

Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

Аспирант И.А. Порываев*;

аспирант М.Н. Сафиуллин;

к.т.н., профессор А.А. Семенов,

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет

Ключевые слова: вертикальный цилиндрический резервуар; купольное покрытие; аэродинамические исследования; симметричная снеговая нагрузка; несимметричная снеговая нагрузка

Листовые конструкции в виде емкостных сооружений (резервуаров и газгольдеров) широко применяются во всех отраслях промышленности. Металлические резервуары цилиндрической формы впервые были введены в практику В.Г. Шуховым. В качестве покрытий первых цилиндрических резервуаров использовались конические купола, а также плоские шпренгельные системы [1]. В работе [2] А.С. Арзунян описал конструкцию крыши резервуара в форме безмоментной оболочки. В 50-е годы М.И. Ашкинази [3] предложил использовать резервуары со сфероцилиндрической крышей.

Сегодня на территории России расположено более 50 тыс. резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, и наблюдается тенденция к увеличению их количества [4]. В настоящее время нормативные документы [5-8] рекомендуют в качестве стационарных покрытий цилиндрических резервуаров использовать сферические или конические купола различных конструктивных схем (щитовые, ребристые, ребристо-кольцевые, сетчатые) [9]. При этом нормы не запрещают использовать в качестве стационарных покрытий резервуаров крыши других форм.

При расчете покрытий зданий и сооружений любого назначения необходимо учитывать снеговую нагрузку. Величина и характер распределения снеговой нагрузки по покрытию зависят от ряда факторов (вес снегового покрова на поверхности земли, теплотехнические характеристики кровли, сдувание снега и т.д.) [10] и во многом определяются геометрическими параметрами крыши. Снеговую нагрузку на сферические и конические покрытия следует определять согласно схемам Г.13 и Г.14 (рис. 1) [11]. При этом необходимо учитывать симметричное (снег 1) и несимметричное (снег 2) (с учетом снегопереноса) распределение нагрузки. Аналогичные схемы приведены в нормативах для проектирования резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов [12]. Проведенные исследования [13] показали, что в условиях климатических районов с высокими значениями веса снегового покрова (IV-VIII снеговые районы РФ) основной вклад в напряженно-деформированное состояние (НДС) конструктивных элементов сферических покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров вносит именно снеговая нагрузка.

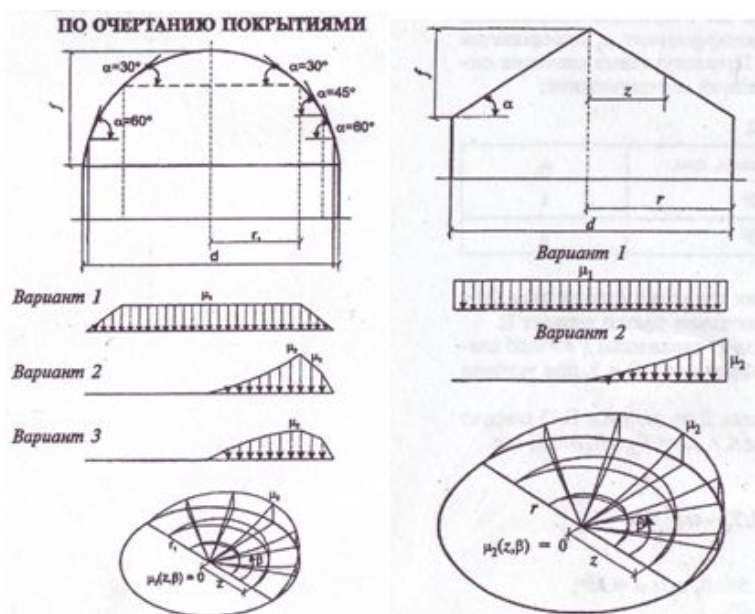


Рисунок 1. Схемы для определения снеговой нагрузки на сферические и конические покрытия

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

Проблемы определения снеговых нагрузок на покрытия зданий освещены в работах [14-19]. В исследованиях [20-22] величина и характер распределения снеговых нагрузок по покрытиям установлены по результатам аэродинамических испытаний. В работе [23] освещаются вопросы численного моделирования снеговых воздействий. Исследование [24] посвящено определению снеговых воздействий на здания по результатам статистической обработки данных о весе снегового покрова. Вопросам определения и минимизации влияния снеговой нагрузки на сферические купольные крыши резервуаров посвящен ряд работ [25-28]. Подобные исследования обеспечивают повышение надежности, а в ряде случаев и снижение материалоемкости покрытий цилиндрических резервуаров.

Целью исследования является решение задачи формообразования купольных покрытий вертикального цилиндрического резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов объемом 20000 м^3 (РВС 20000, диаметр 39,9м, высота стенки 18м) и экспериментальное определение ветровых и снеговых нагрузок на крышу.

В основу поиска геометрических форм покрытий резервуара был положен следующий принцип: покрытие формируется путем сопряжения конических или сферических поверхностей. На основе проведенных исследований было предложено три варианта геометрических схем покрытий (рис. 2).

