УДК 621.646.247
УДК 621.646.651
УДК 678-5/-8

В.П. Кольцов, д-р техн.. наук**,** проф.**, Е.С. Попова, Д.А. Стародубцева**
Иркутский государственный технический университет, Россия
тел.(3952) 405151, факс. (3952) 405150; E-mail: ctt@istu.edu

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ГОФРИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

В статье рассмотрены результаты исследования напряженно-деформированного состояния двух вариантов выполнения гофрированных оболочек. Геометрическое моделирование устройства проведено в системе Autodesk Inventor. Исследование гофрированных оболочек было проведено в системах инженерного анализа MSC.Patran и MSC.Marc. В ходе исследования выбран оптимальный вариант выполнения гофрированной оболочки, проведён анализ процесса эксплуатации оболочки.

***Ключевые слова**: гофрированная оболочка, полимеры, системы инженерного анализа, деформация, напряжение*

Введение. Использование гофрированной оболочки из полимерных материалов, объясняется рядом достоинств. Она сохраняет прочность и плотность при многоцикловых деформациях сжатия, растяжения, изгиба и их комбинаций под воздействием внутреннего или внешнего давления, температуры и механических нагружений. Благодаря ребрам жесткости, обусловленным особенностями конструкции, изделия обладают высокой устойчивостью на изгиб, кручение и сжатие. Это свойства позволяют использовать их в составе сложных технических устройств при повышенных нагрузках. Даже при прямых механических повреждениях целостность поверхности оболочки не нарушается [1].

При проектировании новых видов технологического оборудования возникла необходимость выбора одного из вариантов формы выполнения гофрированной оболочки. В работе проведен анализ параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) вариантов конструкции оболочки. Установлено максимальное значение напряжения.

Основное содержание работы. Главное свойство разрабатываемого устройства - способность к большим обратимым деформациям. Одним из конструкционных материалов, отвечающих такому требованию, являются полимеры. Они способны переносить значительные нагрузки без разрушения. Физико-механические свойства полимера приведены ниже [2], [3].

- модуль упругости E=700 МПа;
- плотность ρ= 900 кг/м3;
- коэффициент Пуассона 0,45

Размеры гофрированных оболочек определены согласно техническому заданию (рис. 1, рис. 2).

Нижняя пластина оболочки, первая, выполнена без отверстия из метала. Физико-механические свойства материала приведены ниже:

- модуль упругости E=210000 МПа; плотность ρ= 7800 кг/м^3; коэффициент Пуассона 0,3.

Количество сегментов принято равным 7. В качестве граничного условия по перемещению гофры создана ограничивающая поверхность, удаленная на 108 мм. Толщина пластин постоянна и равна 4 мм. Гофрированная оболочка подлежит нагружению давлением, прикладываемым к внутренней поверхности в размере 1,0133 и 1,6213 МПа.

