

**Аннотация**  
**диссертационной работы**

на тему «Исследование сейсмостойкости стального вертикального цилиндрического резервуара для нефти-нефтепродуктов с предварительно - напряженной обмоткой» представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07320 – «Строительство»

**ТҮРСҮНҚҰЛҰЛЫ ТИМУР**

**Целью исследования** является теоретическая и экспериментальная оценка влияния конструктивных параметров предварительно напряженной обмотки на напряженно-деформированное состояние и сейсмостойкость вертикального цилиндрического резервуара и разработка на этой основе методики инженерного расчета и оптимального их проектирования.

Для достижения данной цели были решены следующие **научные задачи**:

– на основе литературных данных изучить основные конструктивные решения стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов, проанализировать отказы и повреждения резервуаров для нефти и нефтепродуктов в результате сильных землетрясений, изучить особенности их динамической работы в эксплуатационных условиях, проанализировать нормативную базу по обеспечению их прочности и безопасности при сейсмических воздействиях;

- провести теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния стенки предварительно - напряженного вертикального стального цилиндрического резервуара с постоянно и переменной толщиной стенки на основе метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS с учетом эксплуатационных условий и конструктивных параметров обмотки;

- провести исследование влияния параметров предварительно напряженной обмотки (шаг и толщина намотки, усилие натяжения нити обмотки) на динамические характеристики резервуара при различных эксплуатационных условиях;

- провести экспериментальные исследования моделей традиционной и предварительно напряженной конструкций резервуара при различных параметрах предварительного напряжения и эксплуатационных условиях и установить зависимости между конструктивными параметрами обмотки и динамическими характеристиками резервуара;

- разработать методику инженерного расчета и оптимального проектирования предварительно напряженных обмоткой вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

- обосновать эффективность применения способа предварительного напряжения в вертикальных цилиндрических резервуарах и описать технологию изготовления предварительно напряженных вертикальных стальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

**Объект исследования.** Вертикальные стальные цилиндрические резервуары для нефти и нефтепродуктов.

**Предмет исследования.** Сейсмостойкость вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, упрочненных предварительно напряженной обмоткой.

**Методы исследования.** Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния и динамических характеристик вертикального цилиндрического резервуара проведены с использованием программного комплекса ANSYS основанного на методе конечных элементов. Анализ напряженно – деформированного состояния рассматриваемой модели проводился в упругой области, удовлетворяющему закону Гука.

Достоверность результатов экспериментальных исследований обеспечивалось использованием современных апробированных технических средств. Моделирование геометрических размеров резервуара произведено на основе критериев механического подобия между моделью и натурным резервуаром, основанного на анализе размерностей.

Достоверность выбранных расчетных моделей и использование программного комплекса ANSYS обеспечивает обоснованность полученных результатов расчетного эксперимента.

Для фиксации сейсмических значений использовался лазерный датчик линейных перемещений LAW и контролер BLOXX -A123. В качестве вторичных преобразователей использовалось программное обеспечение test.commander и визуализатор test.viewer.

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:**

- значения эквивалентных напряжений в корпусе традиционной и предварительно напряженной конструкций резервуара с постоянной и переменной толщиной стенки с учетом эксплуатационных условий и конструктивных параметров обмотки, полученных на основе метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS;

- полученные значения собственных частот и форм колебаний резервуара без обмотки и предварительно напряженного резервуара с постоянной и переменной стенкой с учетом влияния параметров предварительного напряжения и эксплуатационных условий;

- разработанный алгоритм решения задачи колебаний предварительно напряженного резервуара в ANSYS Workbench с использованием расчетного модуля Modal Acoustics и результаты исследования колебаний стального вертикального цилиндрического резервуара объемом 3000 м<sup>3</sup>, упрочненного предварительно напряженной обмоткой с учетом упругости стенок;

- зависимости влияния толщины обмотки и усилия натяжения нити обмотки на частоту и формы колебаний предварительно напряженной обмоткой вертикального цилиндрического резервуара;

- результаты экспериментов на моделях резервуара без обмотки и предварительно напряженного обмоткой резервуара по оценке влияния предварительно напряженной обмотки на динамические характеристики вертикального цилиндрического резервуара с учетом эксплуатационных условий;

- методика инженерного расчет и оптимального проектирования конструкции предварительно напряженных резервуаров на базе программного комплекса ANSYS, которая позволяет оптимально решить задачу определения

частот колебаний предварительно напряженного обмоткой резервуара с учетом параметров предварительного напряжения и уровня налива жидкости в резервуар.