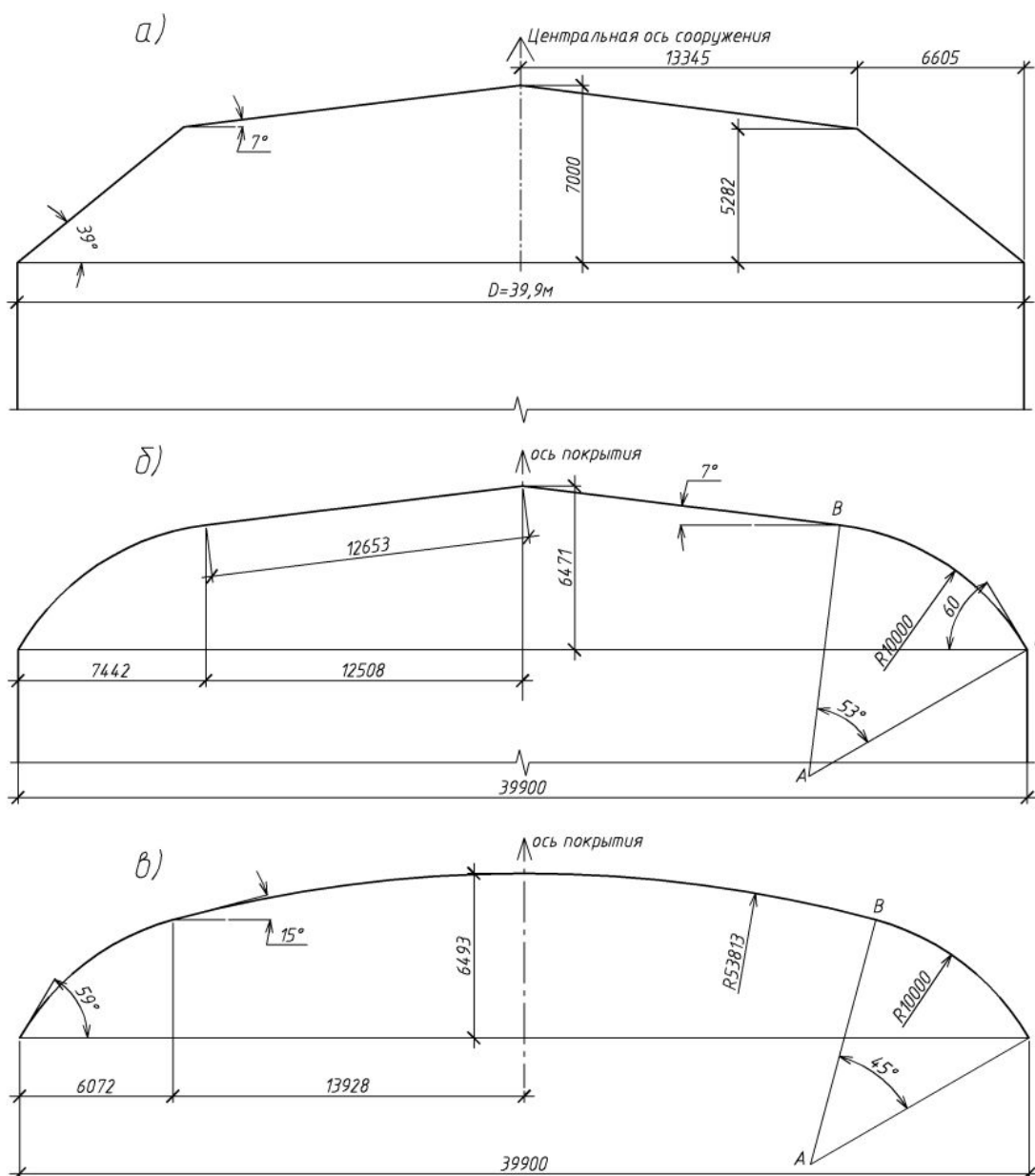


Рисунок 2. Геометрические параметры предложенных вариантов:
а) В-1; б) В-2; в) В-3

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

Покрытие В-1 образовано путем сопряжения двух конических поверхностей; В-2 – сопряжением конической поверхности с тором; В-3 – сопряжением сферической поверхности с тором. Для покрытий предложенных форм в нормативной и технической литературе [5-12, 29, 30] отсутствуют рекомендации по назначению ветровых и снеговых нагрузок. С целью определения аэродинамических коэффициентов внешнего давления на поверхности стен и крыши резервуаров, а также для установления качественной и количественной картины снегоотложений на покрытиях авторами совместно со специалистами Новосибирского отдела Научно-исследовательской и проектно-строительной фирмы УНИКОН были проведены эксперименты в специализированной аэродинамической трубе с длинной рабочей частью.

Экспериментальные исследования выполнялись в три этапа:

- определение аэродинамических коэффициентов внешнего давления;
- измерение скорости ветра вблизи исследуемого покрытия (на расстоянии 0,5 м в натуре);
- установление качественной и количественной картины снегоотложений на покрытиях.

Для проведения эксперимента модель отдельно стоящего резервуара с обвалованием (выполненная в масштабе 1:200 [29]) устанавливалась в рабочую часть трубы. Обвалование выполнено согласно требованиям СНиП 2.11.03-93. Испытания всех моделей были выполнены при следующих условиях: пограничный слой типа А, II ветровой, V снеговой районы [11]. Высота моделируемого пограничного слоя земли 300 метров. При этом были выдержаны критерии подобия профилей средней скорости и уровня турбулентных пульсаций скорости модельного пограничного слоя пограничному слою земли [29].

Для измерения средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки исследуемая модель оснащалась 14 датчиками приемниками давления, расположенными в одном сечении. При измерениях давления модель дискретно поворачивалась через $\Delta\beta = 10^0$ в диапазоне $0^0 \leq \beta \leq 180^0$. Измеренное давление представлялось безразмерными коэффициентами, представляющими собой отношение давления в точке измерения к давлению набегающего потока (скоростному напору) в контрольной точке (аэродинамические коэффициенты внешнего давления) [29]:

$$C_e = \frac{(P - P_0)}{q_{к.т.}} = \frac{(P - P_0)}{\frac{\rho \cdot U_{к.т.}^2}{2}}, \quad (1)$$

где P – измеренное абсолютное давление в точке поверхности модели; P_0 – давление невозмущенного потока; $q_{к.т.}$ – скоростной напор в контрольной точке потока; $U_{к.т.}$ – скорость в контрольной точке потока.

Контрольные измерения скорости выполнены в передней части модели со смещением в сторону от нее для исключения влияния турбулентного следа от измерительного устройства на показатели давления на модели (рис. 3). Высота измерения $Z = 120$ мм.

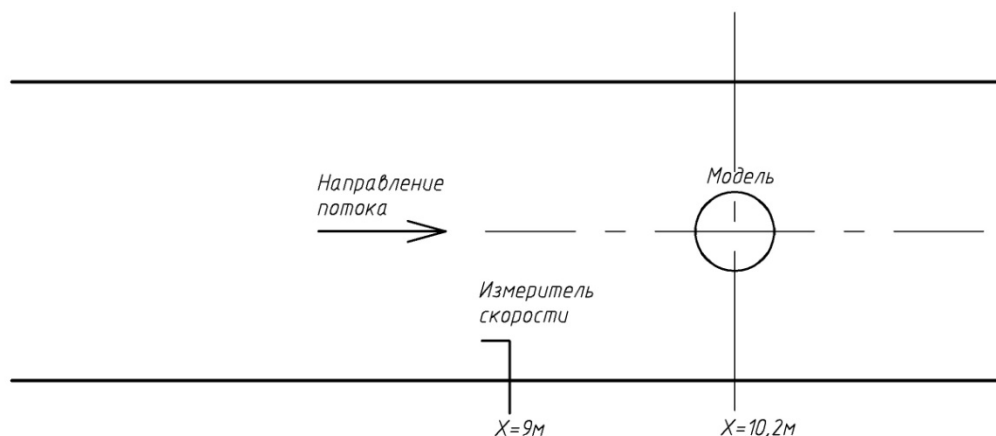


Рисунок 3. Размещение измерителя скорости относительно модели

Распределение аэродинамических коэффициентов внешнего давления по поверхности стенки резервуара аналогично для всех вариантов покрытия и показано на рис. 4.

