

УДК 66.023

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ANSYS ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАСАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КОНТАКТНЫМИ РЕШЕТКАМИ

**С.В. Иваняков**

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: mahp@inbox.ru

*Рассмотрена несущая способность насадочных устройств с вертикальными контактными решетками (АВР). Выявлены основные конструктивные параметры, влияющие на прочностные свойства насадки. Разработана модель насадки АВР и проверена ее адекватность. В результате моделирования получена зависимость предельной нагрузки на одну точку контакта от конструктивных параметров массообменного устройства. Определены максимально допустимые расстояния между косынками, что позволяет при сохранении требуемой прочности насадки снизить ее стоимость.*

**Ключевые слова:** насадка с вертикальными контактными решетками, предельные нагрузки, математическое моделирование, конечно-элементный анализ.

Насадка с вертикальными контактными решетками (АВР) относится к современным регулярным массообменным насадочным устройствам, таким как насадки фирм SULZER, NORTON и др., и представляет одно из наиболее перспективных направлений развития массообменной аппаратуры. При этом помимо высокой эффективности насадка АВР должна обладать достаточной механической прочностью, позволяющей выдерживать нагрузки как от веса самой насадки, так и от воздействия газовых и жидкостных потоков в ее объеме.

В связи с многообразием конструктивных размеров насадки АВР, изготавливаемой в соответствии с существующими техническими требованиями [1], проведение механических методов определения несущей способности массообменного устройства связано со значительными финансовыми затратами. Однако использование программной системы конечно-элементного анализа ANSYS позволило упростить процедуру определения предельно допустимых нагрузок на элементы насадки АВР.

Моделирование проводилось в несколько этапов:

- разработка геометрических моделей;
- построение конечно-элементной схемы с учетом физических свойств материала;
- выполнение расчетов и обработка результатов.

Насадка АВР представляет собой «массообменное контактное устройство (рис. 1), включающее вертикальные контактные решетки и прилегающие к ним зигзагообразные перегородки с косынками [2].

На основании конструкции насадки была проведена разработка геометрических моделей (рис. 2) с учетом требований технических условий. Варьировались

---

*Сергей Викторович Иваняков (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».*

высота контактной камеры элемента насадки (60 и 80 мм), толщина металла (0,6, 0,8 и 1,0 мм) и расстояние между косынками (от 60 до 360 мм).

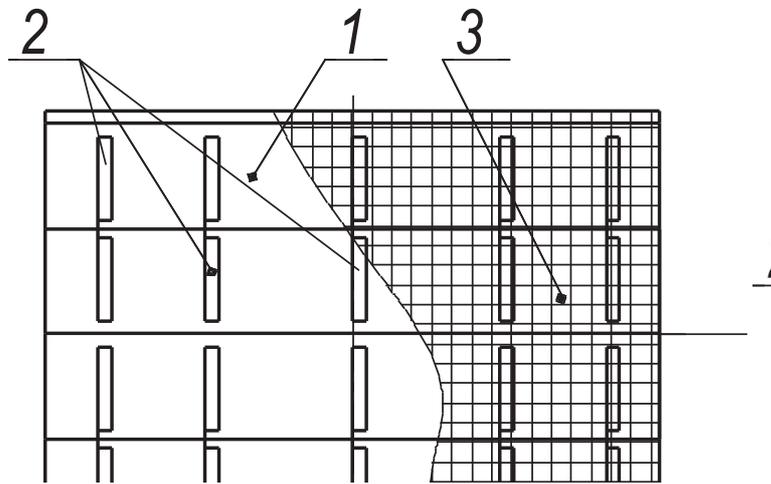


Рис. 1. Конструкция насадки АВР:  
1 – зигзагообразная перегородка; 2 – косынки; 3 – контактная решетка