**Актуальность темы.** На сегодняшний день нефть и нефтепродукты являются одним из основных топлив в мире и основным доходным сырьем в формировании бюджета Республики Казахстан. Очевидно, что будет продолжаться интенсивное строительство стальных цилиндрических резервуаров, и уделяться огромное внимание поддержанию их в работоспособном и технически пригодном состоянии и будут выделяться значительные средства на восстановление несущей способности существующих стальных цилиндрических резервуаров. Строительство и эксплуатация вертикальных цилиндрических резервуаров связаны с большими материальными затратами, пожаро - и взрывоопасностью, риском загрязнения окружающей среды, опасностью для жизни людей, в связи с чем, их относят к особо ответственным сооружениям, проектирование и строительство которых должно базироваться на строго обоснованных научных положениях и технически возможных, принципиально новых конструктивных разработках, а также на оптимальных и экономически выгодных конструктивных решениях. Особую важность проблеме придает и тот момент, что в Республике Казахстан районы с повышенной сейсмической активностью, в которых размещены, строятся или намечается строительство баз хранения нефти и нефтепродуктов, занимают примерно 30% территории.

В этой связи предлагаемый способ повышения сейсмостойкости вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, упрочненных предварительно напряженной обмоткой, является актуальным.

**Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы.** Необходимость разработки данной темы связана с внештатными ситуациями на вертикальных цилиндрических резервуарах и их разрушением при землетрясениях, а также необходимость разработки способа активной их сейсмической защиты.

#### **Описание основных результатов исследования.**

Проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния стального вертикального цилиндрического резервуара традиционной и предварительно напряженной обмоткой конструкций при эксплуатационных нагрузках и различных конструктивных параметров обмотки. Получены эквивалентные напряжения для резервуара с постоянной и переменной толщиной стенки, которые позволили оценить влияние конструктивных параметров обмотки на характер напряженного состояния стенки резервуара при различных уровнях налива жидкости в резервуар.

Проведено моделирование колебаний резервуара, упрочненного предварительно напряженной обмоткой, и разработана методика численных исследований частот и форм колебаний упрочненного обмоткой резервуара в программном комплексе ANSYS, которая позволила учесть в расчетах шаг, толщину и усилие намотки нити обмотки, влияние конструкций крыши, а также уровень налива жидкости в резервуар.

Проведены численные исследования колебаний системы «металлическая конструкция - жидкость» и определены частоты и формы колебаний предварительно напряженной обмоткой резервуара при различных эксплуатационных условиях и конструктивных параметрах оболочки, которые позволили оценить влияние конструктивных параметров обмотки на частоты и

характер форм колебаний стенки резервуара с учетом эксплуатационных условий и установить их зависимости.

Результаты экспериментальных исследований моделей стального вертикального цилиндрического резервуара с предварительно напряженной обмоткой при различных эксплуатационных условиях и конструктивных параметрах обмотки на горизонтальные динамические воздействия показали удовлетворительную сходимость значений частот с значениями, полученными в расчетном эксперименте. Данный факт указывает на достоверность выбранных расчетных моделей и полученных теоретическим путем значений частот колебаний, а также обосновывает предложенную методику инженерного расчета частот и форм колебаний предварительно напряженного обмоткой резервуара.

По результатам проведенных исследований разработана методика инженерного расчета и оптимального проектирования конструкции предварительно напряженных резервуаров на базе программного комплекса ANSYS, которая позволяет оптимально решить задачу определения частот колебаний предварительно напряженного обмоткой резервуара с учетом параметров предварительного напряжения и уровня налива жидкости в резервуар.

**Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.** Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры «Строительство и строительные материалы» Южно-Казахстанского университета имени М.Ауэзова по госбюджетным НИР на 2021-2025 гг. ГБ НИР-21-03-06 «Геотехническое обоснование возведения современных строительных объектов с учетом факторов, характерных для Юга Казахстана».

**Личный вклад автора.** Автором обоснована актуальность темы диссертации, принято участие в проведении теоретических и экспериментальных исследований. Им получены достоверные и обоснованные научные результаты, на основании которых сформулировано заключение и проведена апробация результатов исследования.

**Апробация работ.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 трудах: две статьи опубликованы в журналах из перечня изданий, рекомендованные Комитетом по обеспечению качества в сфере высшего образования и науки Министерства высшего образования и науки Республики Казахстан. Четыре статьи опубликованы в международных рецензируемых журналах индексируемые в базе данных Scopus (процентиль 40) и Web of Science (Q-1). Издана одна монография и получен один патент на изобретение, выданный Институтом интеллектуальной собственности Республики Казахстан. Три статьи опубликованы в международном журнале и конференциях.