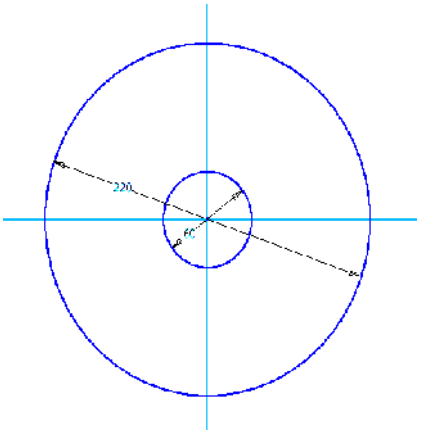

Рис. 1. Эскиз модели круглой пластины

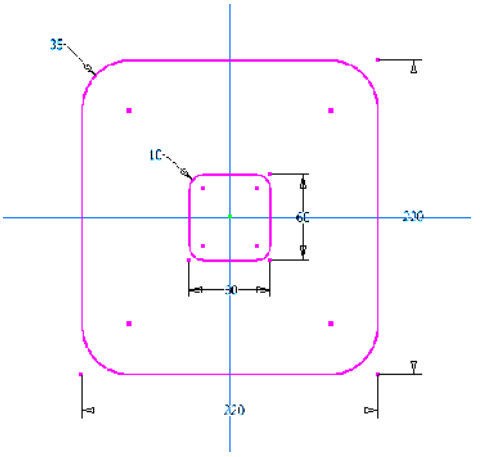

Рис. 2. Эскиз модели квадратной пластины

С развитием вычислительной техники и конечно-элементных комплексов инженерного анализа появилась возможность проводить оценки характеристик НДС гофрированных оболочек уже на раннем этапе проектирования. Проведение подобного анализа представляет собой достаточно сложную инженерную задачу, имеющей в своей постановке двойную нелинейность: контактное взаимодействие элементов оболочки и гиперупругие нелинейные свойства резины.

Компьютерное моделирование в инженерных расчетах, проводимых на современном промышленном уровне, осуществляется с применением высокоэффективного математического метода конечных элементов (МКЭ). Основная идея этого метода заключается в том, что область исследуемого континуума (область определения) подвергается дискретизации на подобласти (или конечные элементы), при этом, именно на подобласти осуществляется построение математической модели или определяющего дифференциального уравнения физики процесса или объекта [4].

Для современной инженерной практики, используемой в частности в проектно – конструкторских организациях, промышленных предприятиях и других отраслях, нет необходимости программировать математические зависимости МКЭ с самого начала, в особенности для широко используемого класса линейных физических задач. С развитием МКЭ, решение этих задач, наряду с большинством нелинейных задач, запрограммировано, отлажено и сформировано в программные комплексы.

Для анализа параметров НДС конструкции с учетом нагружения выбран комплекс программ компании MSC. Software MSC.Patran и анализа MSC.Marc [5], [6].Выбор данной системы обоснован возможностью решения высоко нелинейных прочностных задач, в том числе с возможностью учета истории нагружения конструкции. Пре- и

постпроцессор MSC.Patran в свою очередь предоставляет широкие возможности для удобной и быстрой работы с системой анализа MSC.Marc.

MSC.Patran предоставляет обширный набор возможностей для задания нагрузок, граничных условий, свойств материалов и элементов, параметров расчета, а также для визуализации, обработки и преобразования результатов счета. Имеются также возможности запуска расчёта (в том числе удаленного и в гетерогенных компьютерных сетях, включая многопроцессорные режимы работы), отслеживания и контроля процесса решения задач [7].

Процесс исследования начинается с создания расчетной модели. Для получения точных результатов необходимо построение расчетных моделей, близких к реальным, то есть содержащих все отверстия, вырезы и т. д. Построение геометрических моделей пластин гофрированных оболочек выполнили с помощью программного продукта 3D моделирования системы Autodesk Inventor.

После создания геометрическая модель экспортируется в интегрирующую среду для систем анализа, MSC.Patran с расчетным модулем MSC.Marc.

С помощью мощных средств, имеющихся в системе MSC.Patran, создается конечно-элементная модель объекта (рис. 3, рис. 4). К этим средствам относятся генераторы конечно-элементных сеток, которые автоматически наносятся на поверхности и твёрдые тела. Описываются граничные условия в терминах степеней свободы, которые определяют направление вдоль трёхмерных осей координат, по которым модель может иметь перемещений, как в линейном, таки угловом направлениях.

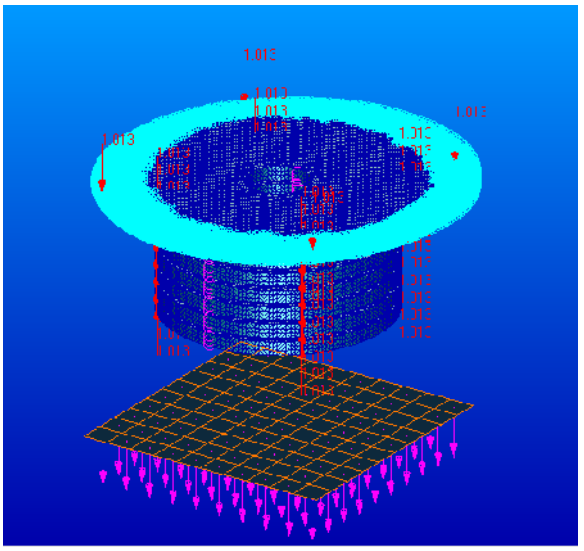

Рис.3. Конечно-элементная модель круглой гофрированной оболочки, подготовленная для расчета