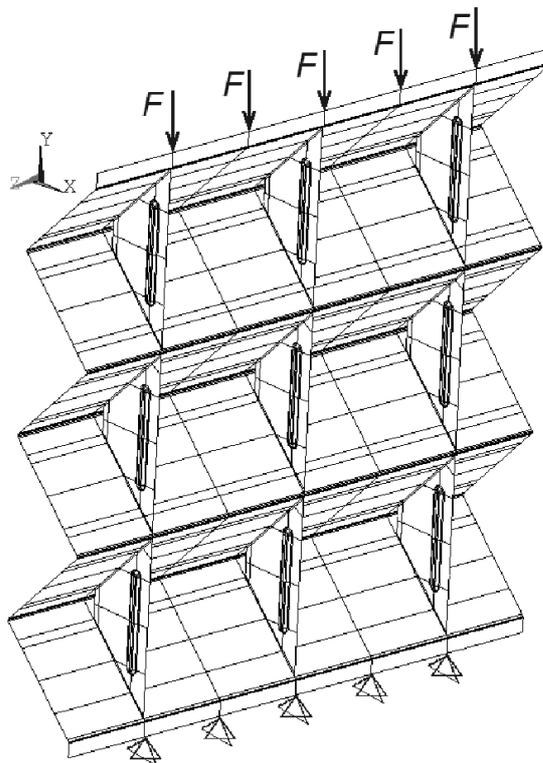


Рис. 2. Геометрическая модель насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 120 мм с учетом приложения нагрузок и ограничения перемещений

На втором этапе на основе геометрических моделей были разработаны конечно-элементной схемы элементов насадки с учетом физических свойств материала. В качестве основного материала [1] использовалась сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 со следующими свойствами:

- модуль упругости –  $1,98 \times 10^5$  МПа;
- предел текучести – 276 МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,3;
- плотность –  $7920 \text{ кг/м}^3$ .

Дальнейшее исследование заключалось в определении предельно допустимых нагрузок насадки АВР, при которых сохраняется ее полная работоспособность. В качестве предельной нагрузки было решено считать нагрузку, при которой достигается предел текучести в любом элементе модели. При этом несущая способность элемента насадки АВР еще полностью не исчерпывается (рис. 3).

В результате проведенной работы было получено выражение, позволяющее определить предельную нагрузку на одну точку контакта элемента насадки АВР (кг):

$$m = (a + b \cdot l + c \cdot \delta) / (1 + d \cdot l + e \cdot \delta), \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние между косынками, м;

$\delta$  – толщина металла, м;

$a, b, c, d, e$  – коэффициенты, характерные для определенного размера контактной камеры насадки.

