

УДК 624.04

© О. И. Поддаева, д-р техн. наук, профессор
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
Москва, Россия)
E-mail: poddaevaoi@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-2-23-31

© O. I. Poddayeva, Dr. Sci. Tech., Professor
(Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
Moscow, Russia)
E-mail: poddaevaoi@gmail.com

ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУППЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

WIND EFFECTS ON GROUPS OF VERTICAL STEEL TANKS

Проведено исследование ветрового воздействия на различные типы вертикальных стальных резервуаров в различных компоновках с целью возможной корректировки нормативных документов. В ходе работы отобраны наиболее распространенные типы крупногабаритных резервуаров; установлено, что общепринятая схема размещения резервуаров — по 2 шт. в группе; ни на одном из рассмотренных предприятий не соблюдалось регламентированное нормативными документами расстояние между резервуарами ($3d$), при котором допустимо назначение ветровой нагрузки на основании нормативных документов аэродинамических коэффициентов. Для выбранных восьми схем размещения вертикальных стальных резервуаров проведено физическое моделирование ветровых воздействий в аэродинамической трубе. В результате проведенной серии испытаний выявлены основные параметры резервуаров и схем их компоновки в группах, которые оказывают влияние на распределение аэродинамических коэффициентов внешнего давления по их поверхности. На основании результатов выполненных исследований для оценки ветровых воздействий на группы резервуаров предлагается ввести параметр отношения диаметра резервуара к его высоте d/h .

Ключевые слова: экспериментальное моделирование, аэродинамические трубы, вертикальные стальные резервуары, интерференция.

There was carried out a study of the wind effect on various types of vertical steel tanks in various configurations for the purpose of possible adjustment of regulatory documents. In the course of the work, the most common types of large-sized tanks were selected, it was determined that the most common layout of tanks was 2 per group, none of the considered enterprises observed the distance between tanks ($3d$) regulated by regulatory documents, at which it is permissible to assign a wind load based on aerodynamic coefficients in regulatory documents. For the selected eight layouts of vertical steel tanks, physical modeling of wind effects was performed in a wind tunnel. As a result of the conducted series of tests, the main parameters of the tanks and their arrangement schemes in groups were identified, which affect the distribution of aerodynamic coefficients of external pressure over their surface. Based on the results of the studies, it is proposed to introduce the parameter of the ratio of the tank diameter to its height d/h to assess wind effects on groups of tanks.

Keywords: experimental modeling, wind tunnels, vertical steel tanks, interference.

Введение

Вертикальные стальные резервуары широко используются для хранения различных жидкостей и газов. При проектировании и эксплуатации таких резервуаров, особенно групп резервуаров, важно учитывать влияние ветра, которое может привести к воз-

никновению значительных аэродинамических нагрузок, приводящих к потере устойчивости сооружения. Однако в действующих отечественных и зарубежных нормативных документах содержатся методики расчета только для одиночных резервуаров, хотя в промышленности стальные резервуары рас-

полагаются преимущественно группами, а интерференционные эффекты ветровых воздействий все еще являются предметом исследования.

Проведение экспериментальных исследований аэродинамических характеристик групп вертикальных стальных резервуаров имеет важное практическое значение. Результаты исследований позволят повысить безопасность эксплуатации резервуаров, снизить риски, связанные с ветровыми нагрузками, и оптимизировать конструкцию резервуаров.

Для расчета резервуаров на ветровые нагрузки используются следующие отечественные и зарубежные документы: СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»¹, СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»², ГОСТ 31385–2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов»³, Eurocode 1: Actions on Structures — Part 1–4⁴ (Европа), ASCE 7–16 «Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures» (США), BS 6399-2: 1997 «Loading for buildings. Code of practice for wind loads» (Великобритания), API 650 «Welded Steel Tanks for Oil Storage» (США) и др. Перечисленные нормативные документы не содержат методик расчета групп цилиндрических резервуаров на ветровые воздействия, и хотя зарубежная нормативная литература более полно освещает вопрос взаимодействия ветра с цилиндрическими резервуарами, влияние интерференции все равно остается слабо изученным и не находит отражения в нормативных документах.

