сооружений из заполненных грунтом жёстких оболочек по способу взаимодействия с основанием;
- изложен новый способ создания аналитико-численной модели сооружения из заполненных грунтом оболочек;
- изучено влияние деформативных свойств наполнителя оболочки на распределение усилий в тонкостенной оболочке;
- изучено влияние последовательности возведения сооружения из заполненных грунтом жёстких оболочек на параметры его напряжённо-деформированного состояния;
- изучено влияние схемы опирания сооружения, выполненного из заполненных жёстких оболочек, на распределение напряжений в основании;
- раскрыт механизм циклического воздействия ледяного поля на формирование напряжённо-деформированного состояния сооружения из заполненных грунтом жёстких оболочек;
- изложены результаты экспериментальных модельных исследований напряжённо-деформированного состояния и несущей способности системы, состоящей из заполненной грунтом оболочки и грунтового основания при статическом и динамическом нагружении;
- изложен алгоритм моделирования напряженно-деформированного состояния системы, включающей тонкостенные заполненные грунтом оболочки и массив основания, при статических и динамических нагрузках.
- доказана применимость предложенной автором базовой численной модели заполненной грунтом тонкостенной оболочки для прогноза её напряжённо-деформированного состояния (путём верификации результатов численного моделирования через результаты экспериментальных исследований).

Практическая значимость результатов работы в области гидротехнического строительства заключается в разработке комплекса расчетно-экспериментальных, методологических, конструкционных, технических и технологических решений, в совокупности составляющих расчетное обоснование применения заполненных грунтом оболочек в конструкциях портовых гидротехнических сооружений.

Практическая значимость результатов работы заключается в следующем:

- разработана и внедрена инженерная методика расчёта и проектирования портовых гидротехнических сооружений вертикального и смешанного типа, выполненных из заполненных грунтом оболочек, включая адаптированные инженерные методики определения нагрузок;
- создана вычислительная программа для выбора оптимальных параметров конструкции сооружения из заполненных грунтом жёстких тонкостенных оболочек и для составления её численной модели;

- составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать максимальное значение горизонтальной силы для заданных размеров оболочки, физических и физико-механических характеристик элементов сооружения;
- представлены рекомендации по составлению численных моделей гидротехнических сооружений, выполненных из заполненных грунтом жёстких оболочек;
- разработаны и внедрены технические решения по повышению устойчивости гидротехнических сооружений из заполненных грунтом жёстких оболочек, основанные на устройстве опорной консоли;
- определены технические решения и технологические приёмы, позволяющие обеспечить равномерное распределение усилий в оболочке при монтаже, а также эффективное погружение оболочки в основание на заданную глубину с прорезкой мёрзлых прослоек и линз;
- определены условия, позволяющие обеспечить эффективное нагружение заполненных грунтом оболочек;
- представлены результаты численного моделирования гидротехнических сооружений из наполненных грунтом оболочек при статических и динамических нагрузках;
- представлены зависимости, позволяющие оценить необходимость заделки оболочки в грунт основания и назначить требуемую величину заделки с учётом взаимодействия заглублённой части сооружения с окружающим грунтом;
- представлены рекомендации по назначению технологии установки оболочек в состав протяжённого гидротехнического сооружения с учетом характера распределения напряжений и деформаций в основании сооружения.

Практическое значение работы подтверждается апробацией предложенных решений при непосредственном участии автора в выполнении расчета и проектирования гидротехнических сооружений, в том числе доведенных до стадии эксплуатации. Методика расчётного моделирования и технические решения конструкций из жёстких заполненных грунтом оболочек применены при проектировании ряда портовых сооружений.

Анализируя теоретическое и практическое значение работы, можно заключить, что в диссертации Цимбельмана Н.Я. изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения жёстких заполненных грунтом оболочек, внедрение которых вносит вклад в развитие строительства портов и объектов берегового обеспечения шельфовых проектов. Кроме того, в диссертации решена научная проблема создания методологии обоснования конструкций жёстких заполненных грунтом оболочек для целей гидротехнического строительства. Таким образом, диссертация соответствует критериям,

установленным пп. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, которое утверждено постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты и выводы диссертационной работы рекомендуются к использованию при проектировании, расчётном обосновании, научно-техническом сопровождении проектирования и строительства причальных, оградительных и берегоукрепительных гидротехнических сооружений портов с применением заполненных грунтом оболочек, в том числе в регионах с неблагоприятными климатическими условиями (условия шельфа северных морей, условия сейсмической опасности Восточной Арктики и Субарктики).

