

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.953

П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев, А.А. Ащеурова, Б.Д. Брюханов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ОТ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Листовые стальные конструкции находят широкое применение в различных отраслях промышленного производства, составляя по массе около трети всех строительных металлоконструкций. Большинство листовых металлоконструкций представляет собой емкостные сооружения, предназначенные для приема, хранения, переработки и отпуска жидкостей, газов или сыпучих материалов. В металлических резервуарах хранится основная масса нефти и нефтепродуктов. Широко распространены вертикальные цилиндрические резервуары, отличающиеся индустриальностью заводского изготовления, повышенной транспортабельностью, простотой монтажа.

Действие ветра на сооружения данного типа проявляется в виде статической ветровой нагрузки

и в возбуждении колебаний конструкций. Недостаточность знаний о действии ветра на сооружение приводила к обрушению строительных конструкций, в частности резервуаров. Основными причинами аварий были ошибки в назначении величины расчетной ветровой нагрузки, неправильное представление о характере ее распределения по сооружению, недостаточный учет аэродинамических характеристик, вибрация конструкций. Поэтому анализ влияния ветровой нагрузки на резервуар, а также моделирование напряженно-деформированного состояния резервуара, с действующими на него ветровыми нагрузками, с помощью метода конечных элементов и современных программных комплексов является актуальной научной задачей.

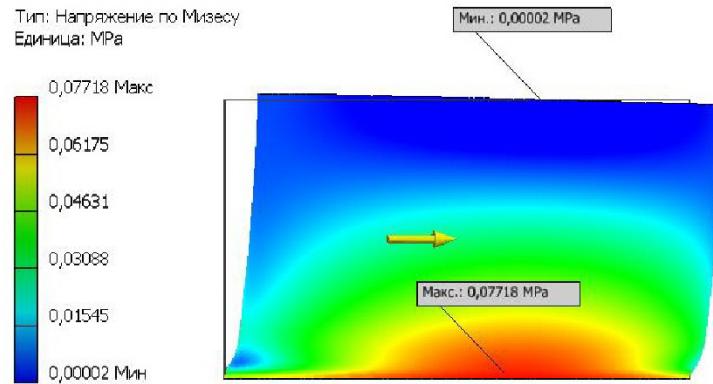


Рис. 1. Эпюра максимальных напряжений по критерию Мизеса в стенке РВС при ветровой нагрузке

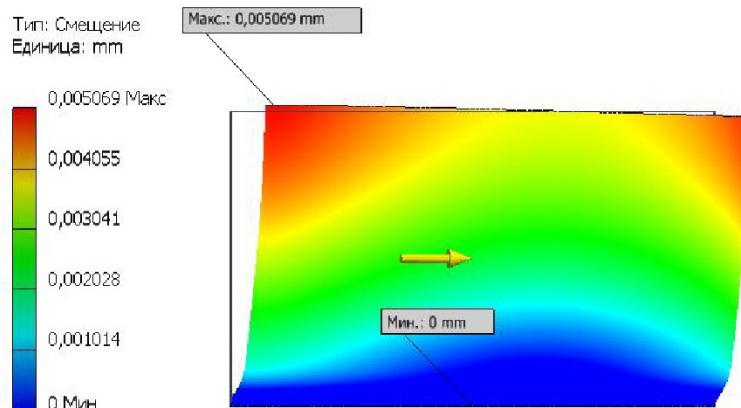


Рис. 2. Эпюра деформации стенок РВС от действия ветровой нагрузки

Реакция сооружений на ветровую нагрузку будет различной: жесткие конструкции воспринимают ее как статическую, реакция гибких конструкций зависит от частоты свободных (собственных) колебаний. Ветровая нагрузка на сооружения в основном зависит от геометрических параметров сооружения и скорости ветра [1-3]. Основным конструктивным элементом резервуаров рассматриваемого вида является цилиндрическая стенка, которая представляет собой очень тонкостенную, а значит и малоустойчивую, оболочку, имеющую, к тому же, многочисленные начальные несовершенства геометрии, что также снижает общую ее устойчивость. Нужно также иметь в виду постоянно развивающиеся процессы коррозии, приводящие к уменьшению толщины поясов цилиндрической стенки, которые совместно с ветровой нагрузкой могут привести к потере устойчивости рассматриваемых сооружений. Это заставляет постоянно держать под контролем и совершенствовать теоретическую базу оценки устойчивости рассматриваемых сооружений.

