

ВЛИЯНИЕ ОРЕБРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОГО КРУГЛОГО ДНИЩА РЕЗЕРВУАРА

А. К. Байбулов¹, Н. В. Иваницкая²

¹Байшев университет, г. Актобе, Республика Казахстан;

²Казахско-русский международный университет, г. Актобе, Республика Казахстан

Рассматривались варианты с радиальным и продольно-поперечным расположением ребер. Исследования проводились путем численного моделирования в программе ANSYS. Были получены значения напряжений и деформаций в днище резервуара в зависимости от количества и расположения на нем ребер жесткости. Установлено, что нагрузка распределяется между ребрами и пластиной днища. Поэтому за счет правильного подбора ребер жесткости представляется возможным уменьшить металлоемкость днища. Для выравнивания напряжений по поверхности днища количество ребер должно быть не менее шести, причем радиальное размещение ребер является более предпочтительным. При одинаковых деформациях в этом случае напряжения в днище оказываются несколько меньше. Полученные результаты позволяют повысить прочностные показатели плоского днища и использовать его в резервуарах, предназначенных для хранения жидких и газообразных веществ под невысоким давлением.

Ключевые слова: днище резервуара, упрочнение днища, ребра жесткости, напряженно-деформированное состояние, численный анализ.

INFLUENCE OF RIBBING ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A FLAT ROUND TANK BOTTOM

A. K. Baibulov¹, N. V. Ivanitskaya²

¹Baishev university, Aktobe, Republic of Kazakhstan;

²Kazakh-Russian International University, Aktobe, Republic of Kazakhstan

Options with radial and longitudinal-transverse rib arrangement were considered. The research was carried out by numerical simulation in the ANSYS program. The values of stresses and deformations in the tank bottom were obtained depending on the number and location of stiffeners on it. It is established that the main load is perceived by the Central part of the ribs. Therefore, due to the correct selection of stiffeners, it is possible to reduce the thickness of the head plate. To equalize the stresses on the head surface, the number of edges should be at least six, and the radial placement of the edges is more preferable. With the same deformations, in this case, the stresses in the head are somewhat less. The results obtained make it possible to increase the strength of the flat head and use it in tanks intended for storing liquid and gaseous substances under low pressure.

Keywords: flat head, finned head, stiffeners, stress-strain state, numerical analysis, computer modeling.

Введение

В химической технике для хранения находящихся под давлением жидких и газообразных продуктов, а также для технологических целей применяются разного рода емкости. Прочность аппарата или сосуда, работающего под избыточным давлением, определяется механическими и коррозионными свойствами материала, условиями эксплуатации и геометрией конструкции. В целях упрощения и удешевления их изготавливают из отдельных, соединенных между собой частей. В большинстве случаев основной рабочий объем ограничивают цилиндрической оболочкой (обечайкой), а крышкам (днищам) обычно придают простейшие геометрические формы.

Вопросам прочности аппаратов и сосудов для хранения жидких и газообразных продуктов всегда уделялось большое внимание. В работах [1–8] рассмотрены задачи прочности и устойчивости крышек и днищ различного типа и форм. Установлено, что с точки зрения равномерного распределения напряжений, возникающих в днище от действующего внутри сосуда давления, наиболее рациональными формами являются сферическая и эллиптическая [2–5]. При заданном давлении толщина стенок таких форм оказывается минимальной. Однако изготовление подобных оболочек является сложным и дорогим.

Значительно реже применяют емкостные аппараты, ограниченные плоскими днищами. Они просты в изготовлении, дешевы, но вместе с тем

область их применения ограничена. Недостатком плоских стенок является плохая сопротивляемость действующему на них давлению, вследствие чего толщина их получается значительно больше, чем у поверхностей вращения [2–5]. Однако во многих случаях без их применения невозможно обойтись, и они часто служат основными составными частями аппаратов.

