

Инжиниринговая компания «ТЕСИС»

Международный форум

# **Инженерные системы - 2015**

6 – 7 апреля 2015 г.

Тезисы докладов SIMULIA Abaqus

Москва  
2015

**Инженерные системы-2015.** Программа и тезисы докладов  
Международного форума. Москва. 6-7 апреля 2015г.

© Коллектив авторов, 2015

© ООО «ТЕСИС», 2015

## ТЕЗИСЫ

Конференция пользователей SIMULIA Abaqus

### **ИТЕРАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ USER\_FE С АДАПТИВНОЙ АППРОКСИМАЦИЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ABAQUS ПРОЦЕССОВ РАССЛОЕНИЯ КОМПОЗИТОВ**

**Гондлях А.В.**

*НТУ «КПИ», г. Киев*

Разработан и численно реализован в среде ABAQUS на основе соотношений итерационно - аналитической теории [1] восьмиузловой изопараметрический многослойный конечный элемент пользователя (USER\_3DIAT\_Delam) для моделирования процессов расслоения и развития трещин в композитных многослойных. Элемент позволяет эффективно исследовать процессы распространения зон расслоения и разрушения в пространственных многослойных системах за счет:

а) - физически обоснованного определения коэффициентов интенсивности напряжений с учетом факторов неоднородного распределения деформаций поперечного сдвига и обжатия по толщине пакета слоев конструкции; б) - корректного переопределения статических и кинематических условий контакта между слоями в зависимости от истории возникновения и распространения трещин с зонами расслоения на протяжении всего жизненного цикла конструкции [2]; в) – корректного учета трения между расслоившимися слоями. Сравнение результатов численных решений контрольных задач с аналитическими решениями и экспериментальными данными [3,4] свидетельствует об их хорошем согласовании по параметрам последовательности образования и развития трещин и зон расслоения, пластического деформирования слоев, нелинейным диаграммам "нагрузка-прогиб" и т.п.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ С СОСУДОМ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИИ**

**Сергейчев И.В., Сафонов А.А., Федоренко А.Н., Федулов Б.Н.**

*СКОЛТЕХ, г. Москва*

В представленной работе выполнено, конечно-элементное, моделирование ударных испытаний контейнера-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов для мульти модальных перевозок химически агрессивных жидкостей и продуктов нефтехимии. Построенная модель учи-

тывает контактное взаимодействие перевозимой жидкости со стенками сосуда контейнера-цистерны, нелинейную жесткость поглощающих аппаратов автосцепок и систему рессорного подвешивания железнодорожной платформы, на которую устанавливается контейнер-цистерна перед проведением испытаний. Расчетная осциллограмма ускорения нижних угловых фитингов была преобразована в частотную область. Полученная кривая зависимости амплитуды от частоты оказалась выше необходимой пороговой кривой, то есть был достигнут необходимый уровень динамического нагружения. Величины деформаций материалов КЦКМ при этом были меньше допустимых.

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ SIMULIA/ABAQUS ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСОВ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА**

**Извеков О.Я., Корнев Д.В.**

*МФТИ, г. Долгопрудный*

В течение последних ряда лет (2011-2014) на факультете аэрофизики и космических исследований МФТИ читается семестровый курс «Численное решение задач механики твердого деформируемого тела в программных комплексах». В 2014 году было издано учебное пособие [1].

Курс является обобщающим в цикле дисциплин по механике сплошной среды. Целью курса является изучение с единых позиций основных моделей механического поведения деформируемых материалов: упругости, вязкости, пластичности. Особенностью курса является сочетание теоретического материала и практической работы с применением пакета SIMULIA Abaqus. В отличие от стандартных курсов, когда объектом изучения является сам прикладной пакет, здесь пакет является инструментом, позволяющим глубже усвоить теоретический материал. Учащийся, вооруженный прикладным пакетом, может самостоятельно варьировать входные данные, пробовать те или иные варианты нагружения или геометрии задачи, получать результаты в виде, удобном для дальнейшего анализа.

