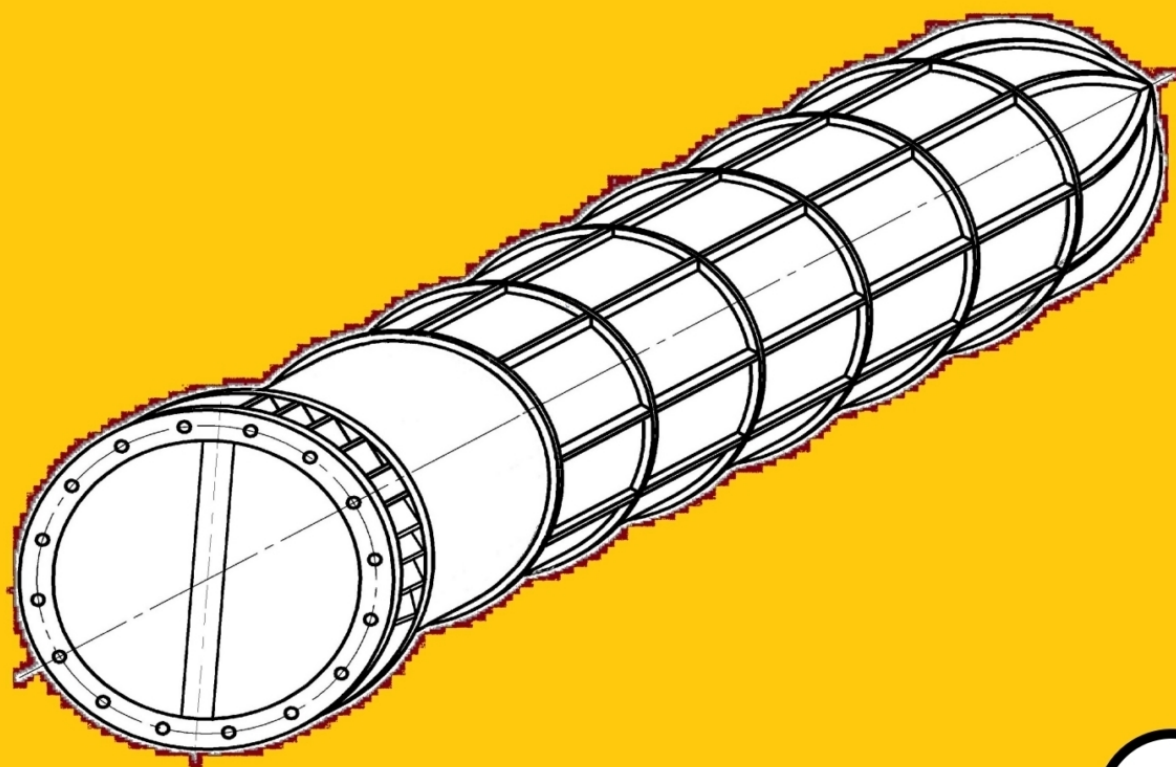


Ефанов К.В.

Расчет нефтяных аппаратов МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



18+

Константин Ефанов

**Расчет нефтяных аппаратов
методом конечных элементов**

«Автор»

2020

Ефанов К. В.

Расчет нефтяных аппаратов методом конечных элементов /
К. В. Ефанов — «Автор», 2020

ISBN 978-5-532-03595-9

Рассмотрена проблема расчета сосудов и аппаратов до 21МПа и сосудов высокого давления до 130МПа по методу конечных элементов в сравнительном прочтении с расчетом по нормам. Приведены виды расчетов, сравнение теорий в основании, построение расчетов по теориям.