Существует ряд исследований отечественных и зарубежных авторов на тему влияния

¹ СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*.

² СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*.

³ ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.

⁴ EN 1991-1-4: 2005. Eurocode 1: Actions on Structures — Part 1–4: General actions — Wind Actions. European Committee for Standardization, 2005.

интерференции для различных конфигураций групп резервуаров.

Исследования конфигураций тандемных резервуаров выявили эффект экранирования и изменения в распределении давления по сравнению с изолированными резервуарами. В работе [1] были проведены испытания моделей в аэродинамической трубе для оценки эффекта интерференции в тандемных конфигурациях. Результаты эксперимента показывают изменения в распределении давления по окружности резервуара для расстояния между ними в половину диаметра в сравнении с изолированным резервуаром аналогичных размеров. Более того, для случая, когда передний резервуар тандемного резервуара имеет высоту меньше, чем целевой резервуар, было измерено увеличение давления с наветренной стороны.

В статье [2] приводятся результаты экспериментов в аэродинамической трубе небольших групп резервуаров для оценки характеристик давления, обусловленных эффектами интерференции. Показано, что эффекты интерференции могут привести к увеличению наветренного давления и потенциальному изгибу, как это наблюдалось в реальной конфигурации резервуара во время урагана.

В работе [3] исследуются большие цилиндрические резервуары с плавающей крышей. Указано, что влияние интерференции не было тщательно изучено в существующих исследованиях и не находит отражения в существующих нормах. Сравниваются результаты, полученные для группы резервуаров, с результатами на изолированном цилиндре, обсуждаются эффекты интерференции, связанные с углом ветра, положением бака в группе и расстоянием. Работа [4] является продолжением работы [3], в ней авторы предпринимают попытку рассчитать ветровые нагрузки на внешнюю стену в прямоугольно расположенной цилиндрической группе резервуаров с помощью численного моделирования с учетом различных схем.

Результаты демонстрируют, что численные методы могут обеспечить аналогичные результаты по давлению ветра и лучшее понимание эффекта интерференции через полученные линии тока. Установлено значительное снижение прочности резервуаров в случае сгруппированных полных баков по сравнению с изолированным резервуаром, на что следует обратить особое внимание в случае эксплуатации резервуаров с повышенным уровнем жидкости при сильных ветровых нагрузках.

В работе [5] выполнено численное моделирование ветровых воздействий на одиночные резервуары и группу резервуаров в районах с сильным ветром. Показано, что два расположенных рядом резервуара подвергаются воздействию большей результирующей силы по сравнению с одиночно стоящим резервуаром; для трех близкорасположенных резервуаров коэффициент лобового сопротивления каждого из них больше, чем у одиночно стоящего резервуара, при этом коэффициент лобового сопротивления резервуара, расположенного внутри группы, также выше, чем у внешних резервуаров.

В работе [6] исследованы особенности поведения цилиндрической стенки стальных резервуаров при ветровой нагрузке с помощью численных методов. Показано, что процесс деформирования оболочек при ветровом давлении имеет в целом устойчивый характер, однако, учитывая тот факт, что в натуральных резервуарах всегда имеются отклонения от правильной геометрической формы, в инженерных расчетах оценки устойчивости резервуаров в качестве предельного значения ветровой нагрузки рекомендуется принимать нижнюю предельную нагрузку, определенную нелинейным расчетом.

В работе [7] в аэродинамической трубе исследовано влияние интерференции на группе цилиндрических резервуаров. Для всех испытанных конфигураций установлено наличие критического расстояния между ци-

линдрами, что проявлялось в резком изменении коэффициентов сопротивления при небольшом изменении расстояния между цилиндрами. Также было обнаружено, что для конфигурации с большим цилиндром в верхнем положении более вероятны большие суммарные коэффициенты сопротивления и малые коэффициенты подъемной силы, особенно в условиях плавного потока.

В работе [8] численно изучены влияния расстояния между тремя круглыми цилиндрами в группе на их аэродинамические коэффициенты и общую картину течения. Установлено, что обтекание группы из трех цилиндров имеет сложную структуру, и соответствующая схема течения зависит от расстояния между центрами цилиндров в группе.