Доклад будет посвящен обсуждению опыта применения студенческой версии SIMULIA Abaqus в учебном процессе по механике твердого деформируемого тела.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕМОНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОКРУЖАЮЩИМИ ГРУНТАМИ**

**Баязитов М.И., Тропкин С.Н., Коннов Ю.Д., Сидоркин Д.И.**  
*УГНТУ, г. Уфа*

При проведении ремонтных операций на магистральных нефте- и газопроводах возможно возникновение ситуаций, когда при создании технологических разрезов на трубопроводе может его произойти самопроизвольное разрушение по всей окружности сечения. К данному эффекту приводит действующее в трубопроводе напряженное состояние, возникающее под воздействием окружающего грунтового основания.

В работе рассматривается случай ремонта участка трубопровода в зоне перехода через овраг. Производится оценка напряженного состояния трубопровода с учетом взаимодействия подземной части трубопровода и свободно висящей части трубопровода в виде балочных элементов и элементов взаимодействия трубы с грунтом PSI. На основе полученных значений НДС создается локальная оболочечная модель трубопровода, на которой моделируется проведение технологической операции, и возникновение разрушения.

Для недопущения разрушения трубопровода, в работе предлагается конструкция, позволяющая минимизировать влияние трубопровода в грунте на участок, на котором производятся ремонтные операции. Производится моделирование НДС участка трубопровода, с учетом установки на него укрепляющей конструкции.

На основе проведенного моделирования предлагается подход к оценке НДС магистральных трубопроводов при проведении технологических операций и ремонтных работ.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОД- ЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ**

**Скворцов А.А., Журавлева Т.Ю., Тропкин С.Н., Воронова А.В.**  
*ООО «Газпром Геотехнологии», г. Москва*

В процессе разработки газоконденсатных месторождений на крайнем севере России возникают проблемы захоронения отходов бурения. Захоронение их на специальных полигонах на поверхности земли крайне дорогостоящее, и может существенно повлиять на хрупкую экосистему заполярной тундры.

В качестве хранилища буровых отходов используются подземные резервуары в многолетнемерзлых грунтах, сооруженные методом размыва. Данная технология требует минимального размера землеотвода, и обеспечивает высокую экологическую безопасность.

Главным условием эксплуатации подобных хранилищ является их длительная устойчивость в процессе строительства, простоя и закачки хранимого продукта до момента консервации скважины.

Для моделирования устойчивости подземных выработок был применен программный комплекс SIMULIA Abaqus.

Геометрическая форма подземных резервуаров моделировалась на основе ультразвукового сканирования выработок-емкостей.

Было выполнено исследование по определению параметров математических моделей описывающих физико-механические свойства многолетнемерзлых пород.

Оценивалась устойчивость ранее возведенных подземных резервуаров и их взаимодействие в массиве многолетнемерзлых пород, а также производилось сравнение полученных данных моделирования с результатами натурных наблюдений за эксплуатационным состоянием подземных резервуаров.

## **КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОДАЛЬНОГО КОМПОЗИТНОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАСЧЁТАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЭС**

**Коротков В.А. , Антонов Н. А.**

*ОАО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ», г. Москва*

Традиционно в модальном методе программного комплекса SIMULIA Abaqus применяется опция \*MODAL COMPOSITE для определения модального композитного демпфирования систем, части которых имеют различное демпфирование. Эта опция обеспечивает расчёт демпфирования как средневзвешенной величины пропорционально массе КЭ. Однако в строительных конструкциях АЭС при проведении динамических расчётов необходимо учитывать взаимодействие сооружения с грунтовым основанием. При этом грунт моделируется пружинами и демпферами из ASCE 4-98, и достоверно определить модальное композитное затухание невозможно из-за отсутствия массы в элементах пружин. Поэтому данная опция была дополнена возможностью учёта модального композитного затухания пропорционально жесткости элемента, что в свою очередь позволило учесть демпфирование в грунте, так как соответствующие грунтовые пружины обладают жесткостью. Но в этом случае теряется возможность учёта демпфирования в сосредоточенных массах, которые используются для моделирования тяже-

лого оборудования. Иначе говоря, демпфирование в элементах типа MASS в этом случае равно нулю.