ISBN 978-5-532-03595-9

© Ефанов К. В., 2020

© Автор, 2020

Содержание

Введение	5
1 История расчетов по нормам и перспективы расчетов по МКЭ	6
1.1 История норм нефтяных аппаратов	6
1.2 История норм котлонадзора	7
1.3 Перспективы расчетов по МКЭ	8
2 Виды расчетов по нормам	10
Конец ознакомительного фрагмента.	12

Константин Ефанов

Расчет нефтяных аппаратов

методом конечных элементов

Введение

В настоящей краткой монографии рассмотрена проблема расчета сосудов и аппаратов до 21МПа и сосудов высокого давления до 130МПа по методу конечных элементов (МКЭ).

Проведено историческое прочтение расчетов по нормам и занимаемое в этом контексте место расчётов по МКЭ, их интеграцию в нормативные расчеты.

Сравнены теории в основании расчетов по нормам и МКЭ: теория тонких оболочек, осесимметричная задача теории упругости, трехмерная (пространственная) задача теории упругости. Сделан вывод о предпочтении решения проблем прочности сосудов на основе трехмерной задачи теории упругости.

Приведено построение расчетов МКЭ на основе сравниваемых теорий, сделан вывод о предпочтении расчета сосуда как трехмерного тела с использованием трёхмерных конечных элементов (с решением пространственной задачи теории упругости).

Сформулирован стандарт по умолчанию для расчетов аппаратов по МКЭ.

Рассмотрен вопрос совместного применения расчетов МКЭ и данных нормативной методики.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков нефтяных, атомных, химических сосудов и аппаратов (статического оборудования).

1 История расчетов по нормам и перспективы расчетов по МКЭ

1.1 История норм нефтяных аппаратов

По данным из статьи Рачкова [1], до 1962 г. отсутствовали нормативные документы по расчету на прочность сосудов и аппаратов и вследствие этого проектными институтами использовались накопленный опыт и справочная литература. В результате такого подхода стенка сосуда не назначалась оптимальной толщины: или слишком тонкой с недостаточной прочностью или металлоемкой. В 1962 г. выпущен руководящий технический материал РТМ 42-62, в котором обобщили знания теории и результаты экспериментов, известные для того периода времени. Затем Рачков отмечает о разработке норм расчета сосудов и аппаратов высокого давления РТМ 121-65 (разработчик – институт ИркутскНИИХИММАШ, который является головной организацией по нефтяным и химическим аппаратам высокого давления).

Рачков также сообщает в статье, что при разработке РТМ 42-62 использовались нормы расчета для паровых котлов, зарубежные нормы, нормалы предприятий. Металлы, используемые в нефтяном аппаратостроении испытывались на длительные и кратковременные механические. Для каждой температурной точки выполнялось более 18 образцов стали из разных плавок. Также в первых нормах приведены допускаемые напряжения (и коэффициенты запаса), методика расчета на прочность и устойчивость аппаратов.

Рачков отдельно отметил, что для методики расчета фланцевых соединений, в нагрузках на прокладку и крепеж учтены коэффициент жесткости соединения (изменение нагрузок с повышением внутреннего давления); а для кожехотрубных теплообменных аппаратов трубная решетка рассчитывается по модели пластины на упругом основании под нагрузкой от давления в трубном и межтрубном пространствах и от стесненных деформаций труб и кожуха.

Как отмечает Зусмановская С.И. в работе [2], в стандарте на аппараты стальные сварные ГОСТ 52630-2012, предел избыточного давления увеличен с 16 до 21 МПа для проектирования установок глубокой переработки нефти и изменены условия по толщинам стенок. В ГОСТ на сосуды высокого давления пределом является 130 МПа.

1.2 История норм котлонадзора

История норм котлонадзора начиная с Российской империи и до 2013 г. подробно изложена в работах [3], [4], [5].

По приведенным данным в работе [6], в Российской Империи первые нормы по котлонадзору введены в 1843 г., а в Англии позже в 1857 г.