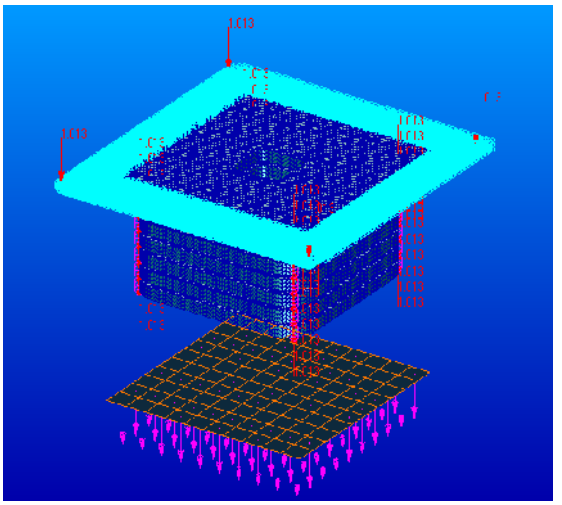

Рис. 4. Конечно-элементная модель квадратной гофрированной оболочки, подготовленная для расчета

MSC.Patran имеет возможность задавать свойства материалов, из которых изготавливается объект. Эти свойства определяют тип материала, жёсткость, плотность объекта моделирования. Завершающий этап моделирования – анализ полученных результатов приложения нагрузки. При конечно-элементном анализе оценивается индивидуальные реакции модели на нагрузки и граничные условия. Нагрузки

рассматриваются в широком смысле и могут представляться в форме сил, моментов сил, давлений, температуры.

Результаты решения статической задачи перемещения и напряжения в узлах КЭ модели приведены на рис. 5, 6, 9, 10. Для этого используется возможность системы анализа представлять в визуальной форме данные, используя компьютерную графику.