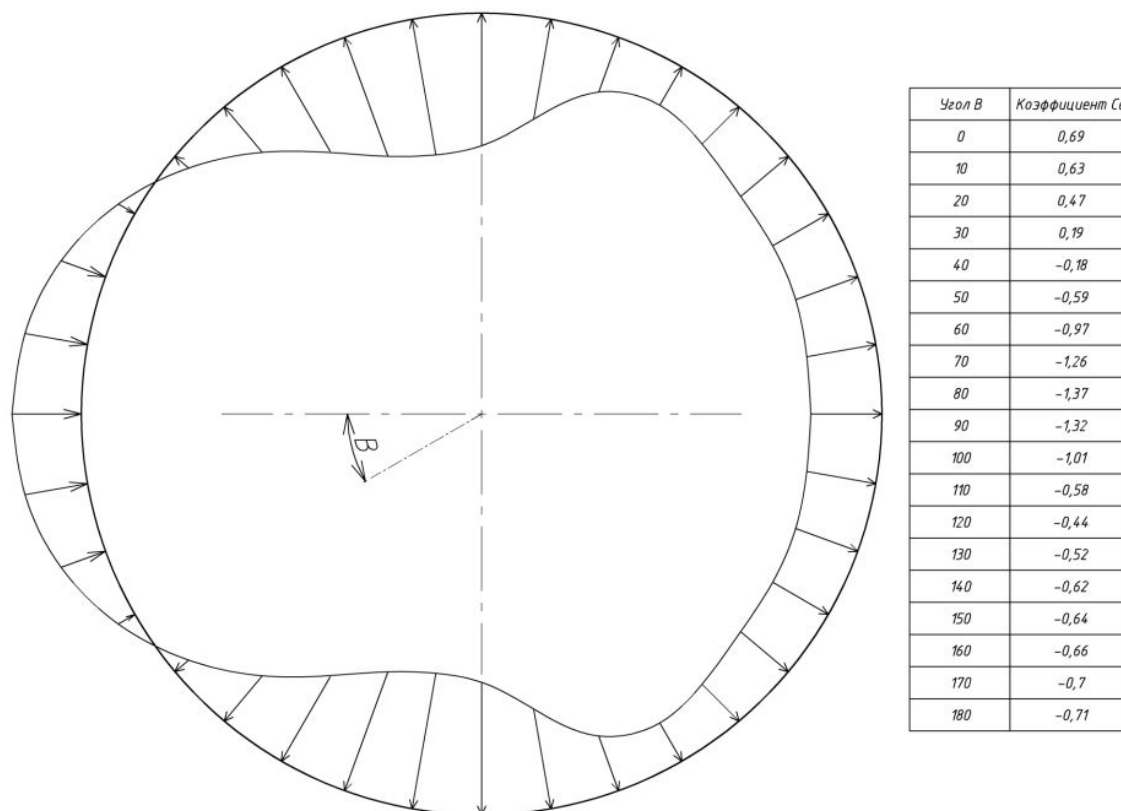


Рисунок 4. Распределение аэродинамических коэффициентов в горизонтальном сечении стенки на отметке +7,800

В диапазоне $0^0 \leq \beta \leq 35^0$ стенка испытывает положительное давление. По остальной поверхности действует отрицательное давление. Распределение коэффициентов давления на внешней поверхности резервуара с покрытием первого типа в продольном вертикальном сечении, проходящем через вертикальную ось, показано на рис. 5.

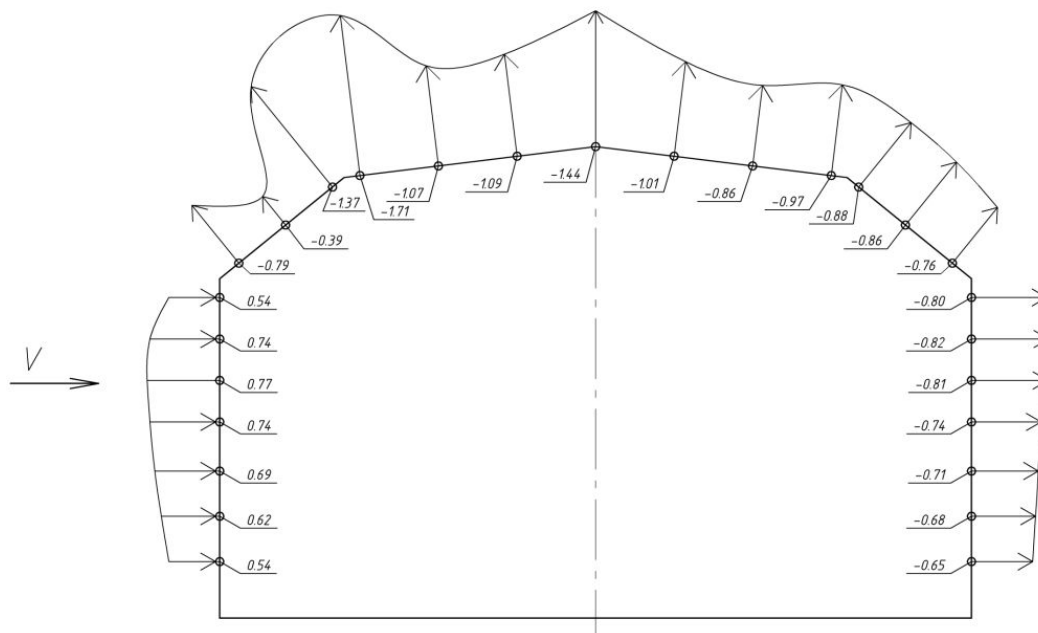


Рисунок 5. Распределение коэффициентов давления на внешней поверхности резервуара с покрытием 1 типа в продольном вертикальном сечении, проходящем через центральную ось

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

Линии равных коэффициентов давления C_e (изолинии) на покрытии В-1 показаны на рис. 6.

Покрытие В-1 испытывает отрицательное давление. Значения аэродинамических коэффициентов изменяются в диапазоне от -0,6 до -1,7. В области изменения угла наклона образующей покрытия с наветренной стороны наблюдается скачкообразное изменение значений аэродинамических коэффициентов. Суммированием локальных давлений определена полная подъемная сила, которую испытывает покрытие резервуара. При скорости ветра на высоте покрытия $U = 22 \text{ м/с}$ полная подъемная сила, действующая на покрытие В-1, равна $Z_1 = 430 \text{ кН}$.

Распределение коэффициентов внешнего давления по поверхности резервуаров с покрытиями В-2 и В-3 показано на рис. 7, 8.

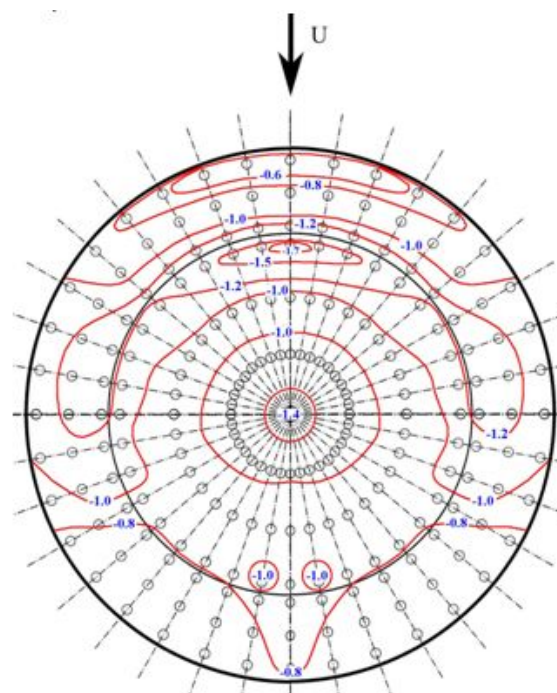


Рисунок 6. Изолинии коэффициентов давления на поверхности покрытия В-1

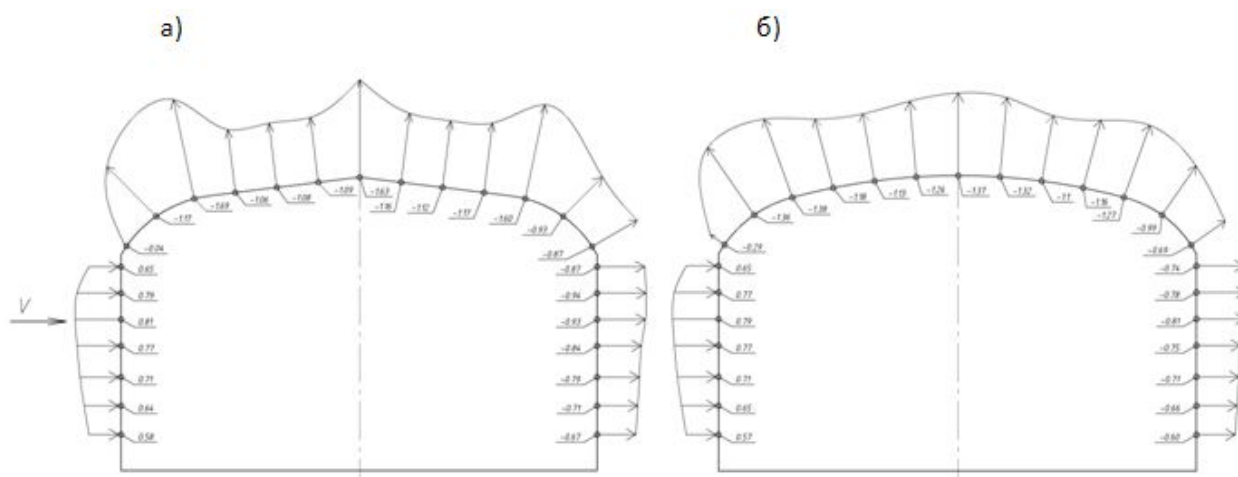


Рисунок 7. Распределение коэффициентов давления на внешней поверхности резервуара с покрытием В-2 (а) и В-3 (б) в продольном вертикальном сечении, проходящем через центральную ось

Покрытие В-2 испытывает отрицательное давление. Аэродинамические коэффициенты изменяются в диапазоне от -0,6 до -1,6. Изменение аэродинамических коэффициентов в области изменения «геометрии» покрытия менее выражено по сравнению с покрытием В-1. Полная подъемная сила, действующая на покрытие В-2, равна $Z_2 = 542 \text{ кН}$.