Здесь следует выделить – в работе [4] указывается, что *требование о проведении расчета котла на прочность по нормам ЦКТИ им. И.И. Ползунова было впервые введено в «Правилах Правила устройства, установки, содержания и освидетельствования паровых котлов, пароперегревателей и водяных экономайзеров» в 1950 г.*

1.3 Перспективы расчетов по МКЭ

В настоящее время нефтяные аппараты сложных рассчитываются в компьютерных пакетах методом конечных элементов.

Нормативным стандартом по-умолчанию в расчетах методом конечных элементов является применяемый программный пакет.

Программа, являющаяся стандартом по-умолчанию должна как минимум отвечать следующим требованиям:

- сертификат на применение программы,
- совпадение результатов расчета с экспериментом (при корректном выполнении расчета),
- высокий уровень вычислительного функционала, заложенного в программу, выполнение междисциплинарных расчетов,
- общая известность среди инженеров по прочностным расчетам и конструкторов.

Нормативная методика расчета на прочность сосудов и аппаратов стальных сварных всё ещё применяется для расчетов. Но расчет выполняется не вручную, а с использованием компьютерных программ автоматизации расчета. Эти программы должны иметь сертификат соответствия.

В программах автоматизации расчета по нормам строится 3D-модель аппарата и выполняется её расчет по формулам нормативных методик.

В программах автоматизации расчетов по нормам могут быть встроены или применяться отдельно модули расчёта методом конечных элементов узлов врезок штуцеров и других узлов со сложной геометрией. Применение этих модулей объясняется тем, что в методике норм заложена безмоментная теория тонких оболочек (вывод формул – см. работу [7]), а для расчета узлов пересечений необходимо решать пространственную задачу теории упругости.

В работе [8] показан пример совместного применения программы автоматизации расчетов по нормативной методике PVElite (расчет по методике американских норм ASME) и программы расчета методом конечных элементов NozzlePro. Анализируя эту работу, можно сделать вывод о том, что более корректно сразу применять полноценный программный пакет по расчету методом конечных элементов взамен комбинирования двух программ. Пример расчета простого вертикального сосуда методом конечных элементов в программе SolidWorks Simulation показан Алямовским А.А. в работе [9], расчет обечайки с днищем и линзового компенсатора в работе [10].

В статье [11] Чугуновым Н.А. сообщается о применении для автоматизированного расчета по нормативной методике программ ПАССАТ и PVElite, а для решения специальных проблем, возникающих при проектировании, программных пакетов МКЭ ANSYS, COSMOS/M и Зенит 95.

Отметим, что по данным [12] в 2012 г. изготовлен реактор гидрокрекинга массой 1300 тонн при длине 40 м (масса реактора брутто на транспортёре (с оснасткой и кильблоками) составила 1386 тонн). Очевидно, что аппарат с такими массо-габаритными характеристиками нужно рассчитывать на все виды нагрузок методом конечных элементов, результаты могут быть сравнены с результатами расчета по нормативной методике.

По мнению автора настоящей работы, на момент её написания, стандартом по умолчанию для расчетов методом конечных элементов является программный пакета ANSYS, а для автоматизированного расчета по нормативной методике программа ПАССАТ.

Вместе с тем, по мнению автора с развитием расчетных подходов и компьютерного оснащения рабочих мест, количество расчетов методом конечных элементов будет расти.

Антикайн в работе по котлонадзору [13] пишет, что безопасность объектов химии, нефтехимии, тепловой энергетики обеспечивается реализацией мероприятий, первыми из которых являются идея конструкции, второй – проектирование аппарата с его конструктивной реализацией. На стадии идеи конструкции главное значение имеет компетентность конструктора и расчетчика. Следующая стадия разработки регламентируется нормативно-технической документацией.

При расчете конструкции аппарата методом в программном пакете методом конечных элементов, процесс проектирования не регламентируется нормами, которые используются в качестве исходных данных и как справочная информация. Но результаты расчета МКЭ могут сравниваться с результатами расчета по нормам и по нормам на атомное оборудование. И в результате этого ситуация до введения норм, когда проектировщики полагались только на собственный опыт и знания не возникает. Для возникновения такой ситуации необходимо признание результатов расчета МКЭ более достоверными, чем результаты по нормативной методике, и тогда произойдет постепенный отход от норм.

