



Аль Раммахи  
Мустафа М. М.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИНЕРЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО ГАЗОСЕПАРАТОРА

*В статье рассмотрены основные программные продукты для моделирования напряженно-деформированного состояния оболочек. Проведено исследование прочности и устойчивости инерционно-фильтрующего газосепаратора и получены результаты, которые показывают влияние различных концентраторов напряжения на коэффициент устойчивости.*

**Ключевые слова:** моделирование, прочность, инерционно-фильтрующий сепаратор, расчет.

## 1. Введение

При проектировании нового типа оборудования основное внимание уделяется конструированию проточных частей, а также гидродинамической обстановке в рабочих областях устройств, после чего обязательно проводятся поверочные расчеты на прочность основных узлов и деталей разработанной конструкции. Таким образом, моделирование напряженно-деформированного состояния и прочностно-элементный анализ новых конструкций инерционно-фильтрующих (ИФ) сепараторов представляется актуальной задачей и является неперенным условием его длительной и надежной эксплуатации.

## 2. Цель исследования

Целью исследования является определение напряжений возникающих в оболочке газосепаратора ИФ типа при наличии штуцеров различной конструкции и установленных в различных местах оболочки, а также выдача рекомендации по методам уменьшения возникающих рисков.

## 3. Задачи исследования

Создание трехмерной твердотельной модели газосепаратора без штуцеров и внутренних устройств, а также второй модели со штуцерами.

Приложение нагрузок на внутренние поверхности, а также закрепление тех частей аппарата, которые не могут подвергаться перемещениям.

## 4. Литературный обзор источников

Для решения данной задачи сегодня на рынке программного обеспечения имеется несколько альтернативных программных продуктов, которые производят прочностной анализ на основе методик конечно-элементного моделирования. На данный момент в мире разработано множество программных продуктов для моделирования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, среди них Ansys Workbench [1, 6], Пассат

от НТП «Трубопровод» [2], APM Structure3D [3, 7], Autodesk Inventor [4] и другие [8, 9, 10].

Наиболее доступными из таких отечественными инструментами являются система прочностного анализа APM FEM и система автоматизированного расчета APM WinMachine (разработчик НТП «Автоматизированное проектирование машин») [5]. Они предназначены для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов деталей машин и механизмов, элементов конструкций и узлов, созданных в САД-системе КОМПАС-3D.

## 5. Методика моделирования и результаты исследования

Моделирование проведено для модернизированного ИФ газосепаратора производительностью 50000 м<sup>3</sup>/час природного газа (расчетные давление  $p = 1,6$  МПа и температура  $t = 20$  °С), проходящего опытно-промышленные испытания на Качановском ГПЗ (ПАТ «Укрнефть»). Материал корпуса и внутренних устройств аппарата — Сталь 16ГС. Механические характеристики определены согласно ГОСТ 14249-89.

В процессе моделирования конструкция корпуса разбита на конечные треугольные элементы, которые образуют конечно-элементную расчетную сетку (табл. 1).

Таблица 1

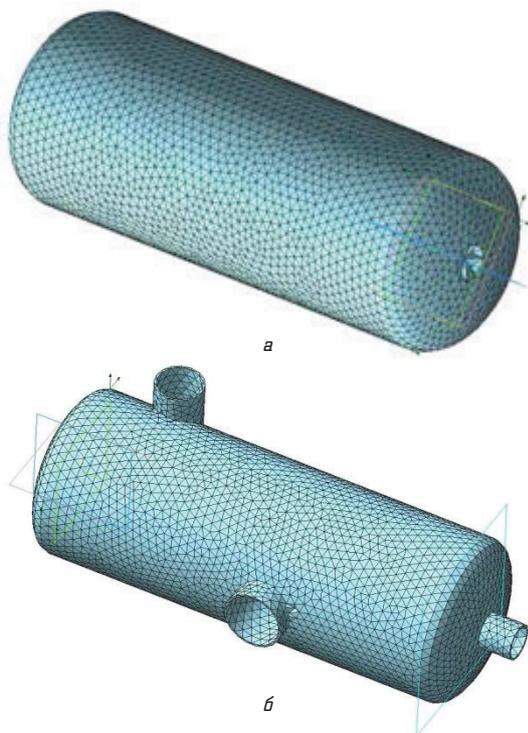
Параметры и результаты разбиения

Наименование	Значение
Максимальная длина стороны элемента [мм]	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1
Коэффициент разрежения в объеме	1,5
Количество конечных элементов	21505
Количество узлов	6728

Как видно из рис. 1 в зонах расположения концентраторов напряжений сетка разбивается на более мелкие элементы.

После этого заданы граничные условия и приложение нагрузки (распределенное давление на внутренние

стенки сосуда и штуцеров), а также указаны закрепления в месте приварки цилиндрической опоры.