### **Публикации**

1. Tursunkululy T., Zhangabay N., Suleimenov U., AbshenovKh., UtelbayevaA., Moldagaliyev A., Kolesnikov A., TurashevaZh., Karshyga G., Kozlov P. Analysis of strength and eigenfrequencies of a steel vertical cylindrical tank without liquid, reinforced by a plain composite thread. Case Studies in Construction Materials. – 2023. – 18. -P. e02019. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02019>

2. Tursunkululy T., Zhangabay N., Avramov, K., Chernobryvko M., Suleimenov U., Utelbayeva A., Duissenbekov B., Aikozov Y., Dauitbek B., Abdimanat Z. Strength analysis of prestressed vertical cylindrical steel oil tanks under operational

and dynamic loads. Eastern-European journal of Enterprise – 2022. – 2. -P. 14–21.<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254218>

3. Tursunkululy T., Zhangabay N., Avramov K., Chernobryvko M., Suleimenov U., Utebayeva A. Influence of the parameters of the pre-stressed winding on the oscillations of vertical cylindrical steel oil tanks. Eastern-European journal of Enterprise Technologies. – 2022. - 5/7 (119). - P. 6-13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265107>

4. Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Kambarov, M., Abildabekov, A., Narikov, K., & Azatkulov, O. Oscillation frequencies of the reinforced wall of a steel vertical cylindrical tank for petroleum products depending on winding pre-tension. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. - 3(7 (123)). -P. 14–25.<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279098>

5. Тұрсұнқұлұлы Т., Жанабай Н.Ж., Буганова С., Даурбекова С. Стальной вертикальный цилиндрический резервуар для нефти и нефтепродуктов, упрочненный обмоткой. Вестник QazBSQA, г. Алматы, - 2022г. - №4 (86). - С.210-222. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2022.4-21>

6. Tursunkululy T., Zhangabay N. Analysis of a prestressed steel vertical cylindrical tank taking into account the winding step of steel wire under operating conditions. XI научная конференция, г. Харьков, Украина, 20 ноября - 2022г. - С.39-40

7. Айнабеков А.И., Сулейменов У.С., Жанабай Н.Ж. Тұрсұнқұлұлы Т. Прочность и долговечность вертикальных цилиндрических резервуаров в условиях концентрации напряжений. Монография – Шымкент, Издательский «Әлем». - 2022. – 324 с.

8. Жанабай Н.Ж., Тұрсұнқұлұлы Т., Утебаева А., Дүйсенбеков Б. Влияние предварительного напряжения на эксплуатационные условия резервуара с учетом шага намотки проволоки. Международный научно-исследовательский журнал. - 2022г. - №5(119). - С. 41-49.<https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.119.5.049>

9. Патент на изобретение от 21.10.2022г. за №35915 Тұрсұнқұлұлы Т., Жанабай Н.Ж. Сулейменов У., Абшенов Х., Утебаева А. Способ повышения сейсмостойкости вертикальных стальных цилиндрических резервуаров применением предварительно натяженной обмотки.

10. Жаңабай Н.Ж., Утебаева А.Б., Тұрсұнқұлұлы Т., Дәуітбек Б.Б. Алдынала кернуленген қабықтық конструкциялардың эксперименттік әдіс емесімен эксперименттік нәтижелерді есептеп мермен салыстыру. VIII - ғылыми конференция «Наука и образование в современном мире», Нұр-Сұлтан қаласы, 2021. – С.47-55.

11. Жанабай Н.Ж., Утебаева А.Б., Онер А.К., Тұрсұнқұлұлы Т., Хасанходжаева Б.Ш. Ішкі қысыммен жұмыс істейтін алдын – ала кернеуленген мұнай және газ құбырларының шекті қысымы. Журнал Нефть и газ, г. Алматы, - 2020г. - №6 (120). - С. 119-126. [http://neft-gas.kz/f/nzh\\_zhanabaj\\_ab\\_utelbaeva.pdf](http://neft-gas.kz/f/nzh_zhanabaj_ab_utelbaeva.pdf)

### **Структура и объем диссертации.**

В состав диссертационной работы входят следующие элементы: «Термины и определения», «Сокращения и обозначения», «Нормативные ссылки», «Введение», литературный обзор, посвященный проблеме сейсмостойкости резервуаров и путей его решения, теоретическая часть, экспериментальная часть и приложение результатов исследования из 4 разделов, «Заключение», «Список использованных источников» и «Приложения».