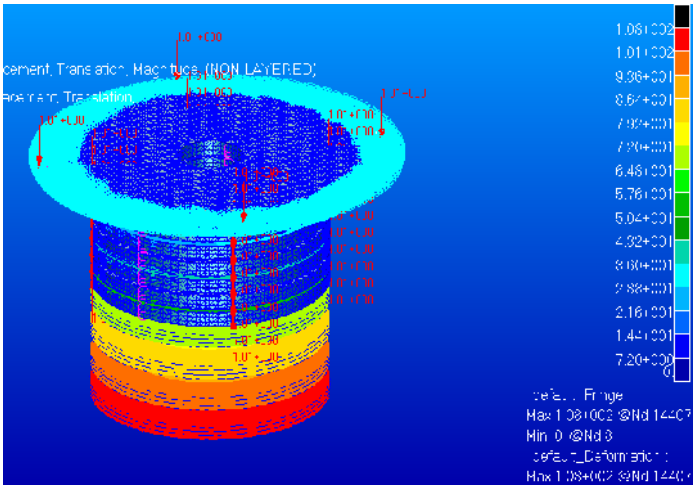

Рис. 5. Круглая гофрированная оболочка в деформированном состоянии

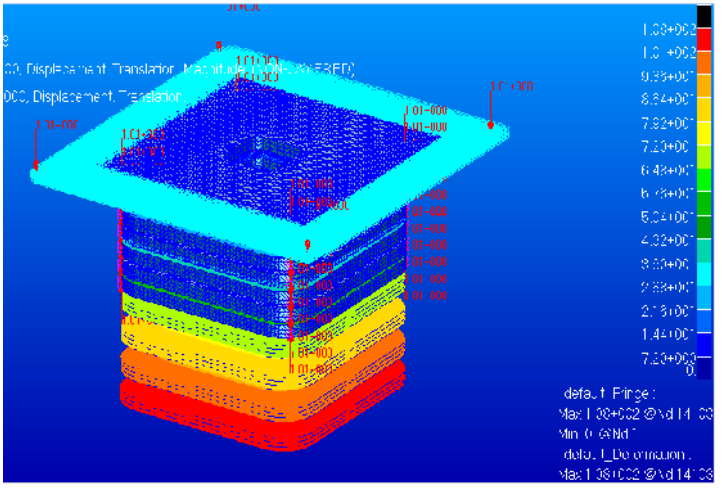

Рис. 6. Квадратная гофрированная оболочка в деформированном состоянии

Расчетные данные приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Сравнительная таблица деформаций пластин

№ пластины	Давление 1,0133 МПа				Давление 1,6213 МПа			
	Круглая гофра		Квадратная гофра		Круглая гофра		Квадратная гофра	
	max	min	max	min	max	min	max	min
1	108	108	108	108	108	108	108	108
2	108	103	108	102	108	102	108	101
3	103	95,7	104	95,4	105	96,3	106	96

Продолжение таблицы 1.

4	95,9	89,2	96	88,4	96,6	89,2	96,7	87,7
5	89,6	82	89,9	81,4	91,6	82,9	92,5	82,2
6	82,4	74,8	81,9	73,5	83,3	74,8	82,7	72,7
7	75,2	67,9	75	66,6	77,2	68,9	77,4	67,4
8	68,3	61,5	67,3	59,7	69,5	61,9	68,1	59,1
9	62	54,6	61,4	52,8	64,4	56,1	64,2	53,9
10	55,1	48,2	53,8	45,9	56,6	49	54,9	45,6
11	48,7	41,3	47,8	38,9	51,5	43,2	50,9	40,3
12	41,9	35	40,3	32,1	43,8	36,2	41,6	32,1
13	35,4	28,1	34,3	25,2	38,6	30,5	37,8	27,2
14	29	19,2	27,7	17	31,4	20,9	29,7	17,8
15	21	0	19,4	0	24,3	0	22,7	0

На основе полученных данных строим график деформации каждой пластины (рис. 7, 8).

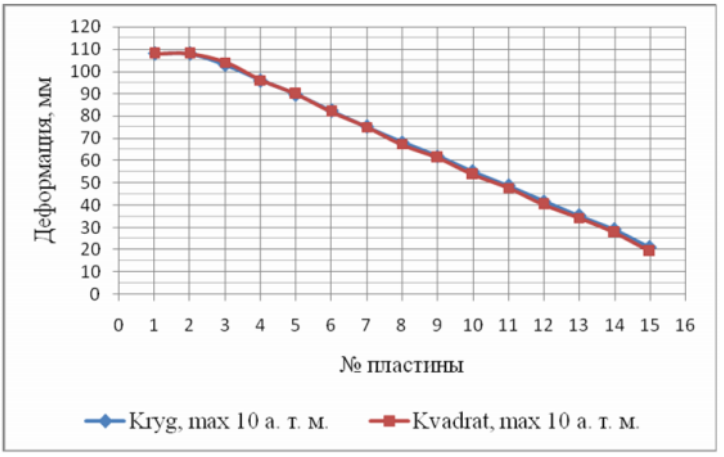

Рис. 7. Максимальное значение деформации в круглой и квадратной диафрагме рабочее давление 1,0133 МПа

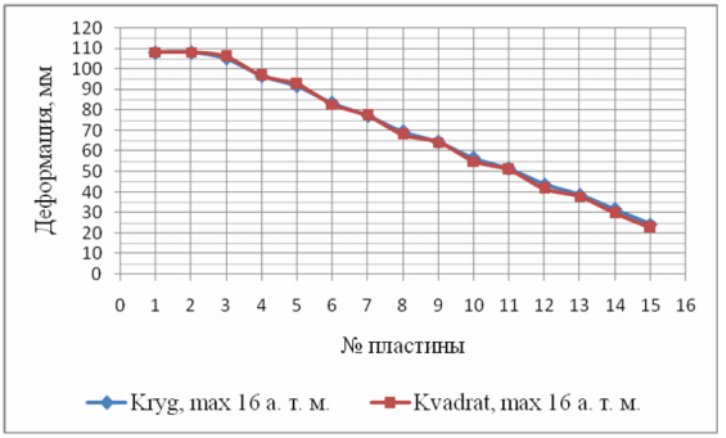

Рис. 8. Максимальное значение деформации в круглой и квадратной диафрагме рабочее давление 1,6213 МПа