Ветровая нагрузка w_0 определяется в соответствии с районированием территории РФ по нормативному значению ветрового давления [3], где указано всего 8 ветровых районов. Однако сущ-

ствуют также территориальные строительные нормы, например СНКК 20-303-2002 [5], в котором приведены особые и горные ветровые районы с нормативным давлением до 70 кгс/м^2 . При этом, в соответствии с [3], только для горных и малоизученных районов величину w_0 допускается устанавливать на основе данных метеостанций Росгидромета. Нормативное значение w_0 на основе этих данных определяют по формуле $w_0=0,062 v_0^2$, где v_0 – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующей 10-минутному интервалу осреднения и превышаемой в среднем 1 раз в 5 лет. Но опыт показывает, что нормативная скорость ветра, определенная в соответствии с [3], в действительности может превышаться: например, для Самары метеостанцией зарегистрирована скорость ветра $v=26 \text{ м/с}$ вместо нормативной $24,7 \text{ м/с}$, т.е. нормативное давление превышено в 1,1 раза. В связи с этим возникает вопрос об определении скорости ветра и ветрового давления, принимаемых для анализа состояния стенки резервуаров после влияния ветровой нагрузки, как при монтаже, так и при эксплуатации.

В последние десятилетия в строительстве и машиностроении получили развитие расчетные

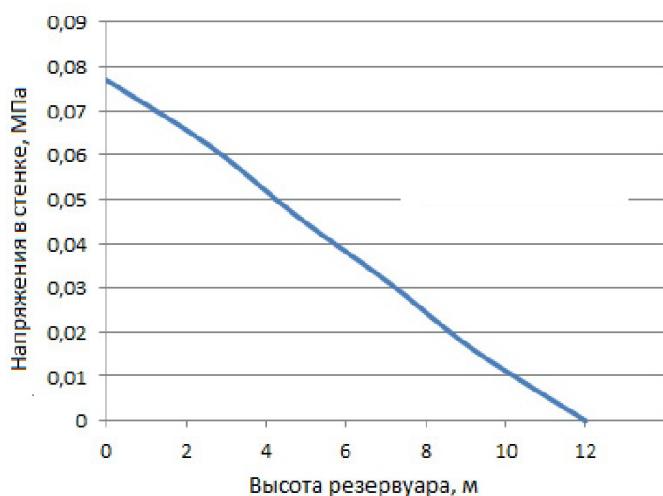


Рис. 3. График изменения максимальных напряжений по критерию Мизеса в стенке РВС

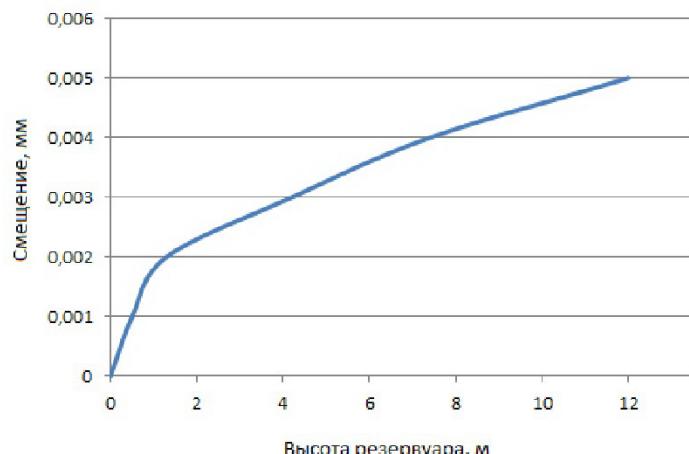


Рис. 4. График изменения деформаций (смещений) в стенке РВС

системы моделирования процессов нагружения реализующие метод конечных элементов (МКЭ). Возможности метода постоянно расширяются, также расширяется и класс решаемых задач. В настоящее время расчеты, направленные на изучение напряженно-деформированного состояния объектов с использованием МКЭ, используют и в промышленности, и в научных целях [8].