Покрытие В-3 испытывает отрицательное давление. Аэродинамические коэффициенты изменяются в диапазоне от -0,8 до -1,4. Полная подъемная сила, действующая на покрытие В-3, равна $Z_3 = 560 \text{ кН}$.

Измерения скорости ветра вблизи поверхности покрытия проведены методом термоанемометрии. Измеренные значения скоростей ветра выражены безразмерными коэффициентами:

$$K = \frac{U_{изм.}}{U_{к.т.}}, \quad (2)$$

где $U_{изм.}$ – значение скорости ветра в точке измерения; $U_{к.т.}$ – значение скорости ветра в контрольной точке (рис. 3).

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

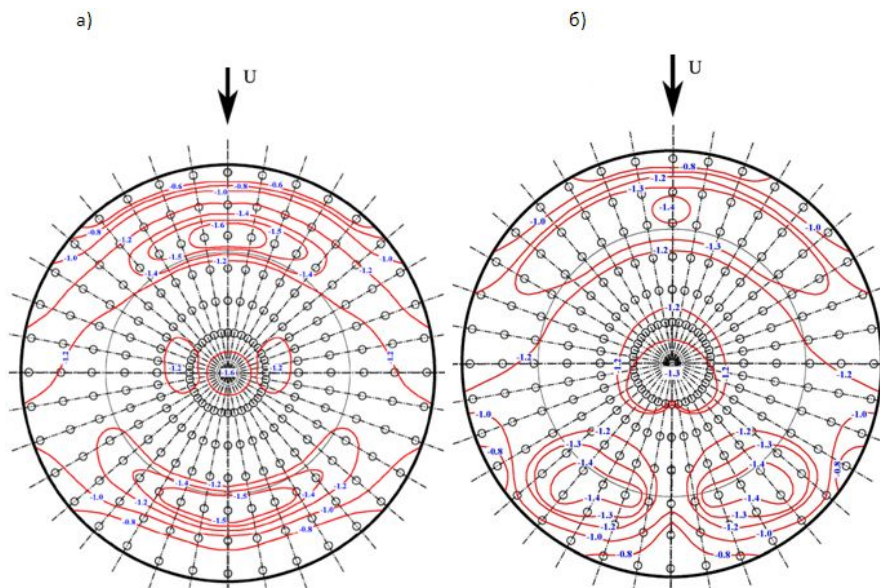


Рисунок 8 . Изолинии коэффициентов давления на поверхности покрытия В-2 (а) и В-3 (б)

Линии равных скоростей ветра (изотихи) показаны на рис. 9.

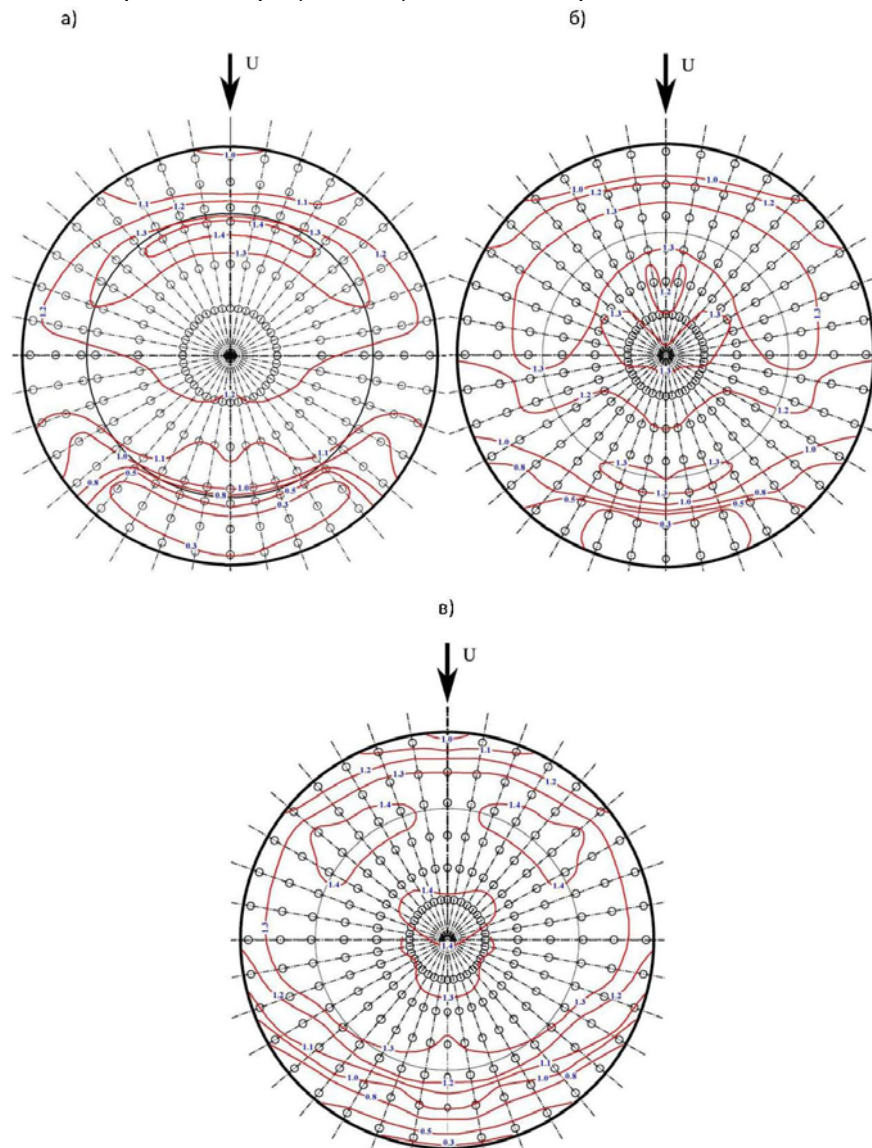


Рисунок 9. Линии равных скоростей (изотихи) на поверхности покрытия В-1 (а); В-2 (б); В-3 (в)

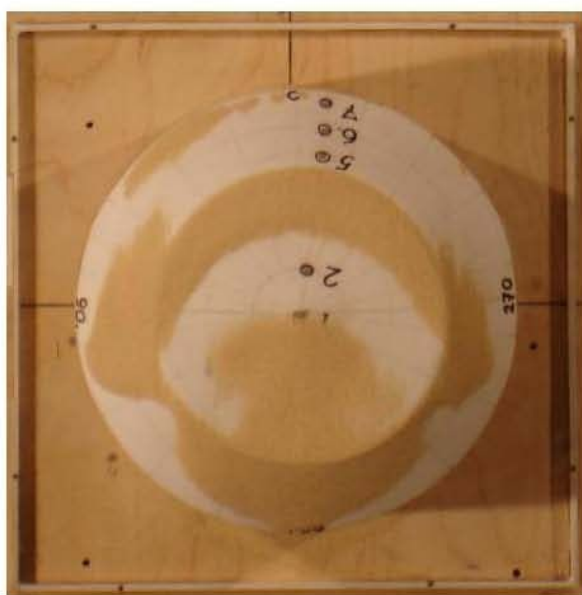
Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

На наветренной стороне покрытия В-1 скорость ветра увеличивается в направлении к центральной оси покрытия (коэффициенты K изменяются от 1 до 1,4). На подветренной стороне можно выделить область аэродинамической тени, в которой коэффициент K снижается до 0,3. В области аэродинамической тени возможно образование повышенных снеговых отложений (снеговых «мешков») [30].