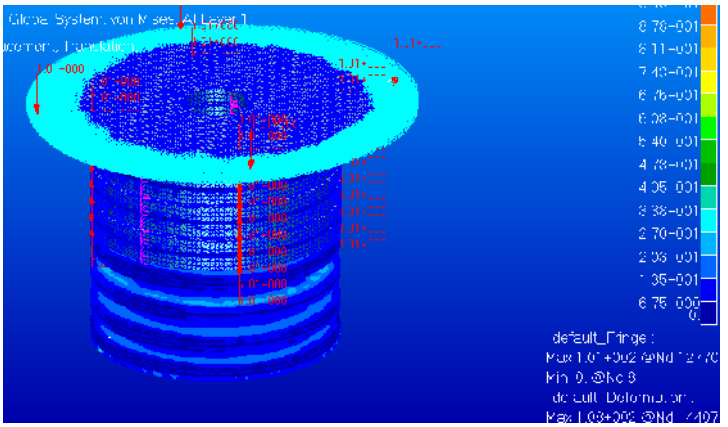

Рис. 9. Круглая гофрированная оболочка в напряженно-деформированном состоянии

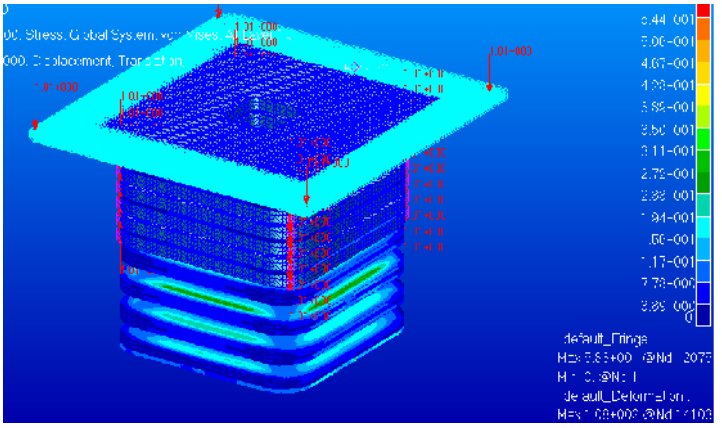

Рис. 10. Квадратная гофрированная оболочка в напряженно-деформированном состоянии

Для наглядности полученных результатов на рисунках 11, 12 приведены сегменты круглой и квадратной гофрированной оболочки в напряженно-деформированном состоянии.

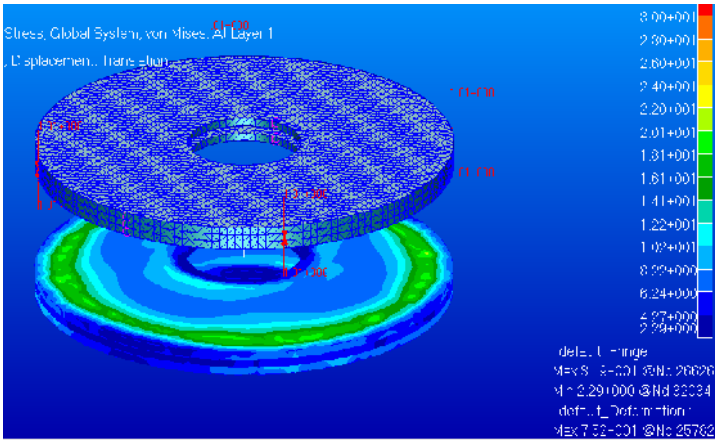

Рис. 11. Сегмент круглой гофрированной оболочки в напряженно-деформированном состоянии