В работе [9] на основе эксперимента в аэродинамической трубе исследованы коэффициенты ветрового давления резервуаров для хранения нефти с открытым верхом. Основное внимание уделено интерференции между несколькими резервуарами, размещенными в различных конструкциях. Ветровое давление измерялось во многих точках одновременно как на внешней, так и на внутренней поверхности жестких моделей в турбулентном пограничном слое. Результаты показали существенное влияние эффекта интерференции на распределение давления ветра на поверхности.

В статье [10], посвященной различным методикам исследования воздействия ветровой нагрузки на вертикальные цилиндрические резервуары, отмечается, что недостаточно изучены нагрузки и воздействия на такие резервуары в составе группы, хотя на большинстве нефтехранилищ такая компоновка является преимущественной.

В работе [11] проведен сравнительный анализ полученных экспериментально аэродинамических коэффициентов для группы резервуаров и нормативных коэффициентов, установленных СП 20.1330.2016 для

одионого резервуара. Анализ показал, что резервуары, находящиеся внутри группы и с краю (за исключением угловых), испытывают существенное снижение ветрового воздействия на стенку как в области положительного (направленного на стенку), так и отрицательного (направленного от стенки) давления. Снижение аэродинамических коэффициентов в зависимости от конфигурации группы и типа резервуаров составило от 4 до 45 % для типа местности А и от 3 до 37 % для типа местности В.

Как показывает проведенный анализ, при расчетах резервуаров на устойчивость одной из основных нагрузок является ветровая. Существующие отечественные и зарубежные нормативные документы содержат методики по определению ветровых нагрузок, действующих только на одиночный резервуар, хотя на практике резервуары преимущественно располагаются группами. При этом интерференционные эффекты ветровых воздействий все еще являются предметом исследований с использованием CFD-моделирования, экспериментальных исследований в аэродинамических трубах, а также натурных измерений.

В данной работе проведено исследование ветрового воздействия на различные типы вертикальных стальных резервуаров в различных компоновках для получения достаточной и достоверной информации для назначения аэродинамических коэффициентов при проектировании наиболее распро-

страненных групп вертикальных стальных резервуаров с целью возможной корректировки нормативных документов.

Методы

Исследования выполнены методом экспериментального (физического) моделирования на базе уникальной научной установки — Большой исследовательской градиентной трубы (УНУ БИГАТ) НИУ МГСУ.

На первом этапе была проанализирована информация по более чем 30 предприятиям различных отраслей промышленности. Установлено, что вертикальные стальные резервуары присутствуют практически на всех предприятиях. Далее были выбраны самые распространенные типы крупногабаритных резервуаров как наиболее ответственных с точки зрения возникновения аварийных ситуаций.

По вариантам компоновок установлено, что наиболее распространенная схема размещения резервуаров — 2 шт. в группе. При этом стоит отметить, что ни на одном из рассмотренных предприятий не соблюдалось регламентированное нормативными документами расстояние между резервуарами (3*d*), при котором допустимо назначение ветровой нагрузки на основании справочных значений аэродинамических коэффициентов, представленных в приложении В к СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». На основании проведенного анализа были выбраны схемы взаимного

Таблица 1

Параметры компоновок РВС

№ компоновки	РВС	Диаметр, м	Высота, м	Общее кол-во	Расстояние между резервуарами, м
1	РВСП(К)-50000	60,7	18,0	2	60,7 (1 <i>d</i>)
2	РВСП(К)-50000	60,7	18,0	2	30,35 (0,5 <i>d</i>)
3	РВСП-30000	45,6	18,0	2	91,2 (2 <i>d</i>)
4	РВСП-30000	45,6	18,0	2	45,6 (1 <i>d</i>)
5	РВСП-30000	45,6	18,0	3	22,8 (0,5 <i>d</i>)
6	РВСП-20000	45,6	12,0	2	91,2 (2 <i>d</i>)
7	РВСП-20000	45,6	12,0	2	45,6 (1 <i>d</i>)
8	РВСП-20000	45,6	12,0	3	22,8 (0,5 <i>d</i>)

расположения РВС (резервуаров вертикальных стальных) в группах (табл. 1).

