

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТИ СО СТЕНКАМИ  
АВТОМОБИЛЬНОЙ ЦИСТЕРНЫ**

COMPUTER SIMULATION INTERACTION OF FLUID  
WITH THE WALLS OF ROAD TANK

**А. О. Шукюров**<sup>1</sup>, мл. научн. сотр., **А. А. Калина**<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
доц., **А. Л. Кисельков**<sup>1</sup>, зам. нач. отдела,

<sup>1</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной  
академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

A. Shukurov<sup>1</sup>, junior researcher, A. Kalina<sup>2</sup>, Ph.D. in Engineering, Asso-  
ciate professor, A. Kiselkov<sup>1</sup>, deputy chief of department,

<sup>1</sup>State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering  
of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Рассмотрен пример компьютерного моделирования (виртуальных испытаний) одностороннего взаимодействия жидкости и конструкции (Fluid structure interaction – далее FSI). Представлены основные этапы создания и настройки компьютерной модели, описания граничных и начальных условий проведения виртуальных испытаний на примере автомобильной цистерны. Моделирование и расчет выполнены в программе ANSYS Workbench, расчетные исследования поведения жидкости проведены в приложении ANSYS CFX.*

*The article provides an example of computer simulation (virtual testing) of one-way fluid structure interaction. The main stages of creating and setting up a computer model, describing the boundary and initial conditions for conducting virtual tests on the example of a road tank are presented. Simulation and calculation were carried out in the ANSYS Workbench, computational studies of fluid behavior were carried out in the ANSYS CFX application.*

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, виртуальные испытания, метод конечных элементов, FSI, прочностной расчет,

*напряженно-деформированное состояние, связанный расчет, ANSYS, ASYS Fluent.*

*Key words: computer modeling, virtual testing, finite element method, FSI, strength analysis, stress-strain state, coupled analysis, ANSYS, ASYS Fluent.*

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы расчетных исследований взаимодействия конструкций/сооружений с жидкостью актуальны при решении прикладных задач [1]. Основная сложность моделирования заключается в необходимости получения совместного решения уравнений движения жидкости и динамики конструкции. Существуют аналитические и полуэмпирические методы [2]. При использовании вышеуказанных методов, в расчетных моделях присутствует значительное количество допущений для объектов с простейшей геометрией. При расчете реальных конструкций подобные упрощения существенно снижают точность получаемых результатов. Поэтому рекомендуется использование методов и средств численного моделирования [3, 4].

В настоящее время эффективным подходом при оценке работоспособности сложных конструкций является компьютерное моделирование, которое позволяет на стадии проектирования нового изделия провести ряд виртуальных испытаний, эквивалентных натурным, но при этом с меньшими материальными и временными затратами.

Соответствие результатов виртуальных испытаний результатам натурных испытаний обусловлено корректным созданием компьютерной модели, применением соответствующих методов моделирования и исходных данных.

## ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование связанного расчета выполнялось при помощи метода конечных элементов. На основании исходной компьютерной модели создавалась конечно-элементная модель емкости цистерны для прочностного расчета в ANSYS Transient structural и объема жидкости для гидродинамического расчета в ANSYS CFX. В ANSYS CFX проводился гидродинамический расчет для режима тор-

можения. Полученные значения давления на стенки цистерны передавались в модуль ANSYS Transient structural. В результате расчета были получены показатели НДС автомобильной цистерны. Проведен анализ полученных результатов.

## АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является цистерна с жидкостью (рисунок 1).

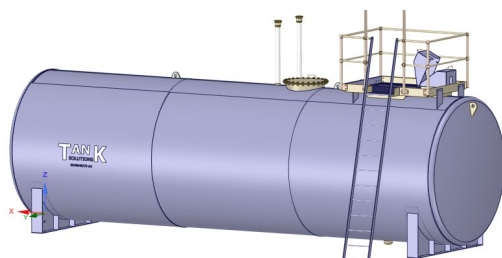


Рисунок 1 – Исходная компьютерная трехмерная геометрическая модель цистерны

Компьютерная трехмерная геометрическая модель взята из открытого источника [5]. На начальном этапе подготовки модели были устранены интерференции и зазоры, убраны элементы конструкции, не влияющие на конечный результат расчета. Данные преобразования позволяют создать подготовленную к расчетам геометрическую модель емкости цистерны для прочностного расчета (ANSYS Transient structural) и модель объема воды для гидродинамического расчета (ANSYS CFX) (рисунок 2).