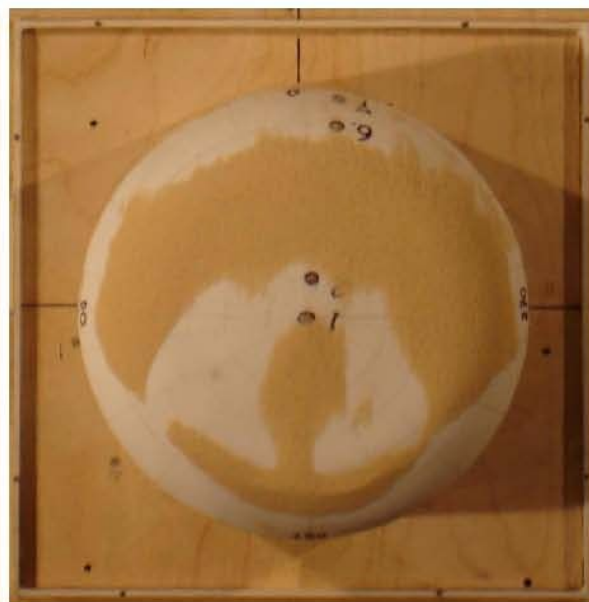
Аналогичные тенденции характерны для покрытий В-2 и В-3.

Для оценки объемов выноса и отложения снеговых масс на покрытия наносился слой модельного материала (древесная мука) и выполнялась продувка со ступенчатым изменением скорости ветра от 2 м/с до 6-7 м/с. Формы конечных отложений снеговых масс показаны на рис. 10.

а)



б)



в)

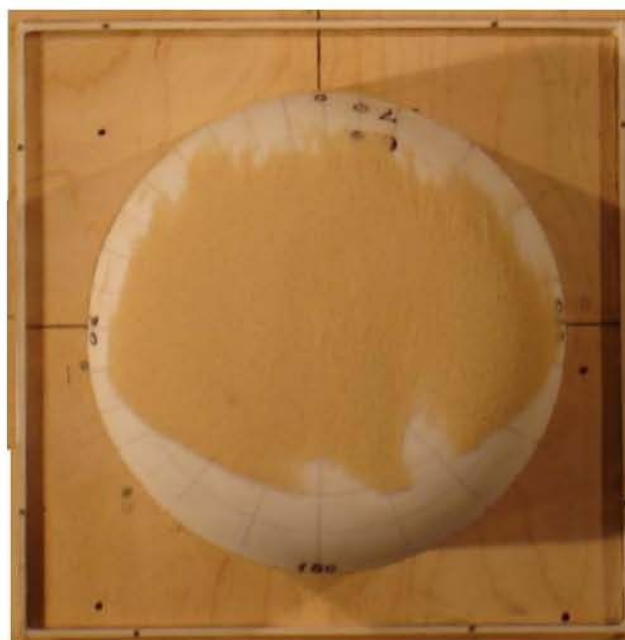


Рисунок 10. Конечные формы снеговых отложений на покрытиях В-1 (а); В-2 (б); В-3 (в)

По полученным данным определены коэффициенты перехода от веса снегового покрова земли к весу снегового покрова на покрытиях исследованных форм (коэффициенты μ). Распределение коэффициента μ по покрытию В-1 показано на рис. 11.

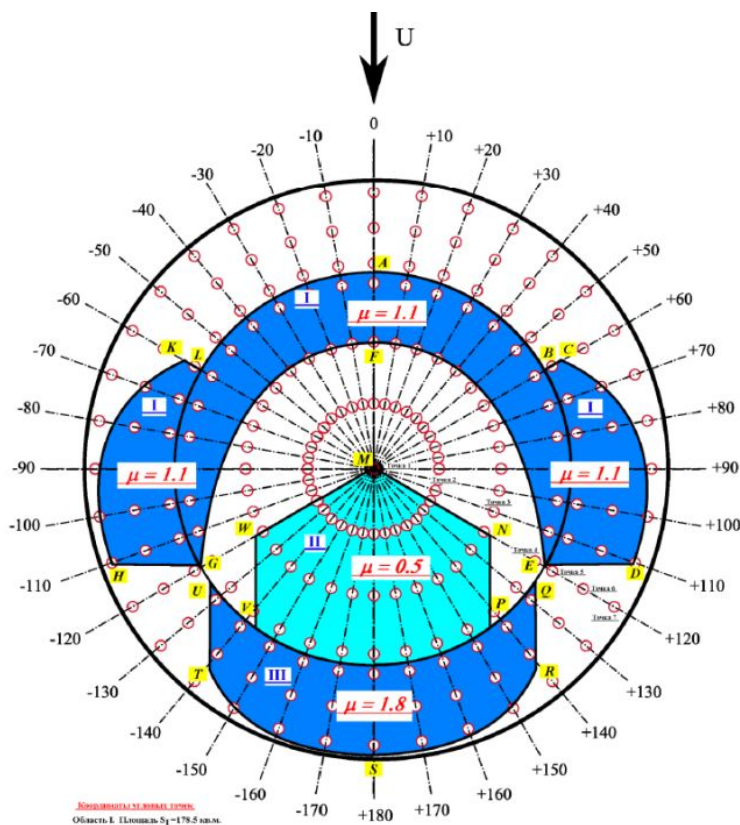


Рисунок 11. Коэффициенты перехода μ на покрытии В-1

На покрытии В-1 снеговые массы распределены симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара и параллельную направлению ветрового потока. Выделены области с разным по величине уровнем снегового покрова. Максимальная величина коэффициента перехода $\mu=1,8$, наименьшее значение этого коэффициента $\mu=0,50$.

Распределение коэффициентов перехода μ по покрытиям В-2 и В-3 показано на рис. 12, 13.