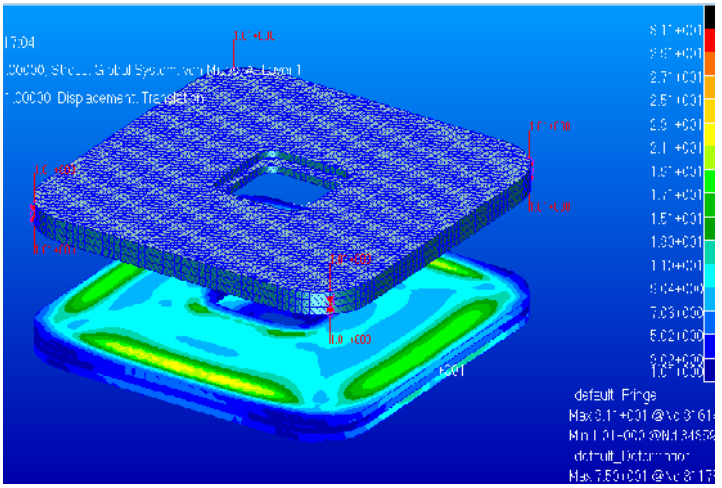

Рис. 12. Сегмент квадратной гофрированной оболочки в напряженно-деформированном состоянии

Таблица 2. Сравнительная таблица напряжений

№ пластины	Давление 1,0133 МПа				Давление 1,6213 МПа			
	Круглая гофра		Квадратная гофра		Круглая гофра		Квадратная гофра	
	max	min	max	min	max	min	max	min
1	101	1,77	48,1	2,09	140	2,07	63,3	3,1
2	19,2	1,39	21	1,42	28,3	1,85	42,6	1,99
3	30,8	2,24	31,5	2,01	41,6	4,51	42,5	2,97
4	21,9	2,43	22,9	1,81	28,5	4,15	41,3	2,59
5	30,4	2,16	28,7	2,32	40,1	3,69	39,4	3,32
6	30,4	2,12	28,6	1,94	40	4,22	40,6	3,33
7	30,7	2,29	31,1	2,08	41,4	3,87	42,2	2,98
8	21,7	2,29	22,7	1,82	28,3	4,04	41,5	2,62
9	30,7	2,03	31,1	2,07	41,4	3,72	42,2	2,96
10	21,7	2,42	22,7	1,81	28,3	3,97	41,6	2,62
11	30,7	2,06	31,1	2,07	41,4	3,79	42,2	2,96
12	21,7	2,17	22,7	1,81	28,3	3,98	41,8	2,62
13	31,1	1,75	31,8	2,08	42	3,74	42,8	2,97
14	22,4	2,43	23,5	1,84	29,3	3,35	39,7	2,63
15	73,5	0	58,3	0	102	0	85,1	0

На основе полученных данных строим график деформации каждой пластины (рис. 13-16).

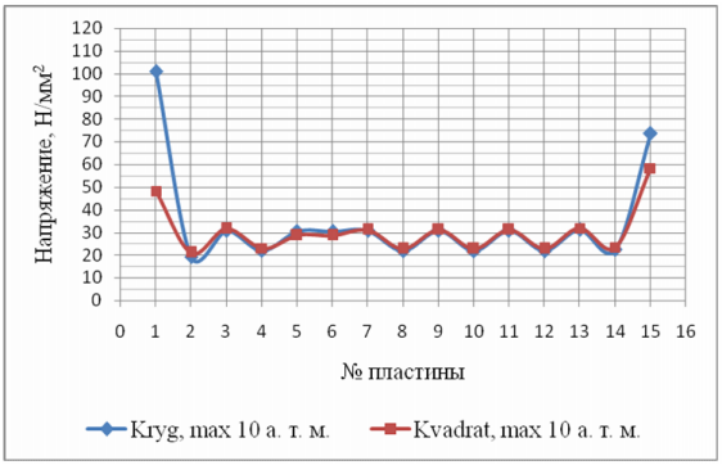

Рис. 13. Значение напряжения в круглой и квадратной гофрированной оболочке рабочее давление 1,0133 МПа