На втором этапе исследования с соблюдением правил геометрического подобия были изготовлены модели вертикальных стальных резервуаров (рис. 1). Масштаб моделей выбран из условий соблюдения установленных для аэродинамической трубы ограничений: степень загромождения поперечного сечения рабочей части аэродинамической трубы должна быть не более 8 % согласно требованию п. Ж.4 Приложения Ж СП 20.13330.2016.

Результаты

На следующем этапе работы выполнено экспериментальное моделирование ветровых воздействий на базе УНУ БИГАТ НИУ МГСУ с целью определения аэродинамических коэффициентов внешнего давления для различных групп резервуаров. Методика проведения испытаний приведена в работе [12].

Для каждой из восьми выбранных (см. табл. 1) компоновок получен аэродинамический коэффициент внешнего давления c_p , значения аэродинамических коэффициентов в контрольных точках на поверхности модели для компоновок 4 и 6 представлены в графической форме на рис. 2.

В результате проведенной серии испытаний выявлены основные параметры резер-

вуаров и схем их компоновки в группах, которые оказывают влияние на распределение аэродинамических коэффициентов внешнего давления по их поверхности.

Обсуждение

В соответствии с действующим СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» для групп сооружений с круговой цилиндрической поверхностью, расстояние между которыми менее $3d$ (где d — максимальный диаметр цилиндрических сооружений), аэродинамические коэффициенты следует устанавливать в специальных рекомендациях. Данное требование обосновано необходимостью учета интерференции от расположенных в непосредственной близости друг от друга сооружений при назначении ветровой нагрузки. Ветровая нагрузка на одиночно стоящий резервуар цилиндрической формы, как правило, назначается на основании схемы В.1.12 данного СП, при этом наиболее существенное влияние на распределение аэродинамических коэффициентов по боковой поверхности резервуара согласно СП 20.13330.2016 оказывает его диаметр. На основании результатов выполненных исследований для оценки ветровых воздействий на группы резервуаров предлагается ввести параметр отношения диаметра резервуара к его высоте d/h . Данный параметр имеет

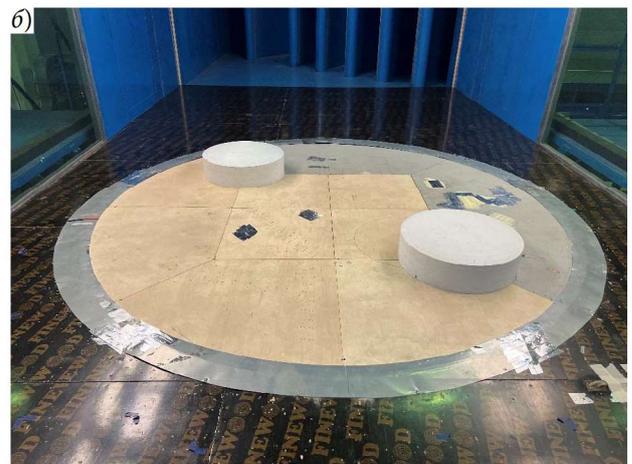
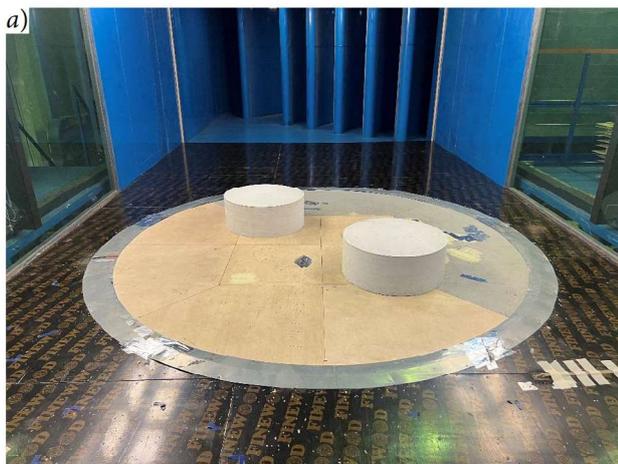


Рис. 1. Исследуемая модель в рабочей зоне аэродинамической трубы: а — компоновка 4; б — компоновка 6