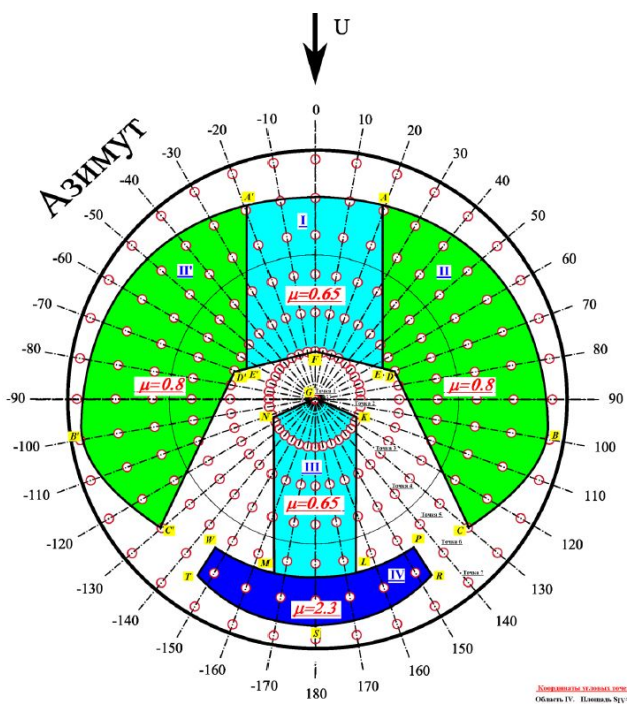


Рисунок 12. Коэффициенты перехода μ на покрытии В-2

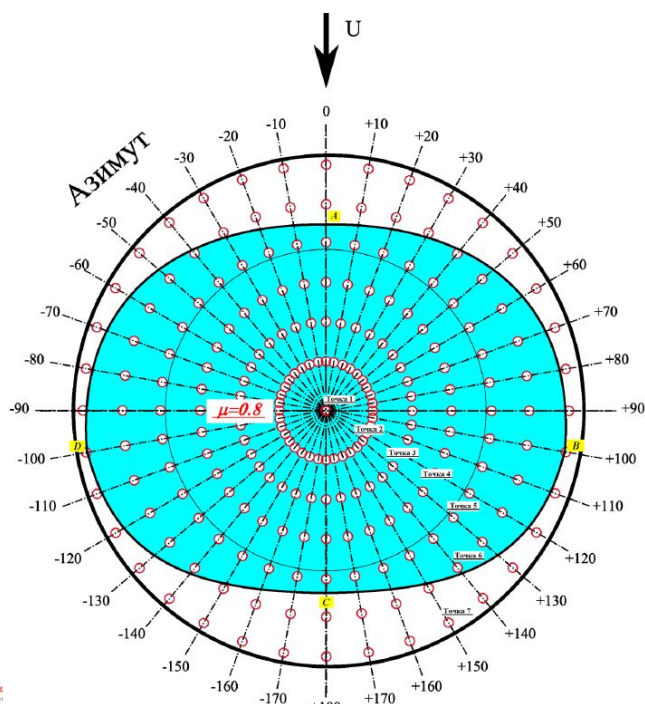


Рисунок 13. Коэффициенты перехода μ на покрытии В-3

На покрытии В-2 снеговые массы распределены симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара и параллельную направлению ветрового потока. Максимальная величина коэффициента $\mu=2,3$, наименьшее значение этого коэффициента $\mu=0,65$.

Для покрытия В-3 характерно равномерное распределение снеговых масс по поверхности, величина коэффициента $\mu=0,8$.

Для покрытий В-1, В-2 характерно асимметричное распределение снеговых масс относительно вертикальной плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара перпендикулярно направлению ветрового потока. Для покрытия В-3 асимметрия менее выражена.

Для покрытий предложенных форм характерно более равномерное распределение снеговых масс по сравнению со схемой Г.13 [11], согласно которой определяется характер распределения снеговой нагрузки.

С учетом полученных экспериментальных данных были выполнены численные исследования упрощенных стержневых моделей куполов предложенных форм, а также сферического покрытия со значением стрелы подъема $f_1 = 7$ м. Расчеты производились с использованием программного комплекса SCAD [31]. Моделировались покрытия, выполненные по ребристой конструктивной схеме. Крыша моделировалась совместно со стенкой. Элементы покрытия моделировались стержневыми конечными элементами, стенка – оболочечными. Закрепление стенки в основании принято жестким. Фрагменты расчетных моделей показаны на рис. 14.

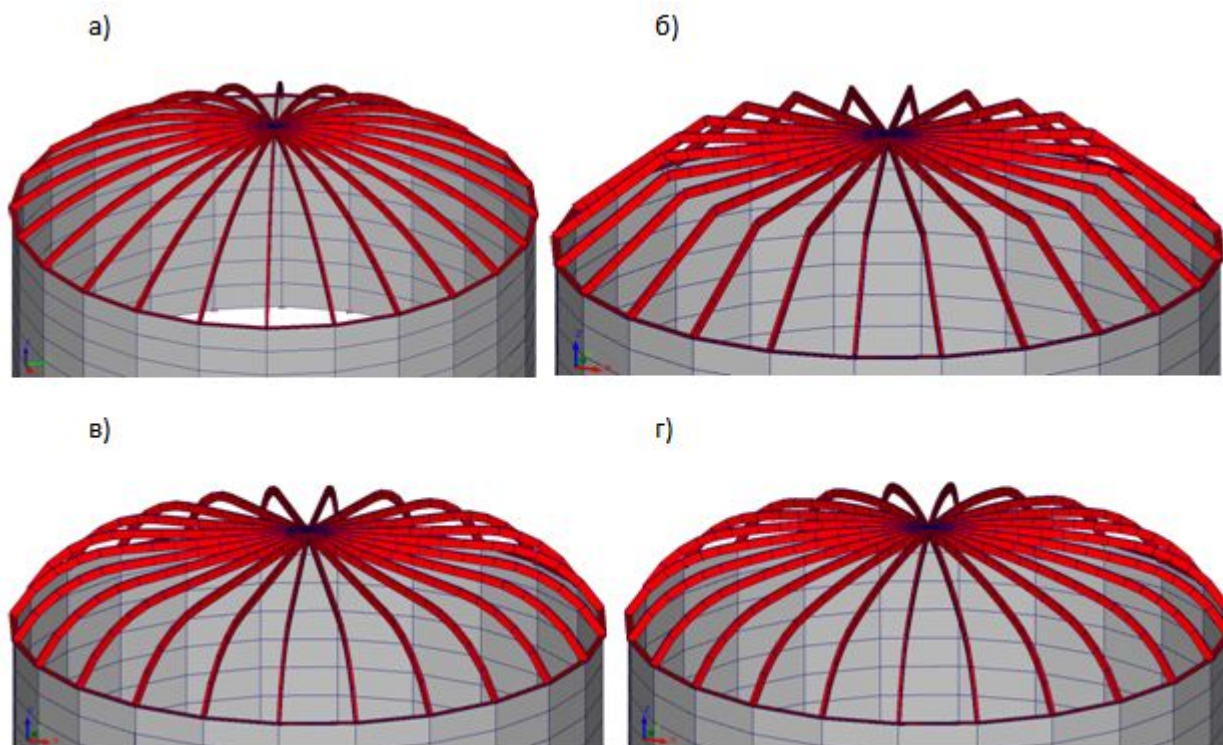


Рисунок 14. Расчетные модели покрытий: а) сферический купол; б) покрытие В – 1; в) покрытие В – 2; г) покрытие В – 3

Учитывались два взаимоисключающих нагружения:

- симметричная снеговая нагрузка (снег 1);
- несимметричная снеговая нагрузка (снег 2).

При этом несимметричное снеговое нагружение на сферическое покрытие задавалось в соответствии с [11]. По результатам расчетов проведено сравнение величины максимальных нормальных напряжений, возникающих в сечениях ребер куполов. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов

Геометрическая схема	Снеговое нагружение						σ_{max} , МПа
	Симметричное			Несимметричное			
	<i>M</i> , кНм	<i>N</i> , кН	σ , МПа	<i>M</i> , кНм	<i>N</i> , кН	σ , МПа	
Сферическое $f=7m$	83,2	186,4	34,0	402,0	136,3	123,8	123,8
B – 1	115,7	170,7	42,6	164,8	176,6	57,1	57,1
B – 2	153,6	215,8	56,0	106,9	63,2	34,3	56,0
B – 3	135,4	210,9	50,4	137,3	134,8	46,9	50,4

Наиболее неблагоприятным нагружением для сферического покрытия со стрелой подъема $f = 7m$ является несимметричная снеговая нагрузка, напряжения от которой более чем в 3,5 раза превышают напряжения от симметричной снеговой нагрузки. Для покрытия B-1 неблагоприятной является несимметричная снеговая нагрузка, значения напряжений от которой превышают значения напряжения от симметричной на 34%. Для покрытия B-2 напряжения от симметричной нагрузки превышают напряжения от несимметричной на 63%. Для покрытия B-3 отличие составляет 7% при более неблагоприятном влиянии симметричной нагрузки.