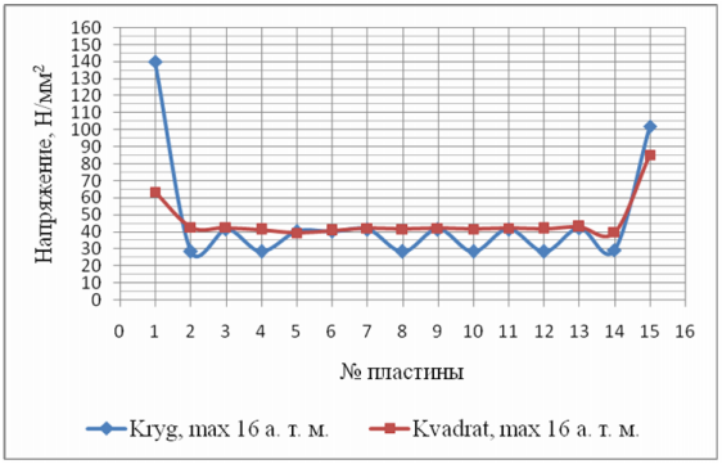

Рис. 14. Максимальное значение напряжения в круглой и квадратной гофрированной оболочке рабочее давление 1,6213 МПа

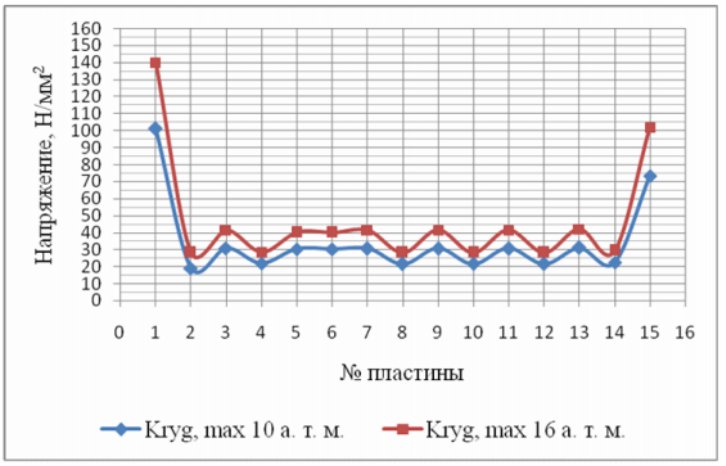

Рис. 15. Максимальное значение напряжений в круглой гофрированной оболочке, давление 1,0133 и 1,6213 МПа

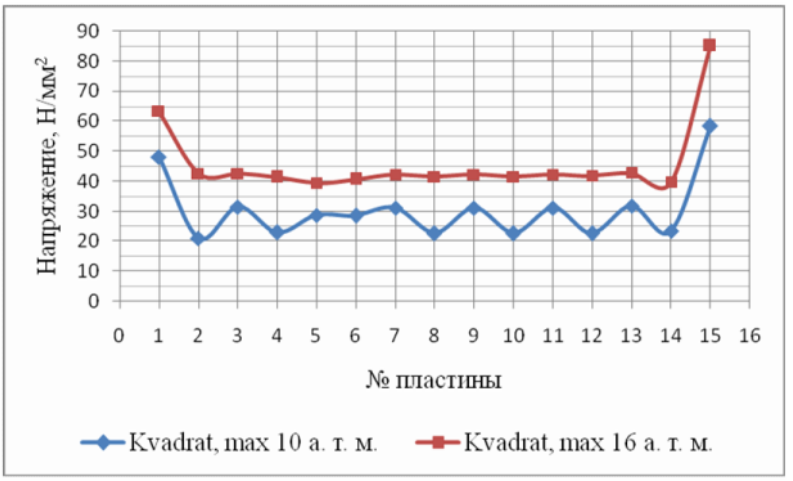

Рис. 16. Максимальное значение напряжений в квадратной гофрированной оболочке, давление 1,0133 и 1,6213 МПа

Заключение.