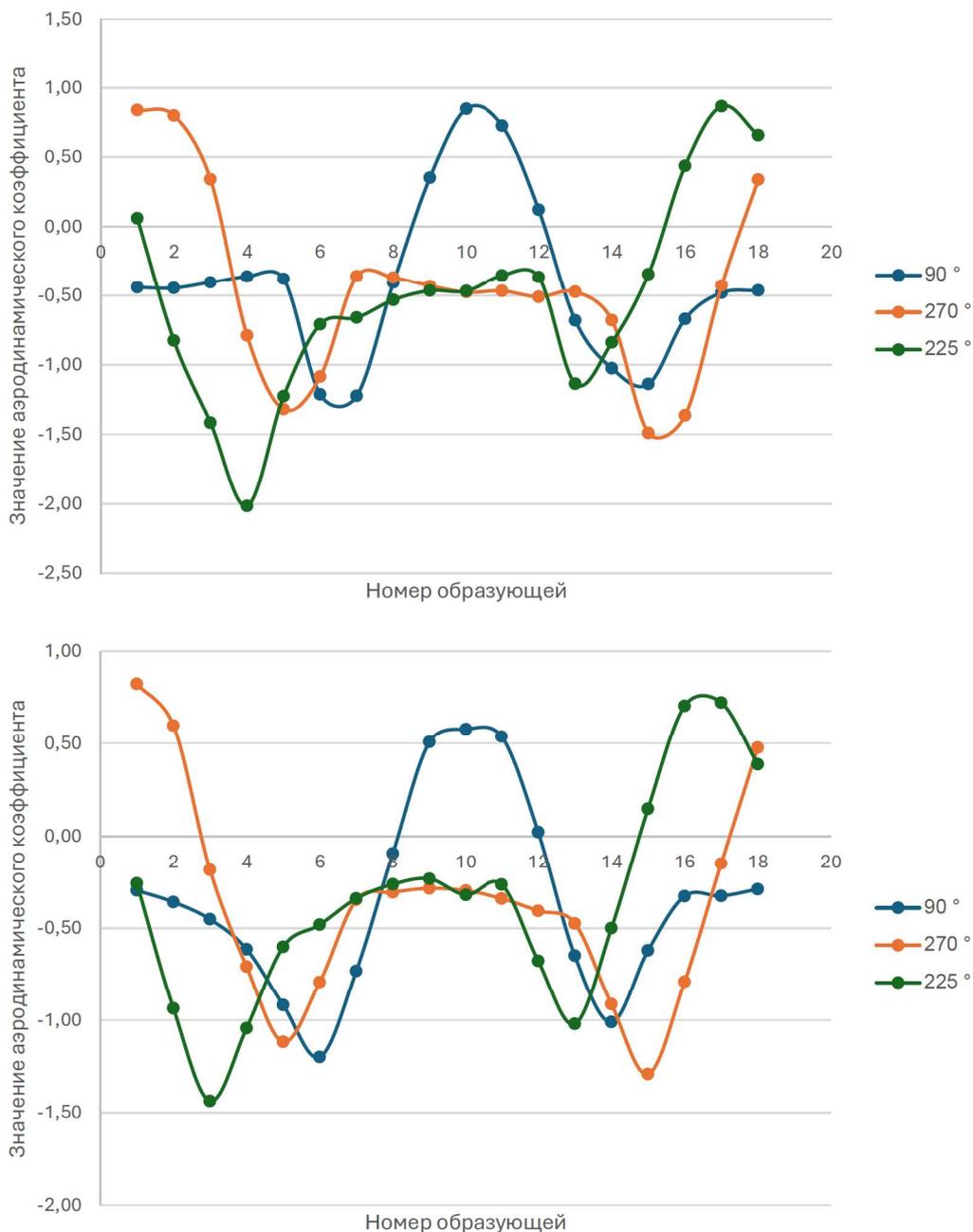


Рис. 2. Значения аэродинамических коэффициентов в контрольных точках на поверхности модели при различных углах атаки: а — компоновка 4; б — компоновка 6

важное значение при оценке ветрового воздействия на группы резервуаров, так как в большинстве рассмотренных вариантов компоновок для ортогональных продольной оси направлений ветрового потока локальное увеличение значений аэродинамических коэффициентов наблюдается на боковой по-

верхности в области поджатия ветрового потока между резервуарами (эффект Вентури). При этом качественная картина распределения соответствует априорным представлениям об обтекании резервуаров ветровым потоком и справочным рекомендациям, что подтверждает достоверность исследований.

