



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2022, ТОМ 28, НОМЕР 3, 141–153

EDN: **OLDLTU**

УДК 624.97:624.042.041

(22)-0445-1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БАШЕННУЮ КАРКАСНО-ОБШИВНУЮ МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ГРАДИРНЮ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С УЧЕТОМ МОНТАЖНЫХ СТАДИЙ

С. О. Титков

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: titkov7777@yandex.ru*

Получена 22 августа 2022; принята 09 сентября 2022.

Аннотация. В статье представлены результаты проведенного исследования ветрового воздействия на двенадцатигранную башенную каркасно-обшивную металлическую градиРНю пирамидальной формы. Под экспериментальными исследованиями подразумевается проведение ряда исследований, которые дополняют друг друга и помогают выстроить ход проведения дальнейших исследований, восполнить данные либо опровергнуть поставленные гипотезы и предпосылки обтекания ветровым потоком зданий и сооружений. Приведены результаты проведенных дренажных экспериментов по нахождению локальных коэффициентов C_{pi} в характерных сечениях испытуемой модели по внутреннему и наружному контуру градиРни. Результаты проведенных качественных экспериментов по визуализации ветрового воздействия получены посредством метода лазерного ножа. Данная работа проводилась с целью нахождения эпюр ветрового воздействия на пирамидальную башенную каркасно-обшивную металлическую градиРНю с учетом сезонной работы данного сооружения, а также в период монтажа от замыкания к замыканию контура яруса для выявления наиболее неблагоприятных расчетных ситуаций влияния ветрового воздействия.

Ключевые слова: башенная металлическая градиРНя, гиперболическая форма, тензометрические весы, локальный коэффициент, велосиметрия, теневой метод.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА КАРКАСНО-ОБШИВНУ БАШТОВУ МЕТАЛЕВУ ГРАДИРНЮ ПІРАМІДАЛЬНОЇ ФОРМИ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ З УРАХУВАННЯМ МОНТАЖНИХ СТАДІЙ

С. О. Тітков

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: titkov7777@yandex.ru*

Отримана 22 серпня 2022; прийнята 09 вересня 2022.

Анотація. У статті наведено результати проведеного дослідження вітрового впливу на дванадцятигранну баштову каркасно-обшивну металеву градиРНю пірамідальної форми. Під експериментальними дослідженнями мається на увазі проведення низки досліджень, які доповнюють один одного і



допомагають побудувати хід проведення подальших досліджень, доповнити дані або спростувати поставлені гіпотези та передумови обтікання вітровим потоком будівель та споруд. Наведено результати проведених дренажних експериментів з знаходження локальних коефіцієнтів C_{pi} у характерних перерізах випробуваної моделі за внутрішнім та зовнішнім контуром градирні. Результати проведених якісних експериментів із візуалізації вітрового впливу отримані методом лазерного ножа. Дана робота проводилася з метою знаходження епюр вітрового впливу на пірамідальну баштову каркасно-обшивну металеву градирню з урахуванням сезонної роботи даної споруди, а також у період монтажу від замикання до замикання контуру ярусу для виявлення найбільш несприятливих розрахункових ситуацій впливу вітрової дії.

Ключові слова: баштова металева градирня, гіперболічна форма, тензометричні ваги, локальний коефіцієнт, велосиметрія, тіньовий метод.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WIND EFFECT ON A FRAME-SHEATHED METAL PYRAMIDAL COOLING TOWER IN A WIND TUNNEL, TAKING INTO ACCOUNT THE INSTALLATION STAGES

Sergey Titkov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.
E-mail: titkov7777@yandex.ru*

Received 22 August 2022; accepted 09 September 2022.

Abstract. The article presents the results of a study of the wind impact on a dodecahedral frame-sheathed metal cooling tower of a pyramidal shape. Experimental studies mean a series of studies that complement each other and help build the course of further research, complete the data or refute the hypotheses and prerequisites for wind flow around buildings and structures. The results of the conducted drainage experiments on finding the local C_{pi} coefficients in the characteristic sections of the tested model along the inner and outer contours of the cooling tower are presented. The results of the qualitative experiments on the visualization of the wind effect by the laser knife method. This work was carried out in order to find diagrams of the wind effect on the pyramidal frame-sheathed metal cooling tower, taking into account the seasonal operation of this structure, as well as during the installation period from closing to closing the tier contour to identify the most unfavorable design situations of the influence of wind action.