Предлагается новая опция, реализованная в программном комплексе SIMULIA Abaqus для расчёта модального композитного затухания, являющегося комбинацией средневзвешенных характеристик пропорционально массе и жесткости КЭ. Данная опция позволяет получать в расчётах более реалистические результаты. Также, на реальном тесте демонстрируется существенное снижение спектральных ускорений в местах расположения оборудования АЭС при использовании опции модального композитного затухания комбинированного типа.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПУЛТРУЗИИ ПРОФИЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Сафонов А.А.<sup>1</sup>, Константинов А.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *СКОЛТЕХ, г. Москва*

<sup>2</sup> *ННГУ, г. Нижний Новгород*

Работа посвящена созданию методики численной оценки остаточных технологических деформаций в профилях сложного сечения композиционных материалов на основе терморективного связующего. Для этого в рамках ПП АBAQUS реализована математическая модель поведения такого материала, в которой термомеханические характеристики связующего (модули упругости, коэффициенты теплового расширения, теплоемкость и теплопроводность) зависят от температуры и степени полимеризации. Химическая реакция полимеризации (отверждения) терморективной матрицы рассчитывается на основании кинематической модели. Эффективные характеристики армированного волокнами или тканью композиционного материала в рамках модели трансверсально-изотропной среды определяются с помощью микромеханических моделей. В качестве иллюстрации работы созданной расчетной методики приводится пример прогноза коробления стеклопластикового швеллера для мостовых конструкций в процессе пултрузии. Получено, что изменение угла между полками швеллера и его стенкой в ходе технологического процесса составляет 0.6 градуса.

## **РАСЧЕТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРА - ЦИСТЕРНЫ С СОСУДОМ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИИ**

**Сергеичев И.В., Федулов Б.Н., Сафонов А.А., Федоренко А.Н.**  
*СКОЛТЕХ, г. Москва*

Рассматривается процесс расчетного проектирования конструкции контейнера - цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов для мультимодальных перевозок химически агрессивных жидкостей и продуктов нефтехимии. Приводится описание конечно-элементных моделей, воспроизводящих схемы армирования и конструкционные особенности сосуда. С использованием указанных моделей проведены расчеты прочности регулярных зон и зон материальных границ, сформированных в процессе изготовления конструкции сосуда. Проводится сравнение результатов расчета и натуральных гидравлических испытаний опытного образца сосуда контейнера – цистерны.

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УПРУГОЙ КОНСТРУКЦИИ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ, В КАЧЕСТВЕ МНОГОЧАСТОТНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ (МДГК)**

**Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д.**  
*ФГБУН ИМАШ РАН, г. Москва*

Рассматривается многочастотный динамический гаситель колебаний в виде упругого цилиндра, частично наполненного водой. Настройку гасителя предлагается осуществлять высотой уровня жидкости, а также изменением ее физико-механических свойств, т.е. использованием различных типов жидкостей. Колебания жидкости должны поглотить энергию возмущающих колебаний.

Численное моделирование проведено средствами SIMULIA Abaqus. Рассчитаны собственные частоты и формы колебаний упругого гасителя с жидким наполнением. Построены амплитудно-частотные характеристики, позволяющие оценить виброактивность такого гасителя в диапазоне 0.5-30гц.

# **РЕШЕНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ О ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ МДГК С ЖИДКОСТЬЮ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ПРИРОДНЫХ КАТАКЛИЗМОВ**

**Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д.**  
*ФГБУН ИМАШ РАН, г. Москва*

Проведен расчет строительной конструкции при пространственном кинематическом возбуждении ее основания (фундамента) в частотном диапазоне 0,5-30 Гц. Моделирование конструкций и жидкости выполнено при помощи трехмерных КЭ.

Результаты работы указывают на перспективность предлагаемого подхода в практических применениях, таких как защита строительных конструкций от техногенных и природных катастроф (типа землетрясений), защита емкостей с топливом в местах повышенной сейсмоактивности, а также в прикладном использовании упругих емкостей с жидким наполнением, работающих на резонансных режимах и т.п.

## **СОВМЕЩЕННОЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЕ НЕФТЕНАСЫЩЕННОГО ПЛАСТА В SIMULIA ABAQUS**

**Лукин С.В.<sup>1</sup>, Дубиня Н.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *ООО «Газпромнефть-НТЦ», г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup> *МФТИ, г. Долгопрудный*

В работе представлена методика создания геомеханической модели нефтяного пласта средствами Abaqus и специального программного обеспечения для гидродинамического моделирования. Подход реализован при создании геомеханической модели месторождения Сибири.