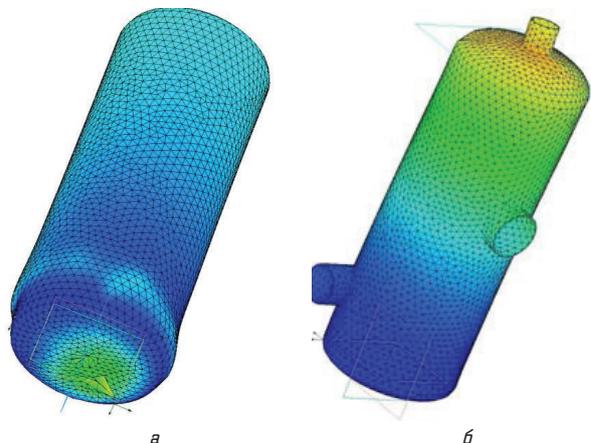


**Рис. 1.** Разбиение конструкции на элементы расчетной сетки: *а* — оболочка без внутренних устройств и штуцеров; *б* — оболочка при наличии штуцеров

Анализируя конструкцию газосепаратора можно сказать, что в нем есть несколько видов концентраторов напряжений, такие как тангенциально и радиально расположенные штуцера, места соединения цилиндрической и эллиптической части. Влияние вышеперечисленных факторов на прочность и устойчивость рассмотрено ниже (рис. 2).

Результаты моделирования показывают, что без наличия штуцеров напряжения в оболочке распределяются

равномерно, и это положительно влияет на надежность и прочность аппарата (рис. 3).



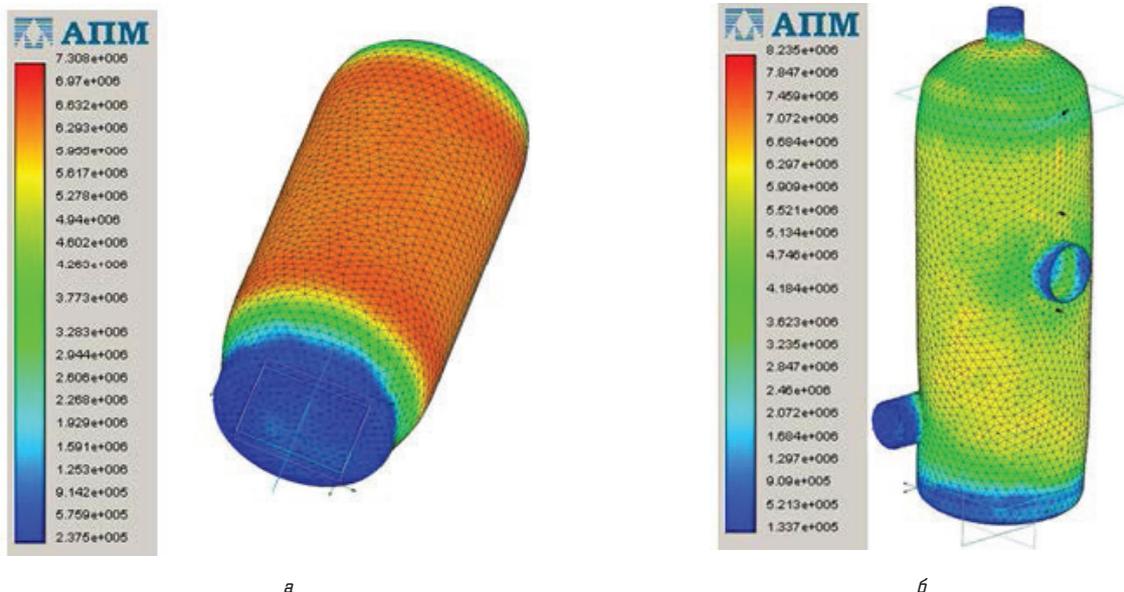
**Рис. 3.** Результаты моделирования потери устойчивости

Таким образом, для сохранения прочности конструкции необходимо укреплять отверстия за счет избыточной толщины стенки штуцера и аппарата, а также накладных колец.

Результаты моделирования оболочки со штуцерами и без показывают что напряжения в оболочке без штуцеров распространяются более равномерно и это положительно влияет на надежность конструкции. В свою очередь, так как наш газосепаратор работает в составе технологической схемы и необходимо подводить и отводить среды, а также контролировать технологические параметры, то наличие штуцеров является обязательным условием. Но, как видно по коэффициенту запаса устойчивости штуцера, отрицательно влияют на него (без штуцеров  $K_y = 0,002136$ , со штуцерами  $K_y = 0,000305$ ).

## 6. Выводы

Прочностной анализ модуля APM FEM позволяет решать линейные задачи: напряженно-деформированного состояния (статический расчет), статической прочности



**Рис. 2.** Распределение напряжений в оболочке корпуса аппарата

сборок, устойчивости, термоупругости, стационарной теплопроводности. Динамический анализ позволяет определять частоты и формы собственных колебаний, в том числе для моделей с предварительным нагружением.