Keywords: metal cooling tower, hyperbolic shape, load-cell scales, local coefficient, velocimetry, shadow method.

Введение

Исследование обтекания ветровым потоком зданий и сооружений проводится в аэродинамических трубах малых дозвуковых скоростей. Аэродинамическая труба – это установка, в которой моделируется искусственный прямолинейно направленный поток воздуха, направленный на установленную испытываемую модель. Для исследования обтекания зданий и сооружений используют метеорологические аэродинамические трубы, в которых моделируется приземный пограничный слой ветрового потока. В аэродинамических трубах получают значения полного дав-

ления по средствам проведения весовых тензометрических экспериментов, получение локальных коэффициентов давления в исследуемых областях испытываемой модели по средствам дренажных экспериментов, изучение характера набегающего ветрового потока на модель и получение характеристических данных обтекания испытываемой модели и образование завихрений посредством теневых методов или приближенного метода оценки завихрений метода шелковинки.

Перечисленные методы и данные, полученные при помощи перечисленных экспериментальных

исследований, должны выполняться и анализироваться в комплексе для получения полной картины влияния ветрового потока на модель сооружения. Но выполнение полного комплекса исследования зачастую очень трудоемко. Трудоемкость в проведении данных исследований складывается из:

- разработка и изготовление испытываемой модели;
- масштабирование испытываемой модели;
- проведение весовых тензометрических испытаний для предварительной оценки отклика модели и выбора скорости потока воздуха, при котором выполняется критерий подобия по Re [5; 10; 11; 13; 15].
- выбор количества и расстановки датчиков для определения локальных аэродинамических коэффициентов в характерных точках или областях испытываемой модели [13; 15].
- визуализация ветрового потока теневыми методами для определения характера обтекания испытываемой модели и подбора теории распределения для проведения численных расчетов [13–15].

От полноты проведения экспериментальных исследований зависит точность проведения верификационных численных исследований и выбора расчетно-теоретических предпосылок. Зачастую при проведении экспериментальных исследований по нахождению и оценке локальных коэффициентов ветрового давления мы ограничены количеством имеющихся в наличии интегрированных датчиков локального давления. При увеличении количества исследуемых точек увеличивается объем обрабатываемых данных. Соответственно увеличивается трудоемкость, время обработки и получения экспериментальных данных. Затрудняется представление полученных данных.

В этом случае нам помогают расчетные комплексы, в которых проводятся численные исследования влияния ветрового потока на испытываемую модель. Численные исследования рекомендуется выполнять на этапе планирования эксперимента для выбора масштаба и модельного ряда испытываемых моделей, а также выбора характерных точек исследования и верификации численного эксперимента с проведенными испытаниями в аэродинамической трубе. Численные методы исследования позволяют нам уменьшить тру-

доемкость проведения аэродинамических исследований путем численного моделирования характеристик аэродинамической трубы, профиля потока набегающего воздуха и характеристик испытываемой модели, а также выбранной теории расчета. Расчетные комплексы позволяют нам оценить сходимость в выбранных исследуемых точках и получить полную картину обтекания всей модели с различными визуальными эффектами.

Объектом исследования

Башенная металлическая градирня площадью орошения $1\,600\text{ м}^2$ пирамидальной формы с естественной тягой воздуха [4; 6–9; 12].

Предметом исследования в данной работе являются закономерности изменения аэродинамических коэффициентов для отдельно стоящей каркасно-обшивной металлической градирни с учетом монтажных стадий.

Цель проведенного исследования

Нахождение экспериментальным путем действительных эпюр ветрового воздействия на пирамидальную башенную каркасно-обшивную металлическую градирню в период монтажа для выявления наиболее неблагоприятных расчетных ситуаций влияния ветрового воздействия.

Основная часть

Проведены дренажные испытания для нахождения локальных аэродинамических коэффициентов по внешнему и внутреннему контуру каждого яруса башенной градирни. На рис. 1 представлена уточненная модель башенной металлической каркасно-обшивной градирни пирамидальной формы с числом граней в плане 12 в масштабе 1:180 с соблюдением геометрического критерия подобия. Данная модель выполнена с открытыми подкрылками у основания вытяжной башни и отражает период эксплуатации данного сооружения в летний период времени.