Наибольшую важность представляет оценка критических направлений ветрового потока, при которых возникают экстремальные значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления. На основании результатов исследований видно, что ввиду интерференции и различной формы рассматриваемых резервуаров даже для резервуаров РВС 30000 и РВС 20000, имеющих одинаковый диаметр, критические направления отличаются (рис. 3).

Анализ полученных результатов показывает существенное перераспределение аэродинамических коэффициентов внешнего давления в зависимости от угла атаки.

При этом для резервуаров РВС 50000 и РВС 20000 значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления превышают нормативные не более чем на 10 %. В случае с резервуарами типа РВС 30000 превышение составляет уже 50 %, что необходимо учитывать при проектировании.

Таким образом, на основании анализа результатов, а также параметров исследуемых

резервуаров рекомендуется, помимо регламентированного в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» параметра расстояния между резервуарами, учитывать параметр отношения диаметра резервуара к его высоте d/h . Существенное влияние интерференции между резервуарами, при котором требуется проведение дополнительных исследований, возникает при их расположении на расстоянии менее $3d$ при соотношении d/h менее 3,5 (здесь d — максимальный диаметр цилиндрических сооружений).

Отдельные рекомендации по назначению аэродинамических коэффициентов c_{min} и c_h для крупногабаритных вертикальных стальных резервуаров при $Re \geq 10^7$, расположенных в группах по 2 шт., полученные в рамках настоящего исследования, приведены в табл. 2.

Выводы

На основании экспериментальных исследований выявлены основные параметры резервуаров и их схем компоновки в группах, которые оказывают влияние на распре-

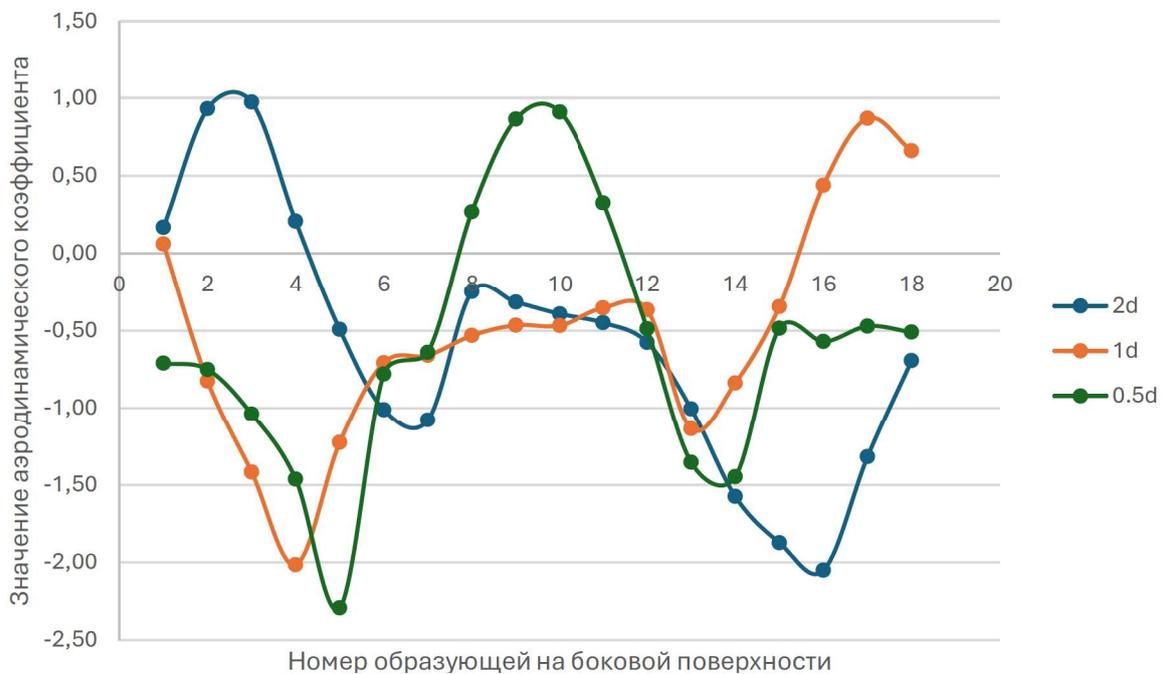


Рис. 3. Значения аэродинамических коэффициентов в контрольных точках на поверхности модели при критических углах атаки для различных вариантов компоновки. Тип резервуара — РВС 30000

