

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Можаровский В. В. *, Марьин С. А. *,
Кузьменков Д. С. *, Василевич Ю. В. †

* УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»
г. Гомель, ул. Советская 104, 246019
val-mozh@yandex.ru, s_marjin@mail.ru

† Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Пр. Независимости, 65, 220013
d_kuzm@tut.by

Введение. Разработка современных методов оценки ресурса оборудования (сосудов, трубопроводов) из новых материалов, в том числе композиционных, на основе имеющейся диагностической информации, в настоящее время является достаточно актуальной. Поэтому, проблема разработка программного комплекса на ПЭВМ, позволяющего автоматизировать данный процесс, является очень важной и современной.

Постановка задачи. Пусть имеется слоистая цилиндрическая толстостенная труба (внутренний радиус – r_a , внешний – r_b , n – число слоев трубы). Труба находится под действием равномерно распределенной термосиловой нагрузки: p – интенсивность внутренней нагрузки, ΔT – температура нагрузки. Необходимо определить напряжения и перемещения, возникающие в трубе под действием нагрузки. При расчете напряженно-деформированного состояния трубопроводов и систем трубопроводов из-за сложной геометрии и особенностей конструкционного строения стенок труб, а также в связи с необходимостью моделирования различных слоистых тел, используется конечно-элементный анализ в двухмерных постановках. На основании теоретических исследований [1, 2] была разработана автоматизированная методика расчета напряженно-деформируемого состояния слоистых конструкций из анизотропных материалов при действии температуры и давления, создан программный комплекс, реализующий расчет напряжений и перемещений слоистых труб. Решение рассматриваемой задачи сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Численные исследования. Следуя методике [1], был разработан программный модуль CalcMultilayerPipe, общий вид которого приведен на рисунке 1.

С использованием программы CalcMultilayerPipe был выполнен расчет напряженно-деформированного состояния слоистой цилиндрической трубы (Наружный диаметр стальной трубы (3 слой) – 219 мм; материалы: 1 – полиэтилен, толщина – 5 мм; 2 – пенополиуретан, толщина – 50 мм; 3 – сталь (ст-20), толщина – 5 мм), находящейся под действием внутреннего давления 10 МПа и температуры 100 °С. Максимальные значения напряжений σ_x сосредоточены на внутренней поверхности трубы и достигают значения $42p$. Максимальная абсолютная величина напряжений составляет $1,5p$. В целом напряжения σ_y прини-

мают значения в следующем диапазоне: от минус $1,1p$ до плюс $1,5p$ (рис. 1).