На рис. 2 представлены сводные график распределения C_{p1} по внешнему контуру двенадцатигранной каркасно-обшивной градирни пирамидальной формы направление ветра на грань. Приведенные сводные графики распределения аэродинамических коэффициентов по

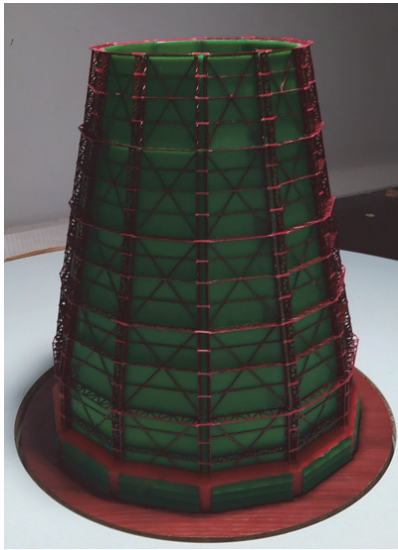


Рисунок 1. Макет башенной металлической двенадцатигранной градирни пирамидальной формы площадью орошения 1 600 м² расположенный в рабочей части МАТ-1 (летний период эксплуатации).

пяти ярусам наиболее характерно отражают картину обтекания ветровым потоком данного сооружения. Рис. 2 с максимальными значениями отражает пульсационную составляющую при сходе вихря. На графике максимальное значение активного давления составило +1,41, минимальное –1,8 представляет собой область, в которой образуется и в последующем сходит вихрь. Протяженность области отрицательного давления составляет 10 градусов, от 38 до 58 градусов присутствуют характерные отклонения от нормального

распределения при сравнении с распределением ветрового давления с цилиндром, которые не отражаются в нормах [1–3].

Для данного вида сооружений регламентируется проведение продувок в аэродинамической трубе на грань и на ребро БМГ. На рис. 3 приведены результаты проведенного экспериментального исследования при набегании ветрового потока на ребро. Зона активного давления находится от 0 до 20 градусов с максимальным значением локального коэффициента +1,08. Область схода вихря с максимальным отрицательным давлением –2,17 находится в пределах от 48 до 90 градусов. Также наблюдается область, в которой появляется малый вихрь, протяженность области 29 градусов, на графике данная область лежит в пределах от 20 до 49 градусов. На протяжении всего времени показатель давления стабильно с отрицательным давлением.

При проведении экспериментальных исследований также проводились измерения показателей локальных аэродинамических коэффициентов по внутреннему контуру БМГ.

На рис. 4, 5 представлены графики распределения внутреннего давления по контуру обшивки градирни. Согласно нормам проектирования [1–3] при проектировании башенных металлических градирен данный коэффициент принимается равным 0,5 при эксплуатации в летний период времени и 0,8 при эксплуатации в зимний период времени. По полученным экспериментальным данным на рис. 4б осредненный аэродинамический коэффициент по контуру

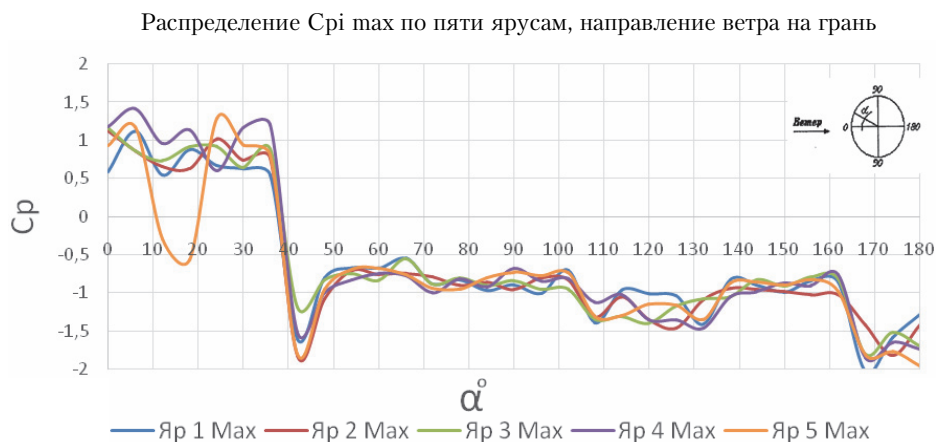


Рисунок 2. Распределение $C_{pi\ max}$ по внешнему контуру БМГ, направление ветра на грань (летний период эксплуатации).