Проведенные расчеты показывают, что покрытия предложенных форм являются более эффективными при восприятии несимметричной снеговой нагрузки, чем традиционные купольные крыши резервуаров.

Выводы

В результате выполненных модельных и численных исследований покрытий РВС 20000 можно сделать следующие основные выводы.

1. Предложено несколько нетрадиционных геометрических форм покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров.
2. Установлены значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления на поверхности стен и покрытия резервуара.
3. Определены характер распределения и величина снеговой нагрузки на покрытиях предложенных форм.
4. Снеговая нагрузка должна рассматриваться как параметр оптимизации при определении рациональных геометрических форм покрытий зданий и сооружений.
5. Проведенные предварительные расчеты показали, что покрытия предложенных форм более эффективны по показателю материалоемкости, чем традиционные сферические покрытия резервуаров в условиях, когда наибольший вклад в напряженно-деформированное состояние несущих элементов вносит снеговая нагрузка.
6. Полученные значения ветровых нагрузок можно использовать при расчете опорного кольца купола резервуара, крепления ограждающих конструкций покрытия.
7. Полученные результаты могут быть использованы при разработке рациональных конструктивных решений купольных покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров.

Литература

1. Ковельман Г. М. Творчество инженера В. Г. Шухова. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 362 с.
2. Арзунян А. С. Резервуары с безмоментной кровлей для хранения нефти и нефтепродуктов / ЦНИИИТЭнефть. М., 1956. 180 с.
3. Ашкинази М. И. Резервуары со сфероцилиндрической крышей (опыт строительства и эксплуатации). М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1960. 42 с.
4. Ханухов Х. М. Развитие системы обеспечения циклической прочности и промышленной безопасности строительных сварных металлоконструкций. Автореферат дисс.... докт. техн. наук. М.: УГТУ-УПИ, 2011. 68 с.
5. ГОСТ Р 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия / ФГУП «Стандартинформ». М., 2010. 53 с.

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

6. ПБ 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов / Госгортехнадзор России. М., 2004. 83 с.
7. EN 1993-4-2-2007. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 4-2: Tanks, 2009. 48 p.
8. API Standart 650. Welded steel tanks of oil storage. American petroleum institute. 2006. 240 p.
9. Нехаев Г. А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления: Учебное пособие. М.: АСВ, 2005. 216 с.
10. Гордеев В. Н., Лантух-Лященко А. И. и др. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. 3-е изд., перераб. / Под общей ред. А. В. Перельмутера. М.: СКАД СОФТ, 2009. 514 с.
11. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия / Минрегион России. М., 2010. 80 с.
12. СТО СА 03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов / Ассоциация «Ростехэкспертиза». М., 2009. 212 с.
13. Порываев И. А., Сафиуллин М. Н., Семенов А. А.. Определение зависимостей между параметрами напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и геометрической схемой купольных покрытий резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. 2011. №4. С. 158-168. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Poryvaev/Poryvaev_1.pdf (дата обращения 02.02.2012).
14. Ледовский И. В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения. Автореферат дисс.... докт. техн. наук. Санкт Петербург: СПбГАСУ, 2008. 70 с.
15. O'Rourke M., Wrenn P. D. Snow Loads. A guide to the use and Understanding of the snow load provisions of ASCE 7-02 / American Society of Civil Engineers. 2004. 150 p.
16. Snow Engineering V / Ed. P. Bartelt, E. Adams, M. Christen, R. Sack, A. Sato. Davos: A.A. Balkema, 2004. 387 p.
17. Грудев И. Д., Филиппов В. В., Рыков А. В. Определение нормативных и расчетных значений снеговых нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007 №4. С. 10-12.
18. Ellingwood B., O'Rourke M. Probabilistic models of snow loads on structures // Structural safety. Vol. 2. Issue 4. 1985. Pp. 291-299.
19. Giever P. M., Sack R. L. Similitude considerations for roof snow loads // Cold Regions Science and Technology. Vol. 19. Issue 1. December, 1990. Pp. 59 – 71.
20. Popov N. A., Otstavnov V. A., Berezin M. A. Wind tunnel investigations of wind and snow loads acting on long-span roofs // Proceedings of Third European and African conference on wind engineering. Eindhoven, Netherlands, July 2-6, 2001 (J Wisse, editor). Pp. 115-118.
21. Delpech Ph., Paillet P., Gandemer J. Snowdrifting simulation around Antarctic buildings // Proceedings of the 2nd European and African Conference on Wind Engineering. Genoa, Italy, June 22-26, 1997 (J. Solari, editor). Vol. 1. Pp. 903-910.
22. Scarascia G., J. Castellano. Snow distributions on greenhouses // In Snow Engineering. Recent advances and developments. Rotterdam, 2000. Pp. 265-274.
23. Bang B., Nielsen A., Sunbo P., Wiik T. Computer simulation of wind speed, wind pressure and snow accumulation around buildings (SNOW-SIM) // Energy and Buildings. Vol. 21. Issue 3. 1994. Pp. 235-243.
24. Meloysund V., Liso K. R., Hygen H. O., Hoiseth K. V., Leira B. Effects of wind exposure on roof snow loads // Building and Environment. Vol. 42. issue 10. October, 2007. Pp. 3726-3736.
25. Ружанский И. Л. Алюминиевый купол для резервуара диаметром 40 м // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2002. № 7. С. 25-30.
26. Ильин Е. Г., Востров В. К. Снеговые нагрузки и конструктивные параметры сферических алюминиевых крыш для вертикальных цилиндрических стальных и железобетонных резервуаров // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. №1. С. 27-31.
27. Востров В. К., Павлов А. Б. Вопросы расчета экстремальных снеговых нагрузок на купольные покрытия // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №7. С. 39-42.
28. Мондрус В. Л., Павлов С. А. Определение расчетных значений снеговых нагрузок для купола резервуара // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №11. С. 50-51.
29. Реттер Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.
30. Дюнин А. К. Механика метелей (Вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств). Новосибирск: изд. СО АН СССР, 1963. 380 с.
31. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Микитаренко М. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. Вычислительный комплекс SCAD. М.: СКАД СОФТ, 2009. 656 с.

* *Илья Аркадьевич Порываев, г. Уфа, Россия*
Тел. моб.: +7(917)4011118; эл. почта: ilyaporivaev@rambler.ru

© Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А., 2012

Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследования ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров

doi: 10.5862/MCE.31.2

Research of wind and snow cover loads on the roofs of the vertical cylindrical tanks

**A.A. Semenov,
I.A. Porivaev,
M.N. Safiullin,**

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
+7(917)4011118; e-mail: ilyaporivaev@rambler.ru*

Key words

vertical cylindrical tank; domed coating; aerodynamic research; symmetrical snow load; asymmetrical snow load

Abstract

The widespread use of vertical cylindrical tanks puts the question of their sustainable design. Snow load brings the greatest contribution to the stress-strain state of the supporting structures of vertical tanks spherical domed coatings in the IV-VIII snowy areas of Russia.

New geometrical forms of the tank coatings with volume 20 000 m³ were developed. The results of aerodynamic research of proposed coatings model were presented..