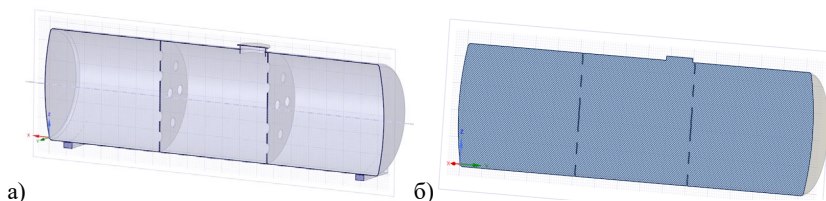


Рисунок 2 – Упрощенная компьютерная трехмерная геометрическая модель емкости цистерны (а) и объема воды (б)

## ЗАДАНИЕ/ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Физико-механические свойства материалов для стенок бака принимались линейными и были взяты из библиотеки ANSYS [3, 4].

## РАЗРАБОТКА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ

В среде программного комплекса ANSYS в модуле ANSYS Transient structural, на основе твердотельной геометрической модели емкости цистерны и объема жидкости (рисунок 2 а, б) созданы расчетные конечно-элементные модели (рисунок 3).

Средний размер стороны элемента емкости цистерны и объема жидкости составил 100 мм. [3, 4, 6].

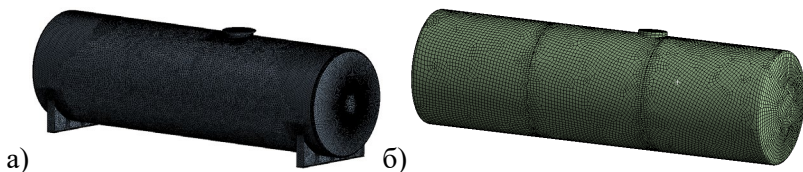


Рисунок 3 – Конечно-элементные модели емкости цистерны (а) и объема воды (б)

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ, ЭКСПОРТ ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Для моделирования поведения жидкости при экстренном торможении в модуле ANSYS CFX задавались следующие граничные условия: расчет выполнялся в трансцендентной постановке. Расчетное время составило 10 с. Шаг по времени составил 0,05 с.

Для моделирования жидкости применялась модель идеальной несжимаемой жидкости, описываемая уравнениями Эйлера с использованием элементов второго порядка. Модель турбулентности была принята типа  $k-\epsilon$ .

Граничные условия для расчета цистерны задавались для режима экстренного торможения со скорости 40 км/ч график ускорения для данного режима показан на рисунке 4.

В постпроцессоре ANSYS CFX визуализировано колебание жидкости в баке при экстренном торможении (рисунок 5). После, давление жидкости экспортируется в модуль ANSYS Transient structural.

На рисунке 6 показаны граничные условия для статического расчета Transient structural.