Рисунок 3. Распределение C_{pi} max по внешнему контуру БМГ, направление ветра на ребро (летний период эксплуатации).

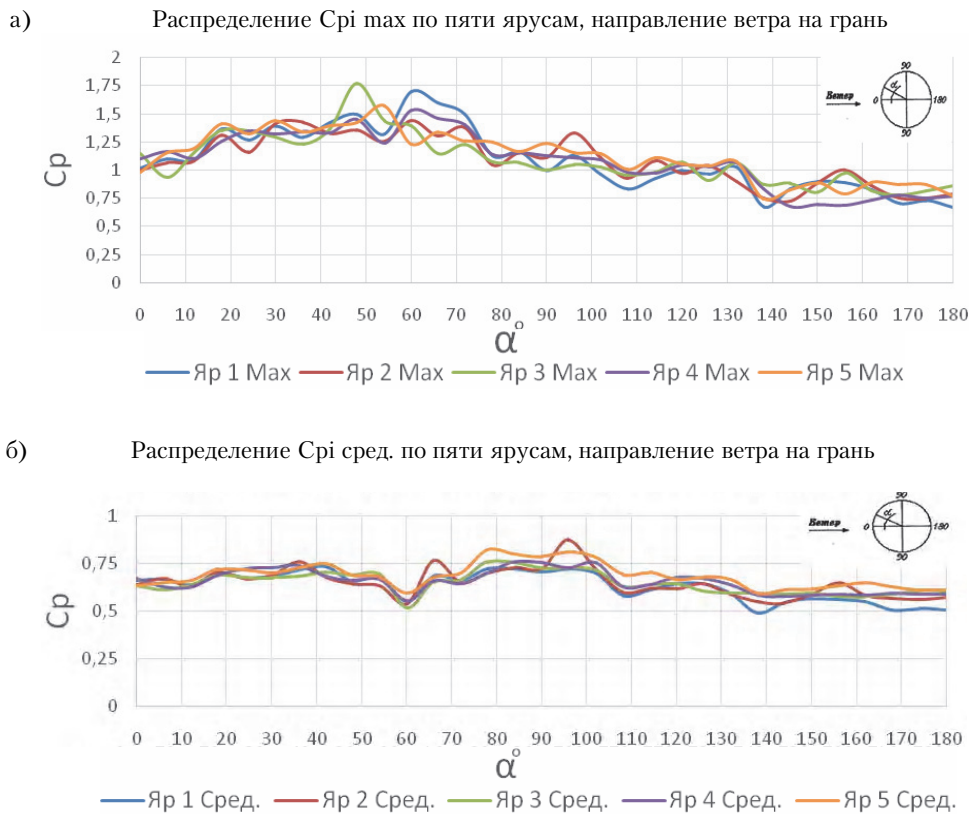


Рисунок 4. Распределение C_{pi} летний период эксплуатации, направление ветра на грань: а) распределение C_{pi} max по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань; б) распределение C_{pi} сред. по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань.

обшивки колеблется в районе от 0,5 до 0,83. Следовательно, в нормах [1–3] приведен осредненный показатель аэродинамических коэффициентов. Но с учетом пульсационной составляющей по экспериментальным данным при продувке на грань коэффициент колеблется от 0,5 до

1,1 (рис. 4а) для летнего периода эксплуатации и на ребро от 0,69 до 1,7 (рис. 5).

В нормативных документах регламентируется сезонность работы БМГ применением локального аэродинамического коэффициента внутреннего давления, равным 0,8. Зимний период



Рисунок 5. Распределение C_{pi} летний период эксплуатации, направление ветра на ребро. Распределение C_{pi} max по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на ребро.