The coefficients of the external pressure on the surface of the walls and coating of the tank were determined. Qualitative and quantitative picture of the snowy mass under the influence of the wind were also determined.

The obtained results can be used to develop effective design solutions for domed coatings of the oil tanks.

References

1. Kovelman G. M. *Tvorchestvo inzhenera V. G. Shukhova [Engineer Shukhov's works]*. Moscow: State Publishing House of the literature on the construction, architecture and building materials, 1961. 362 p. (rus)
2. Arzunian A. S. *Rezervuari s bezmomentnoi krovley dlia khraneniia nefi i neftiproduktov [Tanks for oil storage with membrane roof]*. Moscow: CNIITEneft, 1960. 180 p. (rus)
3. Ashkinazi M. I. *Rezervuari so sferocilindricheskoy krishey (opit proektirovaniya i stroitelstva) [Tanks with a spherocylindrical roof (experience in the construction and operation)]*. Moscow: GOSTOPTEKHIZDAT, 1960. 42 p. (rus)
4. Khanukhov Kh. M. *Razvitie sistemi obespechenia ciklicheskoj prochnosti i promichelloj bezopasnosti stroitelnykh svarnikh metallokonstrukcyi [Development of systems for cyclic durability and safety of construction of welded steel structures]*. Avtoreferat diss...dokt. tekhn. nauk. Moscow: UGTU-UPI, 2011. 68 p. (rus)
5. GOST R 31385-2008. *Rezervuary vertikalnyye tsilindricheskiye stalnyye dlya nefi i nefteproduktov. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Vertical cylindrical steel storage tanks for petroleum and petroleum products. General specifications]*. Moscow: FGUP «Standartinform», 2010. 53 p. (rus)
6. PB 03-605-03. *Pravila ustrojstva vertikalnykh cilindricheskiy stalnykh rezervuarov dlja nefi i nefteproduktov [Rules for design of vertical cylindrical steel storage tanks for petroleum and petroleum products]*. Moscow: Gosgortehnadzor Rossii, 2004. 83 p. (rus)
7. EN 1993-4-2-2007. *Eurocode 3: Design of steel structures. Part 4-2: Tanks*, 2009. 48 p.
8. API Standart 650. *Welded steel tanks of oil storage. American petroleum institute*. 2006. 240 p.
9. Nehaev G. A. *Proektirovanie i raschet stalnykh cilindricheskiy rezervuarov i gazgolderov nizkogo davlenija. Uchebnoe posobie [Design and calculation of steel cylindrical tanks and low pressure gas holders]*. Moscow: Izd-vo ASV, 2005. 216 p. (rus)
10. Gordeev V. N., Lantuh-Ljavenko A. I. i dr. Pod obvej red. A.V. Perelmutera. *Nagruzki i vozdejstviya na zdaniya i sooruzhenija [Loads and effects on buildings and structures]*. 3-e izd., Pererab. Moscow: SKAD SOFT, 2009. 514 p. (rus)
11. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdejstviya [Pressures and impacts]*. Moscow: Minregion Rossii, 2010. 80 p. (rus)

Semenov A.A., Porivaev I.A., Safiullin M.N. Research of wind and snow cover loads on the roofs of the vertical cylindrical tanks

12. STO SA 03-002-2009. *Pravila projektovanja, izgotovljenja i montazha vertikalnyh cilindricheskih stalnyh rezervuarov dlja nefti i nefteproduktov* [The rules of design, manufacture and installation of vertical cylindrical steel storage tanks for petroleum and petroleum products]. Moscow: Associacija «Rostehjeksperitiza», 2009. 212 p. (rus)
13. Poryvaev I. A., Safiullin M. N., Semenov A. A. *Oil and Gas Business*. 2011. No. 4. Pp. 158-168. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Poryvaev/Poryvaev_1.pdf (02.02.2012). (rus)
14. Ledovskiy I. V. *Problemi teorii snegovikh nagruzok na sooruzhenia* [Problems of the theory of snow loads on structures]. Avtoreferat diss...dokt. tekhn. nauk. Saint Petersburg: SpbGASU, 2008. 70 p. (rus)
15. O'Rourke M., Wrenn P. D. *Snow Loads. A guide to the use and Understanding of the snow load provisions of ASCE 7-02*. American Society of Civil Engineers. 2004. 150 p.
16. *Snow Engineering* V. Ed. P. Bartelt, E. Adams, M. Christen, R. Sack, A. Sato. Davos: A. A. Balkema, 2004. 387 p.
17. Grudev I. D., Filippov V. V., Rikov A. V. *Industrial and civil engineering*. 2007. No. 4. Pp. 10-12. (rus)
18. Ellingwood B., O'Rourke M. Probabilistic models of snow loads on structures. *Structural safety*. Vol. 2. Issue 4. 1985. Pp. 291-299.
19. Giever P. M., Sack R. L. Similitude considerations for roof snow loads. *Cold Regions Science and Technology*. Vol. 19. Issue 1. December, 1990. Pp. 59 – 71.
20. Popov N. A., Otstavnov V. A., Berezin M. A. Wind tunnel investigations of wind and snow loads acting on long-span roofs. *In proceedings of Third European and African conference on wind engineering*. Eindhoven, Netherlands. July 2-6, 2001 (J Wisse, editor). Pp. 115-118.
21. Delpesch Ph., P. Pailer and J. Gandemer. Snowdrifting simulation around Antarctic buildings. *In proceeding of the 2nd European and African Conference on Wind Engineering*. Genoa, Italy. June 22-26, 1997 (J. Solari, editor). Vol. 1, Pp. 903-910.
22. Scarascia G.; Castellano J. Snow distributions on greenhouses. *In Snow Engineering. Recent advances and developments*. Rotterdam. 2000. Pp. 265-274.
23. Bang B., Nielsen A., Sunbo P., Wiik T. Computer simulation of wind speed, wind pressure and snow accumulation around buildings (SNOW-SIM). *Energy and Buildings*. Vol.21. Issue 3. 1994. Pp. 235-243.
24. Meloyund V., Liso K. R., Hygen H. O., Hoiseth K. V., Leira B. *Building and Environment*. Vol. 42. Issue 10. October, 2007. Pp. 3726-3736.
25. Ruzhanskij I. L. *Installation and special works in construction*. 2002. No. 7. Pp. 25-30. (rus)
26. Ilin E. G., Vostrov V. K. *Oil&Oil Products Pipeline Transportation: Science & Technologies*. 2011. No. 1. Pp. 27-31. (rus)
27. Vostrov V. K., Pavlov A. B. *Industrial and civil engineering*. 2005. No. 7. Pp. 39-42 (rus)
28. Mondrus V. L., Pavlov S. A. *Industrial and civil engineering*. 2010. No. 11. Pp. 50-51 (rus)
29. Retter E. I. *Arhitekturno-stroitel'naja ajerodinamika* [Architecture and Building Aerodynamics]. Moscow: Strojizdat, 1984. 294 p. (rus)
30. Djunin A. K. *Mehanika metelej (Voprosy teorii projektovanja snegoregulirujuvih sredstv)* [Mechanics of snowstorms (Problems in the theory of designing snowcontrol methods)]. Novosibirsk: izd. SO AN SSSR, 1963. 380 p. (rus)
31. Karpilovskij V. S., Kriksunov E. Z., Maljarenko A. A., Mikitarenko M. A., Perelmuter A. V., Perelmuter M. A. *Vychislitelnyj kompleks SCAD* [Computer complex SCAD]. Moscow: SKAD SOFT, 2009. 656 p. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 12-22