Расчетами определены: распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений; распределение линейных, угловых и суммарных перемещений; распределение деформаций по элементам модели; эпюры распределения внутренних усилий; значение коэффициента запаса устойчивости и формы потери устойчивости; распределение коэффициентов запаса и числа циклов по критерию усталостной прочности; распределение коэффициентов запаса по критериям текучести и прочности; распределение температурных полей и термонапряжений; координаты центра тяжести, вес, объем, длина, площадь поверхности, моменты инерции модели, а также моменты инерции, статические моменты и площади поперечных сечений; реакции в цилиндрической опоре аппарата, а также суммарные реакции, приведенные к центру тяжести модели газосепаратора.

#### Литература

1. Чичеров, Л. Г. Расчет и конструирование нефтепромышленного оборудования [Текст] / Л. Г. Чичеров, Г. В. Молчанов, А. М. Рабинович. — М.: Недра, 1987. — 422 с.
2. Краснокутский, А. Прочностной анализ с помощью программы ПАССАТ [Текст] / А. Краснокутский, А. Тимошкин // Cad Master. — № 3. — 2006. — С. 86–89. — Режим доступа: URL: [http://www.truboprovod.ru/articles/CadMaster2006\\_03\\_Passat.pdf](http://www.truboprovod.ru/articles/CadMaster2006_03_Passat.pdf).
3. Юсупов Ильгиз. Использование модуля прочностного анализа APM Structure 3D для расчета строительных конструкций в условиях сурового климата [Текст] / Ильгиз Юсупов // САПР и графика. — № 8. — 2000.
4. Стремнев, А. Прочностные анализы в Autodesk Inventor [Текст] / Александр Стремнев // САПР и графика. — № 5. — 2010. — Режим доступа: URL: <http://pointcad.ru/about/article/362/818/>.
5. Магомедов, А. Интегрированный конечно-элементный анализ в КОМПАС-3D [Текст] / Александр Магомедов, Андрей Алехин // Машиностроение и смежные отрасли. — № 8(60). — 2010. — Режим доступа: URL: [http://kompas.ru/source/articles/Observer\\_08.2010\\_APM.pdf](http://kompas.ru/source/articles/Observer_08.2010_APM.pdf).

6. Кочина, М. Л. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния роговицы глаза с использованием системы инженерного анализа ANSYS [Текст] / М. Л. Кочина, В. Г. Калиманов // Клиническая информатика и Телемедицина. — 2009. — Т. 5, вып. 6. — С. 26–30.
7. Савинова, Н. Опыт проведения исследований корпусных деталей дробильного оборудования в среде прочностного анализа APM Structure3D [Текст] / Наталья Савинова // САПР и графика. — № 3. — 2005. — Режим доступа: URL: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=7066&iid=289>.
8. Бандурин, М. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки [Текст] / М. А. Бандурин // Научный журнал КубГАУ. — № 24(8). — 2006. — Режим доступа: URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/33.pdf>.
9. Bakouline, N. Variation parametric research technique of variable by step width shollo shells with finite deflections [Text] / N. Bakouline, O. Ignatiev, V. Karpov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — Volume 1. — Issue 3. — 2000. — pp. 1–6.
10. Doneil, L. N. A new theory for buckling of thin cylinders under axial compression and bending [Text] / L. N. Doneil // Trans. ASME. — 1934. — pp. 56.

#### МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА МІЦІСНО-ЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ІНЕРЦІЙНО-ФІЛЬТРУЮЧОГО ГАЗОСЕПАРАТОРА

В статті розглянуті основні програмні продукти для моделювання напружено-деформованого стану оболонок. Проведено дослідження міцності та стійкості інерційно-фільтруючого газосепаратора і отримані результати, які показують вплив різноманітних концентраторів напруги на коефіцієнт стійкості.

**Ключові слова:** моделювання, міцність, інерційно-фільтруючий сепаратор, розрахунок.

*Мустафа Маккі Аль-Раммахі Мохаммед Али, аспірант, кафедра процесів і обладнання хімічних і нафтопереробних підприємств, Сумської державної університету, e-mail: engmustafa@ukr.net.*

*Мустафа Маккі Ал-Раммахі Мохаммед Али, аспірант, кафедра процесів і обладнання хімічних і нафтопереробних підприємств, Сумський державний університет.*

*Mustafa Makki Al-Rammahi Mohammed Ali, Sumy State University, e-mail: engmustafa@ukr.net*

УДК 004.89

**Левыкин В. М.,  
Халецкая О. Н.**

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ

Данная работа посвящена разработке и исследованию модели структуры бизнес процессов. Рассмотрены существующие модели структуры бизнес процессов, экспертным путем выделены преимущества и недостатки. На основании экспертных оценок построена новая комбинированная модель структуры бизнес процессов, которая дает более точную оценку ее адекватности за счет использования данных моделей.

**Ключевые слова:** модель структуры, бизнес процесс, комбинированная модель, критерии эффективности.

### 1. Введение

В настоящее время ИТ-организации начинают активно реализовывать проекты по созданию бизнес-моделей. Данная активность не является данью некой новой «техноло-

гической» моде — для нее существуют вполне объяснимые причины, связанные с действием совокупности объективных экономический и организационно-правовых факторов.

Во-первых, наличие документированной бизнес-архитектуры предприятия является обязательным условием