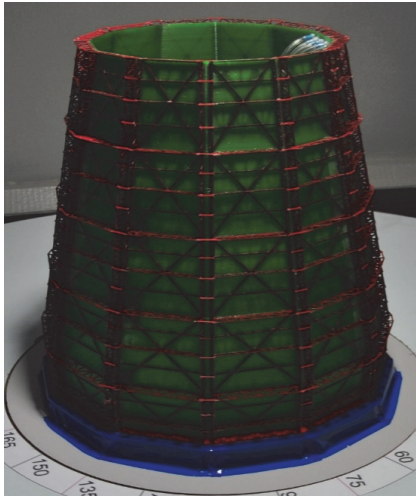


Рисунок 6. Макет башенной металлической двенадцатигранной градири пирамидальной формы площадью орошения 1 600 м² расположенный в рабочей части МАТ-1 (зимний период эксплуатации).

эксплуатации отличается от летнего тем, что в зимний период времени окна, через которые поступает воздух, закрываются для уменьшения ветрового потока, который приводит к активному обледенению конструкций оросителя. С учетом данной особенности также проводились аэродинамические продувки в трубе разработанной модели (рис. 6).

На рис. 7 представлено распределение локальных аэродинамических коэффициентов по внешнему контуру БМГ в зимний период времени с набеганием ветрового потока на грань. Показатели C_{pi} в зимний период эксплуатации не превышают показатели летнего режима работы. При продувке на ребро рис. 9 отсутствует ярко выраженная зона схода вихря, но неизменным остается область активного давления, которая также не превышает показатели летнего периода.

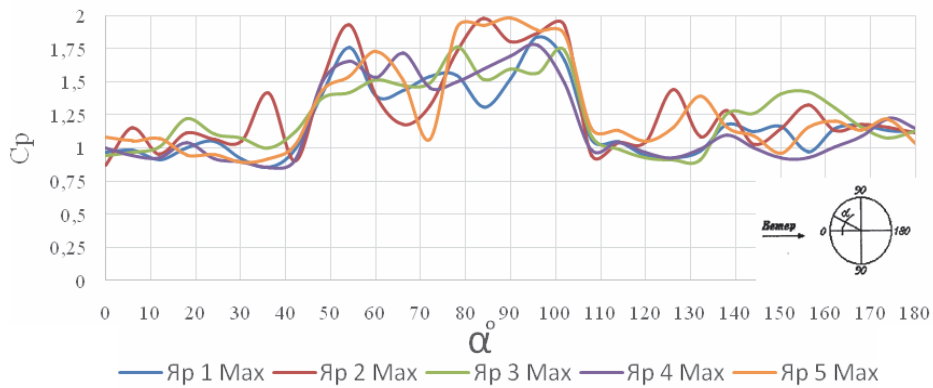


Рисунок 7. Распределение C_{pi} в зимний период эксплуатации. Распределение C_{pi} max по внешнему контуру БМГ, направление ветра на грань.

Осреднённые показатели локальных аэродинамических коэффициентов внутреннего давления колеблется в пределах 0,8 (рис. 8б, 10б), что

также соответствует значению, приведённому в нормативных документах. Максимальные значения по экспериментальным данным при продувке

а) Распределение $C_{pi} \max$ по пяти ярусам, направление ветра на грань



б) Распределение $C_{pi} \text{ сред.}$ по пяти ярусам, направление ветра на грань

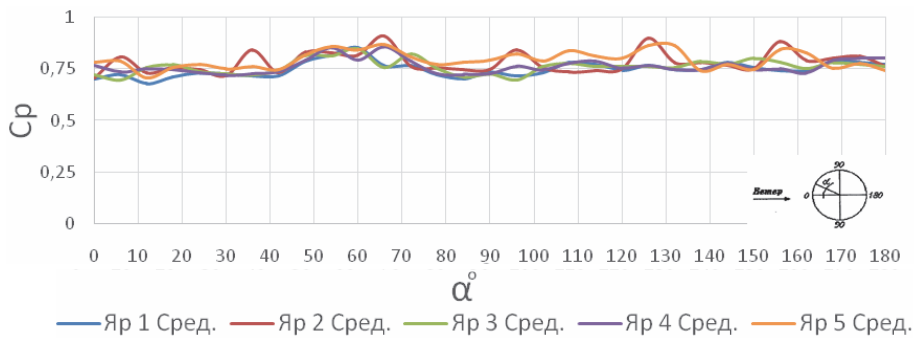


Рисунок 8. Распределение C_{pi} в зимний период эксплуатации: а) распределение $C_{pi} \max$ по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань; б) распределение $C_{pi} \text{ сред.}$ по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань.