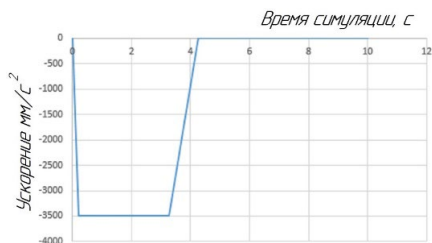


Рисунок 4 – История нагружения цистерны при экстренном торможении

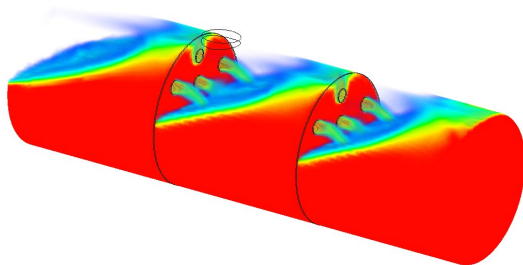


Рисунок 5 – Визуализация расчетов в постпроцессоре

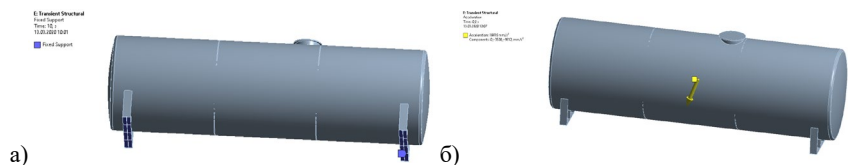


Рисунок 6 – Граничные условия для статического расчета (а – фиксация цистерны, б – задание ускорения торможения)

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рисунках 7–8 показаны результаты связанного расчета ANSYS CFX и Transient Structural, максимальные перемещения стенки цистерны составили 2,6 мм, а напряжения на стенке бака составляют 107 МПа, что не превышает предел текучести стали для изготовления цистерн 225 МПа (с учетом коэффициента запаса) [7].

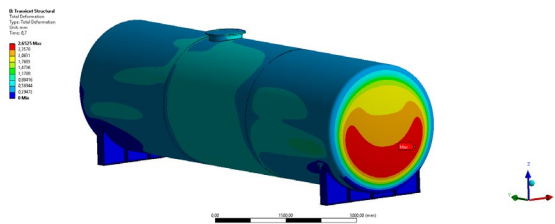


Рисунок 7 – Распределения перемещений цистерны в режиме торможения

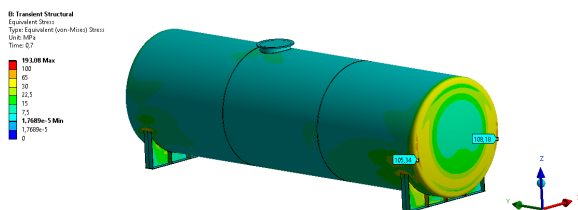


Рисунок 8 – Распределение эквивалентных напряжений в цистерне по результатам расчета

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлено моделирование связанного расчета ANSYS CFX и ANSYS Transient Structural. Были проведены расчетные исследования цистерны для режима экстренного торможения. Описан порядок настройки модуля ANSYS CFX с последующей передачей давления жидкости в модуль Transient Structural. Результаты расчетов показали существенное динамическое влияние жидкости на стенки цистерны. Так напряжения на нижней грани передней стенки бака составили 107 МПа, а суммарные перемещения – 2,6 мм. Применение связанного расчета весьма перспективно. Использование FSI позволяет проводить более точные расчеты для реальных режимов эксплуатации. Кроме того, появляется возможность анализировать тип и форму волнорезов, для гашения колебания жидкости и проведения последующего расчета долговечности сварных соединений и т. д.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гирин, С. Н., Гордлеев, С. Д. Проблемы эксплуатационной прочности автомобильных цистерн для перевозки жидких грузов //

Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – №31. – с. 141–144.

2. Петросян, А. С. Дополнительные главы гидродинамики тяжелой жидкости со свободной границей / А. С. Петросян. – М. : ИКИ РАН, 2010. – 127 с.

3. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с., ил.

4. ANSYS в руках инженера : практическое руководство. – Изд. 2-е, испр. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.

5. GRABCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Grabcad.com/library/on-ground-fuel-tank-55kl-platform-and-ladder-1/](http://Grabcad.com/library/on-ground-fuel-tank-55kl-platform-and-ladder-1/) – Дата доступа: 25.03.2021.

6. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. – М. : Мир, 1975. – 539 с.

7. ГОСТ РФ 50913-96. Автомобильные транспортные средства для транспортирования и заправки нефтепродуктов. Типы, параметры и общие технические требования.

Представлено 25.05.2021