С точки зрения расчета на прочность, днище резервуара представляет собой оболочку вращения или плоскость, нагруженную симметрично относительно оси. Напряженное состояние материала подобных конструкций вызывается действием распределенной нагрузки, возникающей от давления газа на поверхность и сил, распределенных по контуру – краевого эффекта. Краевые силы и моменты возникают в данном случае возле мест заделок и приложения дополнительных связей. Напряжения и деформации, вызванные краевым эффектом, имеют локальный характер и оказывают влияние лишь в зоне материала, расположенной в непосредственной близости к месту приложения краевых сил и моментов. Поэтому для снижения краевых напряжений обычно принимаются конструктивные меры. В наших исследованиях действие краевого эффекта не учитывалось.

При необходимости плоские стенки усиливаются ребрами, трубами и т. д. Из предположения, что ребрами воспринимается половина действующей нагрузки, а другая ее половина действует на плоскую стенку, исследователями [2, 4] даются

рекомендации по подбору укрепляющих ребер. В работе [8] выполнен расчет размеров ребер и толщины стенки плоского оребренного днища, обеспечивающих снижение материалоемкости по сравнению с гладким днищем. При этом авторы принимают равными толщины ребер и стенки днища, в то время как эти параметры являются самостоятельными и оказывают различное влияние на напряженное состояние конструкции. При помощи метода предельных нагрузок в работе [9] получены расчетные формулы, позволяющие вычислить минимальную необходимую толщину стенки перегородки или плоского днища горизонтального цилиндрического сосуда под действием гидростатического давления. В работе [10] рассмотрен поверочный расчет днища цистерны топливозаправщика. На основании инженерного расчета на прочность плоского днища с ребрами жесткости авторы дают рекомендации по усилению конструкции. Таким образом, в перечисленных выше работах рассматриваются вопросы обеспечения прочности плоского днища без учета его напряженно-деформированного состояния, что не позволяет оптимизировать конструкцию.

Постановка задачи

Предварительные расчеты, выполненные нами в программном комплексе ANSYS, показывают, что возникающие в гладком плоском днище напряжения достигают наибольших значений в центре и уменьшаются по мере удаления от него. Вследствие того, что толщина стенок подбирается по максимальному напряжению, края днища оказываются недогруженными. Поэтому, для снижения металлоемкости днища необходимо изменить в нем распределение напряжений путем выравнивания его по поверхности. Наиболее простым способом это можно осуществить за счет установки ребер жесткости на плоском днище.

Целью работы является установление рациональной схемы размещения ребер жесткости на круглом плоском днище резервуара, находящегося под действием избыточного внутреннего давления. Задача исследования состоит в изучении влияния количества установленных ребер жесткости и схемы их расположения на напряженно-деформированное состояние плоского днища.

Метод решения задачи исследования

В настоящее время существуют различные математические и процедурные наработки, позволяющие значительно снизить затраты на проведение экспериментов, основанных на использовании дорогостоящих опытных образцов испытываемой техники и значительных капиталовложений в комплектование технического обеспечения экспериментов. С учетом возможности численного решения рассматриваемой задачи дальнейшая формализация поисковых процедур проведена методом конечных элементов

[11] с учетом его машинной интерпретации в программном комплексе ANSYS.

Изучалось влияние количества ребер жесткости и схемы их расположения на распределение напряжений в плоском круглом днище. Рассматривалась круглая стальная пластина толщиной 0,01 м и диаметром в 1,0 м, контур которой был закреплен от перемещений во всех направлениях. Использовались ребра жесткости высотой 0,06 м и толщиной 0,02 м. В процессе расчетов изменялись количество ребер и их расположение на поверхности. Моделирование пластины осуществлялось с помощью конечных элементов SHELL 181, а ребер жесткости – BEAM 4 [12]. При проведении расчетов использовалось свободное разбиение сетки конечных элементов.