Распределение $C_{pi} \max$ по пяти ярусам, направление ветра на ребро

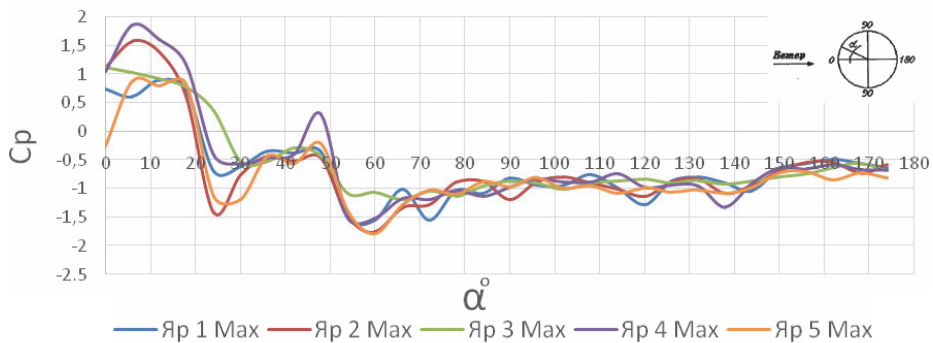


Рисунок 9. Распределение C_{pi} в зимний период эксплуатации. Распределение $C_{pi} \max$ по внешнему контуру БМГ, направление ветра на ребро.

на грань колеблется от 0,89 до 1,98 (рис. 8а) при продувке на ребро от 0,83 до 2,1 в зимний период времени (рис. 10а).

Проведены экспериментальные исследования влияния ветрового потока на этапах возведения БМГ на модельный ряд, представленный на рис. 11, описание каждой из стадий представлено в табл.

Выявлена монтажная стадия замыкания карт четвертого яруса БМГ (рис. 12) с нехарактерным распределением локальных аэродинамических коэффициентов, отличающаяся от распределения в стадии эксплуатации. Область активного давления от 0 до 38 градусов с максимальным локальным коэффициентом +1,01, также наблюдается смещение области с пиковыми

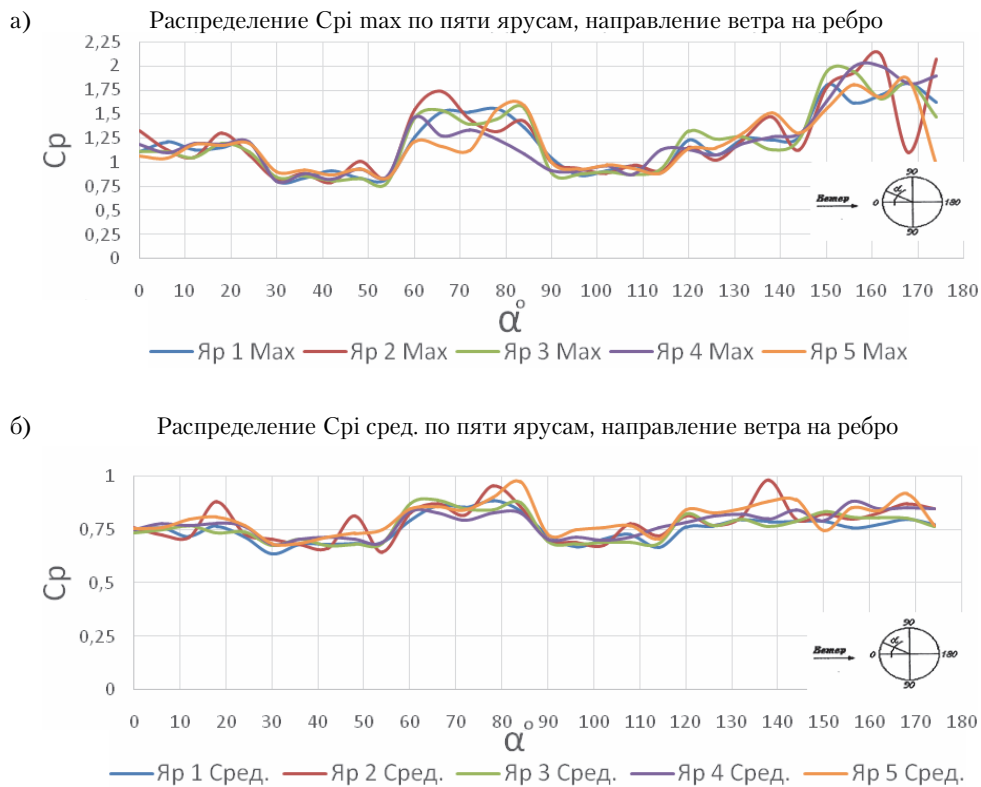


Рисунок 10. Распределение C_{p1} в зимний период эксплуатации: а) распределение C_{p1} max по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на ребро; б) распределение C_{p1} сред. по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на ребро.