Таблица 2
Значения коэффициентов c_{\min} и c_h
для крупногабаритных вертикальных стальных
резервуаров при $Re \geq 10^7$

d/h	l	c_{\min}	c_h
$\geq 3,5$	$2d$	-1,6	-0,8
	$1d$		
	$0,5d$		
$3,5 \geq d/h \geq 2,5$	$2d$	-2,0	-0,8
	$1d$	-2,0	-0,8
	$0,5d$	-2,3	-0,8

деление аэродинамических коэффициентов внешнего давления по их поверхности. Установлено, что в отдельных случаях расположение резервуаров в группах по 2 шт. приводит к увеличению экстремальных значений аэродинамических коэффициентов внешнего давления на боковой поверхности резервуара на величину порядка 50 %, что необходимо учитывать при их проектировании.

В результате исследований распределения ветровой нагрузки по покрытиям резервуаров различных типов установлено, что для назначения нагрузки на покрытие не рекомендуется использовать схему В.1.12 «Сооружения и конструктивные элементы с круговой цилиндрической поверхностью» СП 20.13330.2016. Данная схема предполагает равномерное распределение ветровой нагрузки по покрытию, в то время как результаты исследований показывают неравномерность и существенное нарастание ветровой нагрузки в наветренной зоне покрытия.

При назначении ветровой нагрузки на покрытие рекомендуется использовать схему В.1.4 «Круглые в плане здания с купольными покрытиями», рекомендуемые значения аэродинамического коэффициента в наветренной зоне покрытия также существенно зависят от соотношения d/h .

Экстремальные значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления на боковой поверхности резервуара для исследованных типов резервуаров следующие:

при $d/h \geq 3,5$ $c_{\min} = -2,3$;

при $3,5 \geq d/h \geq 2,5$ $c_{\min} = -1,6$.

Исследования, выполненные в рамках настоящей работы, необходимо расширять и дополнять в части оценки ветровых воздействий на резервуары других типов, а также на другие компоновки.

Библиографический список

1. Portela G., Godoy L. A. Shielding effects and buckling of steel tanks in tandem arrays under wind pressures // Wind and Structures. 2005. Vol. 8 (5). Pp. 325–342.
2. Portela G., Godoy L. A. Wind pressure and buckling of grouped steel tanks // Wind and Structures. 2007. Vol. 10 (1). Pp. 23–44.
3. Liu Q., Zhao Y., Cai S., Dong S. Wind loads and wind-resistant behaviour of large cylindrical tanks in square-arrangement group. Part 1: Wind tunnel test // Wind and Structures. 2020. Vol. 31 (6). Pp. 483–493.
4. Liu Q., Zhao Y., Cai S., Dong S. Wind loads and wind-resistant behaviour of large cylindrical tanks in square-arrangement group. Part 2: CFD simulation and finite element analysis // Wind and Structures. 2020. Vol. 31 (6). Pp. 495–508.
5. Hong-quan R. Numerical Simulation of Flow Characteristics around Storage Tanks in Tandem and Side-by-side Arrangement in Strong Wind Area // Journal of Highway and Transportation Research and Development. 2014. URL: <http://semanticscholar.org/paper/99b98bc19148f1dc6f223beb20db6e58ff4ac8e5>
6. Ивченко Ю. В. Особенности поведения вертикальных цилиндрических резервуаров при ветровой нагрузке // Вісник ПДАБА. 2012. № 11 (176). С. 27–30.
7. Liu X. Wind loads on multiple cylinders arranged in tandem with effects of turbulence and surface roughness. LSU Master's Theses. 2003.
8. Zinchenko A., Krot P. V., Baiul K., Wróblewski A., Banasiewicz A. On Shadowing Effects in the Flow around the Group of Circular Cylinders in the Geotechnical Applications // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1189 (1).
9. Uematsu Y., Yasunaga J. Wind Loads on Open-topped Oil-storage Tanks in Various Arrangements // 6th European and African Conference on Wind Engineering. 2012.
10. Степанов Р. Н., Роменский Д. И., Муцанов В. Ф., Зубенко А. В., Цепляев М. Н. Ветровая нагрузка на вертикальный цилиндрический резервуар // Науковедение. 2017. Т. 9, № 6. 13 с.
11. Мосолов Г. В., Кузнецова А. В. Воздействие ветровых нагрузок на группы вертикальных стальных резервуаров // Наука и технологии трубопроводного

транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13, № 4. С. 321–320.

12. Поддаева О. И. Основы обеспечения техно-сферной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры в пределах жизненно-го цикла: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2022. 268 с.

References

1. Portela G., Godoy L. A. Shielding effects and buckling of steel tanks in tandem arrays under wind pressures. *Wind and Structures*, 2005, vol. 8 (5), pp. 325–342.

2. Portela G., Godoy L. A. Wind pressure and buckling of grouped steel tanks. *Wind and Structures*, 2007, vol. 10 (1), pp. 23–44.

3. Liu Q., Zhao Y., Cai S., Dong S. Wind loads and wind-resistant behaviour of large cylindrical tanks in square-arrangement group. Part 1: Wind tunnel test. *Wind and Structures*, 2020, vol. 31 (6), pp. 483–493.

4. Liu Q., Zhao Y., Cai S., Dong S. Wind loads and wind-resistant behaviour of large cylindrical tanks in square-arrangement group. Part 2: CFD simulation and finite element analysis. *Wind and Structures*, 2020, vol. 31 (6), pp. 495–508.

5. Hong-quan R. Numerical Simulation of Flow Characteristics around Storage Tanks in Tandem and Side-by-side Arrangement in Strong Wind Area. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2014. Available at: [semanticscholar.org/paper/99b98bc19148f1dc6f223beb20db6e58ff4ac8e5](https://www.semanticscholar.org/paper/99b98bc19148f1dc6f223beb20db6e58ff4ac8e5).

6. Ivchenko Yu. V. *Osobennosti povedeniya vertikal'nykh tsilindricheskikh rezervuarov pri vetrovoy nagruzke* [Features of behavior of vertical cylindrical tanks

under wind loading]. *Visnik PDABA*, 2012, no. 11 (176), pp. 27–30.

7. Liu X. Wind loads on multiple cylinders arranged in tandem with effects of turbulence and surface roughness. *LSU Master's These*, 2003.

8. Zinchenko A., Krot P. V., Baiul K., Wróblewski A., Banasiewicz A. On Shadowing Effects in the Flow around the Group of Circular Cylinders in the Geotechnical Applications. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1189 (1).

9. Uematsu Y., Yasunaga J. Wind Loads on Open-Topped Oil-storage Tanks in Various Arrangements. *Proceedings of the 6th European and African Conference on Wind Engineering*, 2012.

10. Stepanov R. N., Romenskiy D. I., Mushchanov V. F., Zubenko A. V., Tseplyaev M. N. *Vetrovaya nagruzka na vertikal'niy tsilindricheskii rezervuar* [Wind load on a vertical cylindrical tank]. *Naukovedenie – Science studies*, 2017, vol. 9, no. 6, 13 p.

11. Mosolov G. V., Kuznetsova A. V. *Vozdeystvie vetrovykh nagruzok na gruppy vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov* [Impact of wind loads on groups of vertical steel tanks]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov – Science and Technology of Pipeline Transportation of Oil and Petroleum Products*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 321–320.

12. Poddaeva O. I. *Osnovy obespecheniya tekhnosfernoy bezopasnosti kriticheski vazhnykh ob'ektov transportnoy infrastruktury v predelakh zhiznennogo tsikla. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Fundamentals of technosphere security of critical objects of transport infrastructure within the life cycle. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2022, 268 p.