2 Виды расчетов по нормам

Перечень расчетов определяется различается для аппаратов колонного типа, вертикальных аппаратов, горизонтальных аппаратов, теплообменных аппаратов.

Колонный аппарат отличается от вертикального аппарата конструктивным исполнением опорной части – наличием опоры-юбки. Опора-юбка устанавливается на высокую нагрузку а также при отношении высоты к диаметру аппарата свыше 5.

Горизонтальным аппаратом как правило является аппарат емкостного типа на опорах ложементов, охватывающих обечайку под углом около 120° .

Для аппаратов колонного типа Зусмановская С.И. в работе [14] приводит следующий перечень нагрузок и расчетов напряжений:

- расчет напряжений растяжения от внутреннего избыточного давления
- расчет напряжений от веса среды в аппарате и от веса самого аппарата
- расчет напряжений от эксцентрично приложенных нагрузок
- расчет напряжений сжатия от внешнего давления
- расчет напряжений от ветровых нагрузок
- расчет напряжений от сейсмических сил

По результатам расчета напряжений от каждого вида нагрузок находятся суммарные напряжения в стенке сосуда.

Также колонные аппараты должны рассчитываться для условий монтажа.

Для вертикальных аппаратов в отличии от аппаратов колонного типа не выполняются расчеты от ветровых нагрузок и сейсмических сил.

Для горизонтальных аппаратов в дополнение к напряжениям, перечисленным для аппаратов колонного типа (за исключением от ветровых и сейсмических нагрузок) Зусмановская С.И. приводит следующий перечень расчетов [14]:

- продольные напряжения изгиба
- поперечные напряжения среза
- напряжения сжатия в обечайке над опорой
- напряжения в днище от срезающих усилий
- напряжения в кольцах жесткости (при их наличии).

Более подробно приведем данные Зусмановской С.И. [14] по расчетам от ветровых и сейсмических нагрузок.

По расчете ветровых нагрузок аппарат рассматривается как заземленная консольная балка с равномерно распределенной нагрузкой. Расчетная ветровая нагрузка является произведением номинальной ветровой нагрузки на фактор формы колонного аппарата. Номинальную ветровую нагрузку определяют по формуле, показывающей ветровую нагрузку в виде зависимости от формы аппарата, скорости движения и плотности воздушной среды. По данным Зусмановской С.И. [14] фактор формы 0,6 для обечайки без выступов и 0,85 при их наличии. Напряжения в колонном аппарате определяют от изгибающего момента в ряде сечений по высоте.

По расчету на сейсмические нагрузки Зусмановская С.И. приводит следующие данные по значениям периода свободных колебаний [14]:

- короткий период колебаний $T > 0,4$ с (гибкие конструкции с коэффициентом $C=0,1$, допускаемое напряжение увеличивается на 33%)
- короткий период колебания $T \leq 0,4$ с (жесткие конструкции с коэффициентом $C = 0,2$)
- промежуточные значения периода колебаний $T = 0,4 \dots 1,0$ (гибкие сосуды с коэффициентом $C = 0,08/T$).
- длинный период колебаний $T \geq 0,1$ с (гибкие конструкции с коэффициентом $C=0,08$)

Гибкие конструкции по сравнению с жесткими лучше поглощают колебания сейсмической нагрузки. То есть, как следует из данных Зусмановской С.И., необходимо стремиться проектировать аппараты колонного типа с периодом колебаний $T \geq 0,1$ с.

Расчетные формулы периода свободных колебаний были выведены из теории колебаний. Для расчета в условиях землетресения используется сейсмический коэффициент, учитывающий горизонтальное ускорение. Сейсмический коэффициент C определяется отношением ускорения к ускорению свободного падения.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.