Применение математического метода конечных элементов дает точную и полную картину процессов, происходящих в разрабатываемой оболочке. Можно достаточно быстро смоделировать устройство, провести анализ конструкции изделия, проследить на виртуальной модели его работу и выявить все недостатки. Точность расчетов существенно сокращает время на экспериментальную доработку проекта, и соответственно снижает его стоимость.

В результате исследования с помощью MSC.Patran/MSC.Marc было определено максимальное значение деформации в круглой и квадратной диафрагме рабочее давление 1,0133 и 1,6213 МПа, оно составило 108 мм. Т. е., обе гофрированные оболочки перекрыли ограничивающую поверхность. Максимальное значение напряжения в гофрированной оболочке, при давлении 1,0133 МПа, для круглой составляет 101 МПа, для квадратной 58,3 МПа. Максимальное значение напряжения в гофрированной оболочке, при давлении 1,6213 МПа, для круглой составляет 140 МПа, для квадратной 85,1 МПа. Механическое напряжение в точке тела определяется как отношение внутренней силы к единице площади в данной точке рассматриваемого сечения. Для круглой гофрированной оболочки площадь пластины, на которую приложено давление равно 35168 мм^2, а для квадратной 43832,5 мм^2. Поэтому напряжение в круглой оболочке больше.

При расчете напряженно-деформированного состояния оболочек существенной разницы не выявлено. Поэтому, с технологической точки зрения была выбрана форма гофрированной оболочки круглого сечения.

Список литературы:

1. Электроны ресурс: http://ru.wikipedia.org/wiki/Гофрирование
2. Лепетов В.А. Резиновые технические изделия. Л.: Химия, 1959. – 448с.
3. Солнцев Ю. П. Материаловедение: учебник для студ. учреждений сред.проф. образования / Ю. П. Солнцев, С. А. Вологжанина. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 496 с.
4. Пыхалов А.А., Кудрявцев А.А. Математические модели в инженерных приложениях: Учеб.пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008.-184 с.

5. Справочное руководство по MSC.Patran, MCS.Software, 2008.
6. Справочное руководство по MSC.Marc, MCS.Software, 2008.
7. В.П. Кольцов, В.Б. Ракицкая, Е.С. Попова. Исследования и проектирование модели клапана с рукавным приводом. - Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць, 2012. Вип. 1,2 (44). С. 116-122.
8. В.П. Кольцов, Е.С. Попова, Нгуен Ван Дык. Разработка новой модели клапана с использованием методов инженерного анализа. – Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: Межотр. Науч.-техн. Журнал/ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации – федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности», 2012. Вып. 4. С. 33-36.

Kolcov V.P., Popova E.S., Starodybseva D.A.

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN OF EMBODIMENTS CORRUGATED POLYMER SHELL BY MEANS OF METHODS OF ENGINEERING ANALYSIS

In the article the results of investigation of the stress-strain state of the embodiments of corrugated shells. Geometric modeling of the device held in the Autodesk Inventor. The study was carried out in the corrugated shell systems engineering analysis MSC.Patran and MSC.Marc. In the study, the best option is installed corrugated shell, the analysis of the process of opening the device.

Keywords: *corrugated shell polymers, systems engineering, strain, tension*

Кольцов В.П., Попова Е.С, Стародубцева Д. А.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВАРІАНТІВ ВИКОНАННЯ ГОФРОВАНИХ ПОЛІМЕРНІЙ ОБОЛОНКИ З ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

У статті розглянуто результати дослідження напружено-деформованого стану двох варіантів виконання гофрованих оболонок. Геометричне моделювання пристрою проведено в системі Autodesk Inventor. Дослідження гофрованих оболонок було проведено в системах інженерного аналізу MSC.Patran і MSC.Marc. У ході дослідження вибраний оптимальний варіант виконання гофрованої оболонки, проведено аналіз процесу експлуатації оболонки.

Ключові слова: *гофрована оболонка, полімери, системи інженерного аналізу, деформація, напруга*

Надійшла до редколегії 27.05.2013 р.