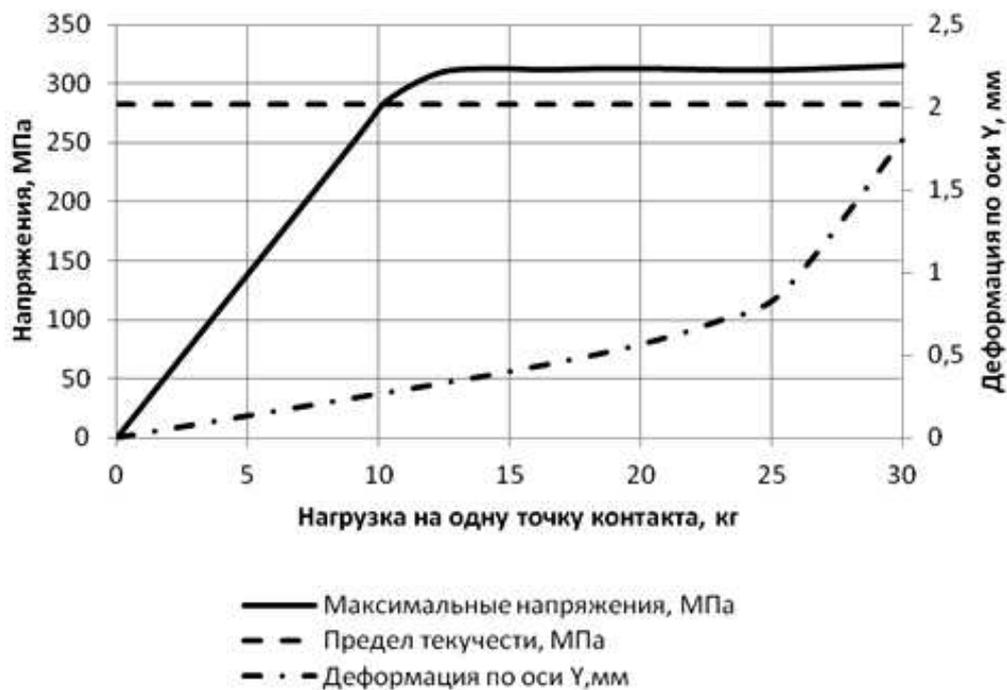


Рис. 3. Зависимость максимальных напряжений и деформаций по вертикальной оси (ось Y) от нагрузки на одну точку контакта для насадки АВР 60×80 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 180 мм

Значения коэффициентов в выражении (1) для различных размеров насадки АВР приведены в табл. 1.

Значения коэффициентов в формуле (1)

Насадка	Значения коэффициентов				
	a	b	c	d	e
60×60	0,856	-10,916	14340,5	5,675	-97,561
60×80	11,517	-33,662	8219,6	4,496	-1010,473

Адекватность полученных результатов была проверена на испытательном стенде. Для этого к элементу насадки АВР 60×60 с толщиной 0,8 мм и расстоянием между косынками 190 мм прикладывались различные усилия и тензодатчиками определялись возникающие напряжения. Полученные экспериментальные данные сравнивались с расчетными значениями. Результаты сравнения приведены на рис. 4.

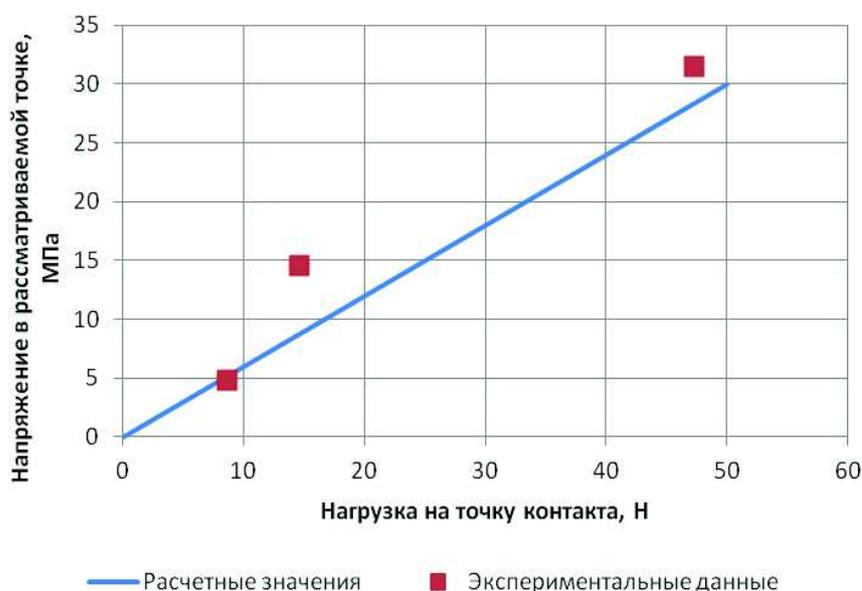


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных и расчетных параметров для насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 190 мм

С учетом того, что величина задержки жидкости в рабочем диапазоне нагрузок по газу и жидкости меняется в узком диапазоне [3], а влияние напора газа незначительно из-за большого свободного сечения применяемых решеток, выражение (1) было преобразовано в зависимость максимального расстояния между косынками ( $m$ ) от конструктивных размеров насадки и количества рядов в пакете:

$$l_{max} = (a + b \cdot \delta + c \cdot N + d \cdot N^2) / (1 + e \cdot \delta + f \cdot N + g \cdot N^2 + h \cdot N^3), \quad (2)$$

где  $N$  – количество рядов насадки АВР в пакете, шт.;

$\delta$  – толщина металла, м;

$a, b, c, d, e, f, g, h$  – коэффициенты, характерные для определенного размера контактной камеры насадки.