Результаты исследования

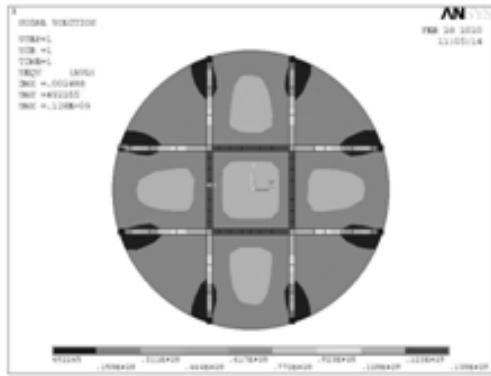
На рисунке 1 представлены поля напряжений, возникающие в плоском днище в зависимости от количества укрепляющих ребер и вариантов их расположения. В отличие от плоского гладкого днища поля напряжений выглядят в виде отдельных, в различной степени нагруженных участков. В целом напряжения по днищу выравниваются, достигая наибольших значений на участках, расположенных между ребрами. С увеличением количества ребер площади данных участков уменьшаются, а сами они смещаются к центру. Напряжения на всех участках при этом снижаются по нелинейной зависимости (рис. 2).

Ребра жесткости, воспринимая часть нагрузки, работают как балки, причем наибольшие напряжения возникают в их средней части. Увеличение количества ребер при постоянной нагрузке приводит к снижению в них напряжений. При установке шести и более ребер жесткости интенсивность изменения в них напряжений становится незначительной (рис. 3), поэтому, при отсутствии каких-либо дополнительных условий можно ограничиться таким их количеством.

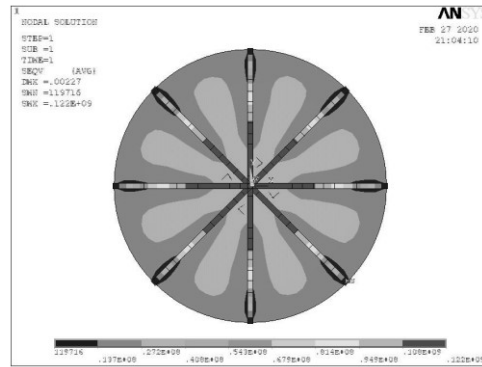
Следует отметить, что при продольно-поперечном расположении напряжения как в ребрах, так и в стенке днища оказываются несколько выше по сравнению с установкой их вдоль радиуса.

Полученные результаты позволяют оценить степень нагруженности элементов плоского оребренного днища и на ее основе регулировать их параметры. Это возможно как путем изменения размеров ребер, так и толщины стенки днища. Нахождение оптимальных параметров ребер и толщины стенки позволит получить прочную, жесткую конструкцию с небольшой металлоемкостью.

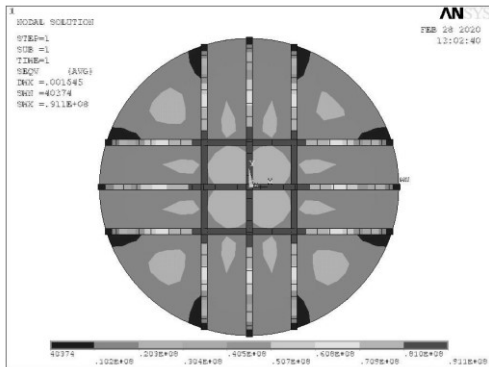
Деформации плоских оребренных днищ, находящихся под избыточным давлением, приведены на рисунке 4. Из них видно, что с увеличением количества ребер жесткости деформации днища уменьшаются, однако от схемы расположения ребер величина их не зависит.