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Основным недостатком диссертации является то, что цель работы ограничена разработкой методики математического моделирования напряжённо-деформированного состояния сооружений, а задача о выполнении полноценного анализа напряжённо-деформированного состояния, прочности и устойчивости из заполненных грунтом оболочек не ставилась.

2. В главе 2 не совсем корректно обозначены компоненты напряжений, возникающих в оболочке – тангенциальные (или окружные) напряжения названы радиальными.

3. Предложенная автором методика численного моделирования напряжённо-деформированного состояния сооружений из заполненных грунтом оболочек основана на моделировании контакта грунтового наполнителя с поверхностью оболочки путём введения переходного слоя в виде так называемых «интерфейсов». В качестве основного параметра модели контакта используется коэффициент снижения прочности в пределах «интерфейса». Однако существуют и иные контактные модели. Более корректным представляется изменение жёсткости контактов, а не снижение прочностных показателей.

4. При решении задач о несущей способности оснований сооружений целесообразно было бы учитывать возможность сдвига между материалом засыпки и основанием. Для этого в конечно-элементной модели следовало предусматривать введение «интерфейсов» и в плоскости подошвы сооружения.

5. Среди недостатков работы следует отметить недостаточное количество информации о расчётах, выполненных при апробации предложенных методик. В диссертации не указано, какая вычислительная программа (программы) использовались при реализации разработанных моделей и по каким критериям автор отдавал предпочтение тому или иному программному комплексу. Зачастую не полностью указаны исходные данные, использованные в расчётах. Не указано,

использовалась для моделирования упругопластического поведения грунта только модель Кулона-Мора или какие-либо другие.

6. В диссертации не отражено сопоставление некоторых результатов моделирования напряжённо-деформированного состояния конструкции, полученных при использовании предложенных моделей, с вычислениями по известным аналитическим решениям. В частности, не приведено сравнение бокового давления заполняющего грунта на оболочку, получаемого путём численного моделирования и с помощью аналитических методов. Не приведено сравнение напряжений в оболочке, полученных путём численного моделирования оболочек и с помощью аналитической теории.

7. Формулы, разработанные в главе 6, для определения максимальных горизонтальных сил, которые может выдержать сооружение без потери несущей способности основания, имеют ограниченное применение. Верификация этих формул с помощью численного моделирования выполнена лишь для одного расчётного случая.

8. Выполненное в главе 7 диссертации экономическое сравнение конструкций из оболочек с альтернативными конструкциями других типов не содержит развёрнутой информации о подсчёте стоимости и анализа её составляющих, оно ограничено сравнением лишь итоговых значений стоимости.

Заключение

Диссертация Цимбельмана Никиты Яковлевича «Расчетно-экспериментальное обоснование проектирования гидротехнических сооружений с применением заполненных грунтом оболочек» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной в рамках актуального направления развития теории и методов обоснования проектирования и строительства эффективных комбинированных конструкций портовых гидротехнических сооружений с применением тонкостенных оболочек с грунтовым наполнителем.

Диссертация выполнена автором самостоятельно, написана грамотно, логически структурирована и аккуратно оформлена. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ. Достоверность результатов и выводов обоснована. Автореферат в достаточном объёме отражает основные положения диссертации. Материалы диссертации в полной мере изложены в работах, опубликованных автором.


Полученные автором диссертации результаты обладают научной новизной, имеют теоретическое и практическое значение. Внедрение изложенных автором в диссертации новых научно обоснованных технических и технологических решений гидротехнических сооружений из заполненных грунтом оболочек в сочетании с разработанными методиками расчётно-экспериментального их обоснования вносит

значительный вклад в развитие портовой инфраструктуры страны, в том числе территорий Арктики и Субарктики.

Диссертационная работа Цимбельмана Никиты Яковлевича «Расчетно-экспериментальное обоснование проектирования гидротехнических сооружений с применением заполненных грунтом оболочек» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание учёной степени доктора наук в соответствии Положением о присуждении ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Цимбельман Никита Яковлевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.6 - Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и утверждён на заседании кафедры Гидравлики и гидротехнического строительства ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) и принят единогласно 23 октября 2023 г., протокол №4.

Заместитель заведующего кафедрой
Гидравлики и гидротехнического строительства,
кандидат технических наук по специальности
05.23.07 – Гидротехническое строительство, доцент

 Галимов Илья Мидхатович
23.10.2023

Профессор кафедры
Гидравлики и гидротехнического строительства,
доктор технических наук по специальности
05.23.07 – Гидротехническое строительство, доцент

_____ Саинов Михаил Петрович
23.10.2023



Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

Телефон: +7 (495) 781-80-07, www.mgsu.ru,

E-mail: kanz@mgsu.ru.