Значения коэффициентов в выражении (2) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов в формуле (2)

Насадка	Значения коэффициентов							
	a	b	c	d	e	f	g	h
60×60	0,272	1393,7	-0,0306	0,000195	0,179	0,291	-0,00552	3,672e-5
60×80	0,369	197,3	-0,0109	0,000068	-0,034	0,035	-0,00091	6,352e-6

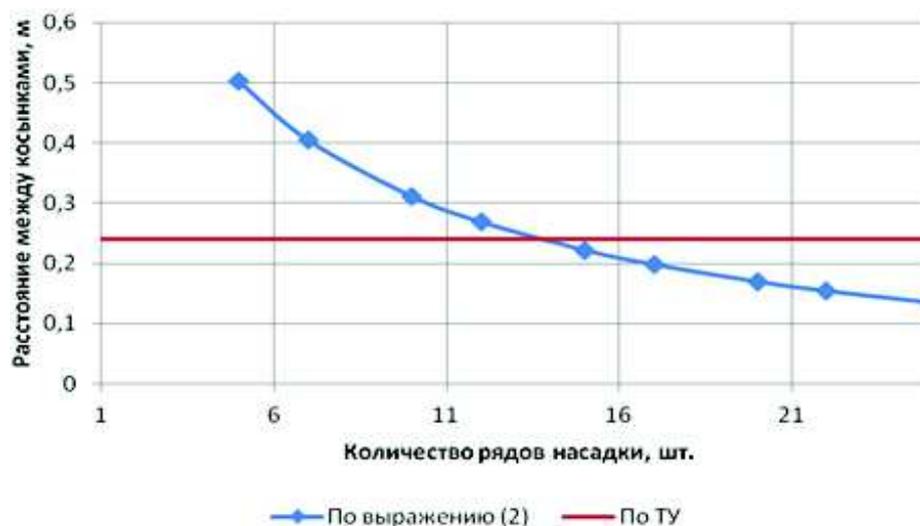


Рис. 5. Зависимость расстояния между косынками от количества рядов насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм

Сравнивая полученные максимальные расстояния между косынками с размерами по техническим условиям на насадку АВР (рис. 5), которые составляют 60÷240 мм, можно сделать вывод, что это расстояние в большинстве случаев может быть увеличено. А так как косынки составляют до 30 % массы насадки, увеличение расстояния между ними уменьшает себестоимость насадки (до 13 % себестоимости).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ТУ 3611-81853606-001-2008 Насадка АВР для колонных аппаратов. – Введ. 2008.01.22 – Самара, 2008. – 20 с.
2. Пат. 2565189 Российская Федерация, МПК В01D 3/28. Массообменное контактное устройство / Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И.; заявитель Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И., патентообладатель ООО «Инженерный центр «Нефть и газ». – № 2014105241; заявл. 12.02.14; опубл. 20.10.15. Бюл. № 29. – 8 с.
3. Михайлов С.С., Григорян Л.Г., Лесухин С.П., Иваняков С.В. Обобщенные гидродинамические параметры массообменных аппаратов с вертикальными решетками // Математическое моделирование и краевые задачи: сб. тр. науч.-практич. конф. – Самара: СамГТУ, 1999. – С. 95-97.

Статья поступила в редакцию 20 января 2016 г.

## **APPLICATION OF THE SOFTWARE SYSTEM OF ANSYS FINITE-ELEMENT ANALYSIS FOR COMPUTER MODELING OF RESIDUAL STRESS OF HEADS FOR VERTICAL-GRIDS DEVICES**

***S. V. Ivanyakov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*The paper deals with the bearing capacity of heads with vertical contact grids (VGD). The main structural parameters affecting the strength properties of the head are found. A model of a VGD head is developed, its adequacy being checked. As the modeling result, the dependency of a contact-point ultimate load on the mass-exchanger design structural parameters is obtained. The maximum permissible distance between the gussets is determined which allows the head's cost to be reduced while retaining its required strength.*

**Keywords:** *head with vertical gratings, ultimate loads, mathematical modeling, finite element analysis.*