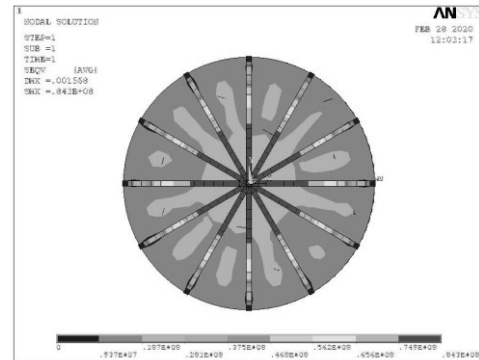
а



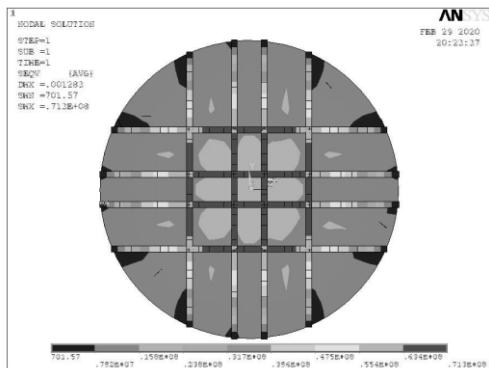
б



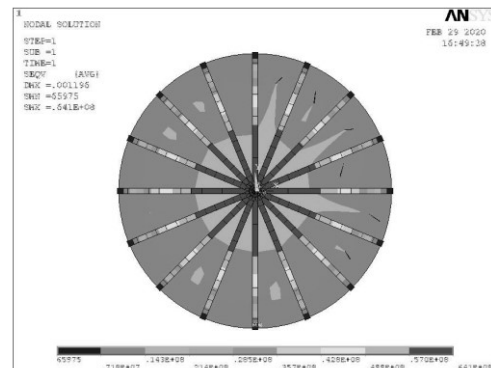
в



г



д



е

Рис. 1. Распределение напряжений в плоских днищах, укрепленных ребрами жесткости: а – четырьмя продольно-поперечными; б – четырьмя радиальными; в – шестью продольно-поперечными; г – шестью радиальными; д – восемью продольно-поперечными; е – восемью радиальными

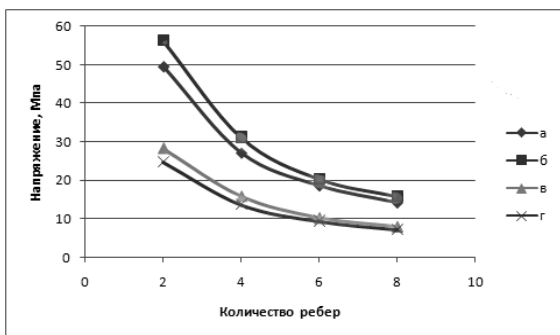


Рис. 2. Максимальные и минимальные напряжения в стенке днища в зависимости от количества ребер жесткости и их расположения: а, г – при радиальном; б, в – при продольно-поперечном

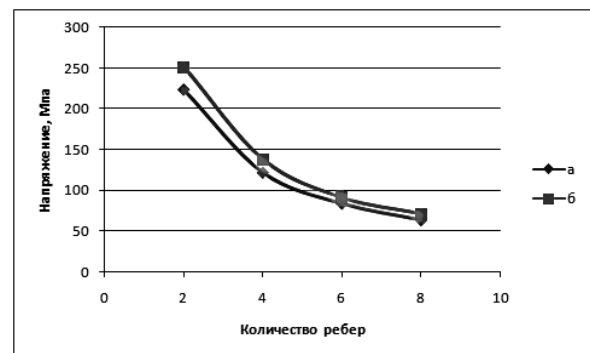


Рис. 3. Напряжения в ребрах жесткости в зависимости от их количества и расположения: а – при радиальном; б – при продольно-поперечном

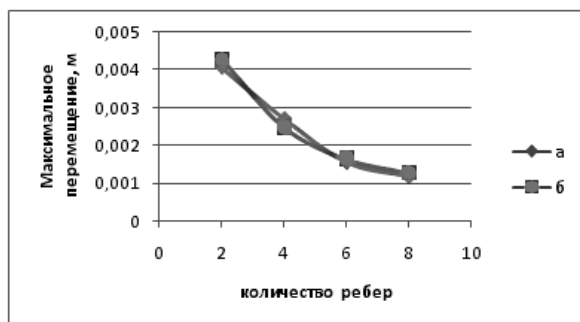


Рис. 4. Деформации в центре днища в зависимости от количества ребер и их расположения: а – при радиальном; б – при продольно-поперечном