Одной из систем автоматического проектирования, реализующих МКЭ является Autodesk Inventor – система трехмерного твердотельного и поверхностного проектирования (САПР) компании Autodesk, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Инструменты Inventor обеспечивают полный цикл проектирования и расчета технических систем. В данном случае рассмотрим резервуар вертикальный стальной (РВС) вместимостью 4000 м³, предназначенный для хранения нефти и нефтепродуктов с характеристиками: радиус $R=10,43$ м, высота $H=12$ м, на который воздействует ветровая нагрузка равная 60 кгс/м² (В ветровой район). В соответствии с исходными данными создана расчетная модель в системе Autodesk Inventor. К созданной модели приложены ограничения и статическая нагрузка от ветра (рис.1). Направление ветровой нагрузки показано стрелкой.

Моделирование воздействия ветровой нагрузки показало, что при заданных условиях и геометрии РВС максимальные напряжения будут прояв-

ляться в нижней части в районе основания резервуара и составят 77,18 кПа. Следующим этапом расчета стало определение эпюры деформации (смещения) от действия заданной нагрузки (рис.2).

Моделирование показало, что максимальное смещение имеет место в верхней части резервуара и составит 0,005 мм (на эпюре, для наглядности, деформация показана укрупнено).

Для анализа полученных данных был построен график изменения напряжений в стенке РВС (рис. 3) и график изменения деформации стенки (рис. 4) в зависимости от его высоты.

Анализ графиков показал, что наибольшие напряжения возникают в нижней части, так как в целях сохранения устойчивости РВС жестко закреплен на фундаменте, при этом увеличение величины напряжений носит практически линейный характер. Деформация, в свою очередь, больше проявилось в верхней части, обладающей большей степенью свободы по сравнению с нижней, при этом на высоте порядка 1 м от графика имеет излом, что обусловлено круглой формой резервуара и линейным приложением равномерно распределенной нагрузки на проекцию стенки.

Полученные данные и методика проведения расчетов позволит в дальнейшем выявить предельные состояния исследуемого объекта, а также разработать ряд рекомендаций по снижению напряжений в стенах РВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПБ 03-381-00. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – М.: изд. Госгортехнадзора России, 2001.
2. ПБ 03-381-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003.
3. СНиП 2-01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 2003.
4. СНиП 2-23-81*. Нормы проектирования. Стальные конструкции. – М., 1991.
5. СНКК 20-303-2002. Нагрузки и воздействия. Ветровая и сугревая нагрузки. – Краснодар, 2003.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. – М.: изд. Лит-ры по строительству, 1972.
7. Егоров. Е.А., Федоряка Ю.В. Исследование вопросов устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Металлические конструкции. – 2006. – Т. 9, №1. – С.89-97.
8. П.В. Бурков, С.П. Буркова, А.А. Алёшина, А.А. Ащеурова, В.Ю. Тимофеев Исследование состояния днища вертикального стального резервуара, анализ методик диагностики его состояния и выявления причин его деформации // Вестник КузГТУ. 2013. № 4. С. 79-81.

□ Авторы статьи

Бурков

Петр Владимирович.
докт.техн.наук, проф. . каф. общей
электротехники и автоматики
(Томский гос. архитектурно-стро-
ительный университет).
Email: burkovpv@mail.ru

Буркова

Светлана Петровна,
доцент каф. начертательной геомет-
рии и графики (Национальный ис-
следовательский Томский политех-
нический университет).
Email: burkovasp@tpu.ru.

Тимофеев

Вадим Юрьевич,
доцент каф. горно-шахтного обору-
дования (Юргинский технологиче-
ский институт (филиал) НИ ТПУ),
Email: tv-yitpu@mail.ru

. Ащеурова

Алиса Алексеевна.
студент гр. 519 (Томский гос. ар-
хитектурно-строительный уни-
верситет), тел. 8 (3822) 652237

Брюханов

Борис Дмитриевич.
магистрант (каф. транспорта и
хранения нефти и газа НИ ТПУ).
Email: asda@sibmail.com