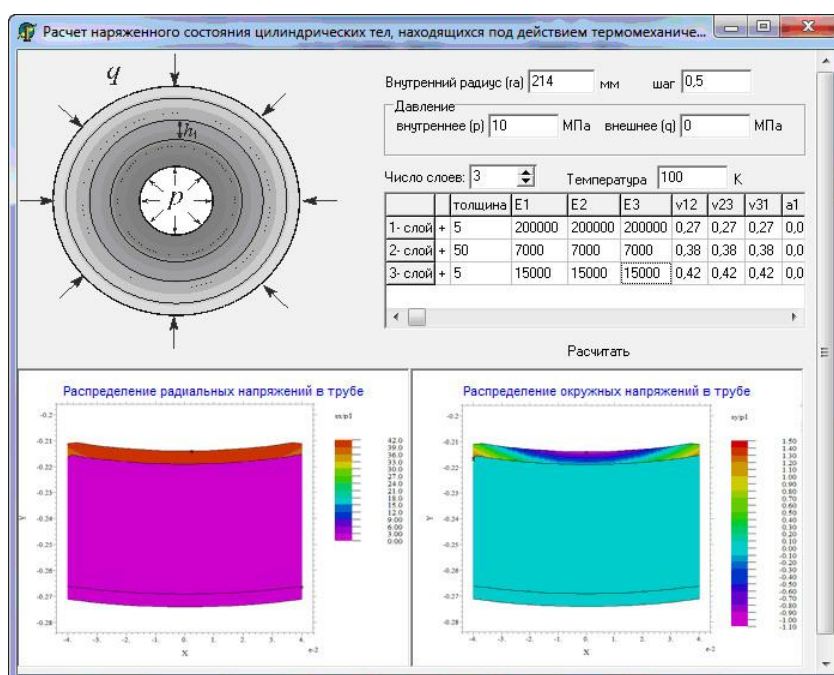


Рисунок 1 – Общий вид программы CalcMultilayerPipe

Реализация расчета напряжений многослойных труб. Расчеты проводились в предположении, что $E_y = E_z$, $G_{yy} = G_{zz}$, $\nu_{zx} = \nu_{yx}$. Напряжения определялись аналогично [3]. Было просчитано множество различных примеров (различные материалы, давление и т. д.). На рисунке 2 приведен график зависимости $\sigma_r^{(k)}$ от r (значения $\sigma_r^{(k)}$ приводятся в МПа, $r_0 = 0,05$ мм, $r_1 = 0,052$ мм, $r_2 = 0,072$ мм, $r_a = 0,074$ мм, $\Delta T = 100$ К, $p_0 = 0,1$ ГПа). Аналогичные графики построены для $\sigma_\theta^{(k)}$ и $\sigma_z^{(k)}$.

Разработанный программный комплекс позволяет свободно варьировать материалами покрытия труб и их характеристиками и показывает правдоподобные результаты.

Также были проведены расчеты с использованием аппарата конечно-элементного моделирования. Разбиение расчетной области, производилось нерегулярной сеткой, треугольными конечными элементами. Увеличение количества конечных элементов в местах концентрации напряжений позволило достичь наибольшей точности при расчетах.

Заключение. Была разработана автоматизированная методика и создан программный комплекс для определения напряжений и деформаций слоистых цилиндрических конструкций из анизотропных материалов. В работе приводятся примеры экспериментальных исследований. Методику и программный комплекс, описанные в работе можно легко обобщить на другие трубопроводные системы, использующие новые материалы, в том числе и композиционные.

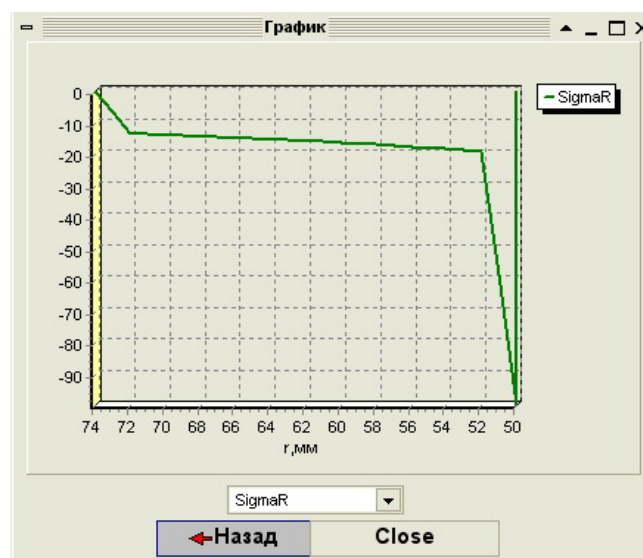


Рисунок 2 – Зависимость $\sigma_r^{(k)}$ от r

Литература

1. Xia M., Kemmochi K., Takayanagi H. *Analysis of filament-wound fiber-reinforced sandwich pipe under combined internal pressure and thermomechanical loading* // Comp. Structures. – 2001. – № 51. – P 273 – 283.
2. Можаровский В. В., Марьин С. А., Марьина Н. А. *Напряженно-деформированное состояние слоистых цилиндрических труб* // Вестник ХНТУ. – 2008, № 2 (31). – С.304 – 309.

ВЛИЯНИЕ НЕВАЛЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ НА УПРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ГРАФЕНА

Нагорный Ю. Е., Репченко В. И.

Белорусский государственный университет, Минск, проспект Независимости, 4

Nagorny.yury@gmail.com

Введение. Расширение сферы применения наноразмерных структур в науке, технике, промышленности вызвало появление новой отрасли знаний – наноматериаловедения. Использование наночастиц в качестве элементов конструкций и устройств, армирующих добавок в композиционных материалах естественно подразумевает знание их механических свойств. Наиболее простой регулярной структурой, на примере которой могут быть отслежены многие закономерности механического поведения наноразмерных систем связанных атомов является графен. На сегодняшний день, несмотря на значительное число теоретических и экспериментальных работ, посвященных исследованию механического поведения графена приходится констатировать, что пока получена лишь самая общая информация [1]. Фактически, определены лишь упругие параметры, характеризующие растяжение-сжатие. Теоретические исследования ведутся в приближении поля центральных сил (ПЦС) или валентно-силового поля (ВСП), где учитываются силы воздействия на атом лишь ближайших соседей. Однако анализ простейших одномерных задач показыва-