Основная цель проведенного исследования - расчет динамики полей эффективных напряжений в процессе разработки месторождения и анализ их влияния на добычу нефти.

Для определения полей эффективных напряжений необходимо математическое моделирование фильтрационных процессов в пласте. Авторами разработан программный модуль, осуществляющий совмещение геомеханического моделирования в Abaqus с гидродинамическим моделированием в симуляторе для гидродинамического моделирования.

Общая схема работы заключается в определении поля поровых давлений на каждом временном шаге, использовании этого поля как начального условия в Abaqus, расчета распределения проницаемости породы как функции от напряжений и последующего пересчета поля поровых давлений в

гидродинамическом симуляторе. Таким образом, в расчете реализуется методика по совмещению расчетов с обратной связью.

Задача восстановления напряжений в пласте ставится некорректно, так как остаются значительные неопределенности в постановке граничных условий – неизвестны перемещения и напряжения на границах расчетной области. Неопределенности устраняются путем калибровки модели на одномерных геомеханических моделях для скважин, играющих роль опорных точек. Кроме того, адаптация модели проводится путем сравнения результатов моделирования с историей разработки.

Основной результат исследования - рабочий процесс для создания трехмерной динамической геомеханической модели. Разработанный инструментарий предполагается использовать для развития методик геомеханического моделирования. Функционал созданной модели позволяет уточнять прогноз накопленной добычи с учетом вклада геомеханических характеристик коллектора.

## **ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИКСАТОРА НА НЕДОПУЩЕНИЕ ЛАВИННОГО СМЯТИЯ МОРСКОГО ТРУБОПРОВОДА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMULIA ABAQUS**

**Тимченко Д. В.**

*НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург*

Морской трубопровод, уложенный на дне, подвержен возможной местной потере устойчивости. Одним из критериев местной потери устойчивости является лавинное смятие [1]. Самым распространённым методом борьбы с лавинным смятием является фиксатор, который предотвращает дальнейшее смятие трубопровода и делает трубопровод более жестким.

Цель исследования - оценить эффективность применения фиксатора на недопущение распространения лавинного смятия морского трубопровода. Для реализации поставленной цели были смоделированы участок трубопровода и изменение проходного сечения, а также заданы значения внутреннего и внешнего давления на поверхность трубопровода. На рисунке 1 представлен трубопровод после воздействия по двум критериям (пластическая деформация и напряжения по Мизесу).

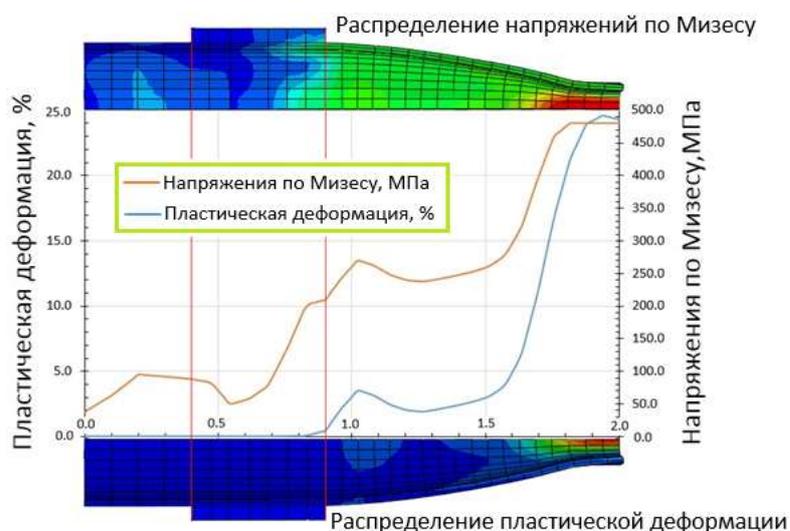


Рисунок 1 – График распределения пластической деформаций и напряжений по внутренней стенке трубы

График на рисунке 1 показывает, что фиксатор полностью останавливает распространение напряженно-деформируемого состояния и пластических деформаций, что является крайне важным условием, т.к. участок трубы, на котором произошла пластическая деформация или изменение овальности трубы более чем на 3% подлежит полному демонтажу и замене [1].