Заключение

Исследовано распределение напряжений в плоском круглом днище в зависимости от количества ребер жесткости и их расположения. Полученные результаты дают возможность определить параметры оребренного плоского днища, обеспечивающие прочную, жесткую конструкцию с небольшой металлоемкостью. Более целесообразным является вариант с радиальным размещением ребер. При необходимости применения плоских днищ следует укреплять их ребрами в количестве не менее шести.

Список литературы

- ГОСТ Р 52857.2–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек; введ. 01.04.2008 – М.: Стандартинформ, 2008.
- Нехаев Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Нехаев. – М. : АСВ, 2005. – 216 с.
- Виноградов С. Н. Конструирование и расчет элементов тонкостенных сосудов: Учеб. пособие / С. Н. Виноградов, К. В. Таранцев. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 136 с.
- Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
- Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лашинский, Н.В. Толчинский – Л.: Машиностроение, 1970.
- Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств / Г. Г. Смирнов, А.Р. Толчинский, Т. Ф. Кондратьева; Под общ. ред. А. Р.Толчинского. - Л.: Машиностроение, 1988. - 303 с.
- Расчет и конструирование аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалева, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. - Л.:Машиностроение, 1984. - 301 с.
- Лагуткин М.Г. Особенности расчета и конструирования плоских круглых днищ с радиальными ребрами жесткости /М.Г. Лагуткин, Е.В. Ломонос, С.В. Михайловский, А.В. Холодный //Безопасность труда в промышленности. – 2014. - №7. - С. 46 – 49.
- Марченко П. С. Расчет на прочность перегородок и плоских днищ горизонтальных цилиндрических сосудов или аппаратов / П. С. Марченко, С. А. Белов // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – 2010. – № 14. – С. 64-69.
- Коротковских В.К., Вотинов В.А. Расчет на прочность плоского днища с ребрами жесткости //Вестник Курганского университета. – 2008. - №3. – С. 8 – 10.
- Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич. — М.: Книга по Требованию, 2013. — 540 с.
- Дащенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дащенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов // Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Одесса. – Пальмира, 2011.— 505 с.

© А. К. Байбулов, Н. В. Иваницкая

Ссылка для цитирования:

Байбулов А. К., Иваницкая Н. В. Влияние оребрения на напряженно-деформированное состояние плоского круглого днища резервуара // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 77–80.

УДК 614.8.004.5

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-80-87

ПРОФИЛАКТИКА ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. В. Ершов, В. Б. Коробко, И. М. Железниченко, Е. Н. Кияткина, И. О. Воропаев

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

В данной статье рассмотрен новый порядок регулирования социальных отношений в техносфере, который требует производство проверки наличия причинно-следственной связи между предотвращаемым вредом и техническим решением из документа по стандартизации (из технической нормы либо из технического требования) в отношении конкретных обстоятельств пожара и гибели людей. Данный факт не только повышает точность в расследовании преступлений, но и существенным образом сокращает сроки производства расследований (экспертиз). Авторы полагают, что предложенные изменения в практике производства расследования пожаров окажут непосредственное влияние на стадии проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства, а также на производство контрольно-надзорной и разрешительной деятельности, в части повышения уровня защищенности граждан от вреда пожара, а также будут способствовать более высокому уровню защищенности пожарных при тушении пожаров и снятию необоснованных обвинений с должностных лиц службы пожаротушения и государственного пожарного надзора.

Ключевые слова: гибель людей, гибель пожарных, достоверные доказательства вины, идентификация объектов правового технического регулирования в области обеспечения пожарной безопасности; идентификация обязательных требований пожарной безопасности; пожарно-техническая экспертиза.