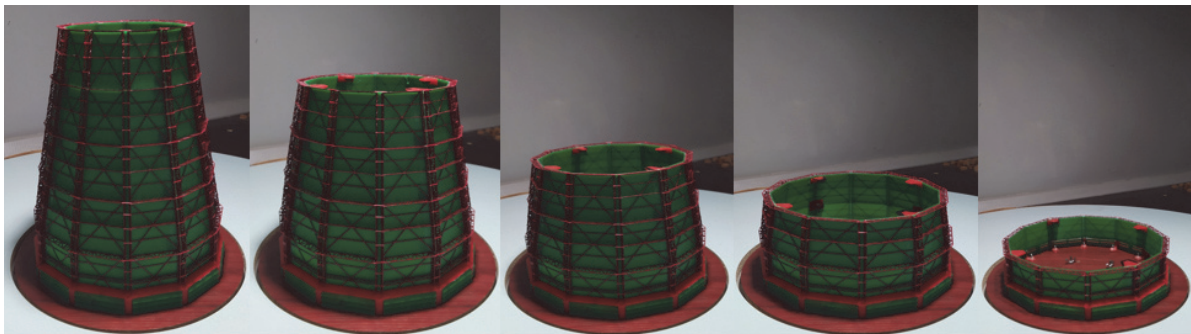


Рисунок 11. Модельный ряд десятигранной градирни с учетом монтажных стадий.

Таблица. Вариации моделей сооружения

№ п/п	Геометрические характеристики модели	Стадия эксплуатации
1.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 55 м	Эксплуатация в летний период (открытие подкрылки)
2.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 55 м	Эксплуатация в зимний период (закрытие подкрылки)
3.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 11 м	Монтажная стадия 1 (закрывание первого яруса карт)
4.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 22 м	Монтажная стадия 2 (закрывание второго яруса карт)
5.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 33 м	Монтажная стадия 3 (закрывание третьего яруса карт)
6.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 44 м	Монтажная стадия 4 (закрывание четвертого яруса карт)
7.	Градирня пирамидальная 12 граней h = 55 м	Монтажная стадия 5 (закрывание пятого яруса карт отсутствуют подкрылки)



Рисунок 12. Распределение $C_{p1} \max$ по внешнему контуру БМГ, направление ветра на грань (монтажная стадия замыкания карт четвертого яруса).

отрицательными значениями. Область схода вихря находится в пределах от 40 до 65 градусов с максимальным значением локального коэффициента $-1,19$. При анализе экспериментальных данных распределения C_{p1} по наружному контуру с учетом монтажных стадий не выявлено значений, превышающих эксплуатационные стадии, но наблюдается смещение областей активного и пассивного давления. Распределение пикового давления по внутреннему контуру (рис. 13а) колеблется от 0,41 до 4,5. Осреднённые показатели давления внутреннего контура колеблется в пределах 0,5 (рис. 13б). Стадии монтажа при замыкании карт от первого до третьего ярусов имеют такой же характер распределения, как и у монтажной стадии четыре, но в значительной мере меньшими пока-

зателями локальных аэродинамических коэффициентов.

Предлагаемые графики для данного вида сооружений, представленные в нормативных документах [1–3], сглаженные и не имеют подобных отклонений, которые наблюдаются в отрицательной области пиковых значений при сходе вихря. При первом рассмотрении данного явления можно оценить данные отклонения как ошибку. Но проведя визуализацию потока с высокоскоростной видеофиксацией и дальнейшей раскадровкой полученного видео, становится понятна природа появления данных отклонений. При зарождении большого вихря и до его отрыва от грани модели поверх большого вихря происходит сход трех маленьких вихрей, которые видны на рис. 3 максимальных значений в виде

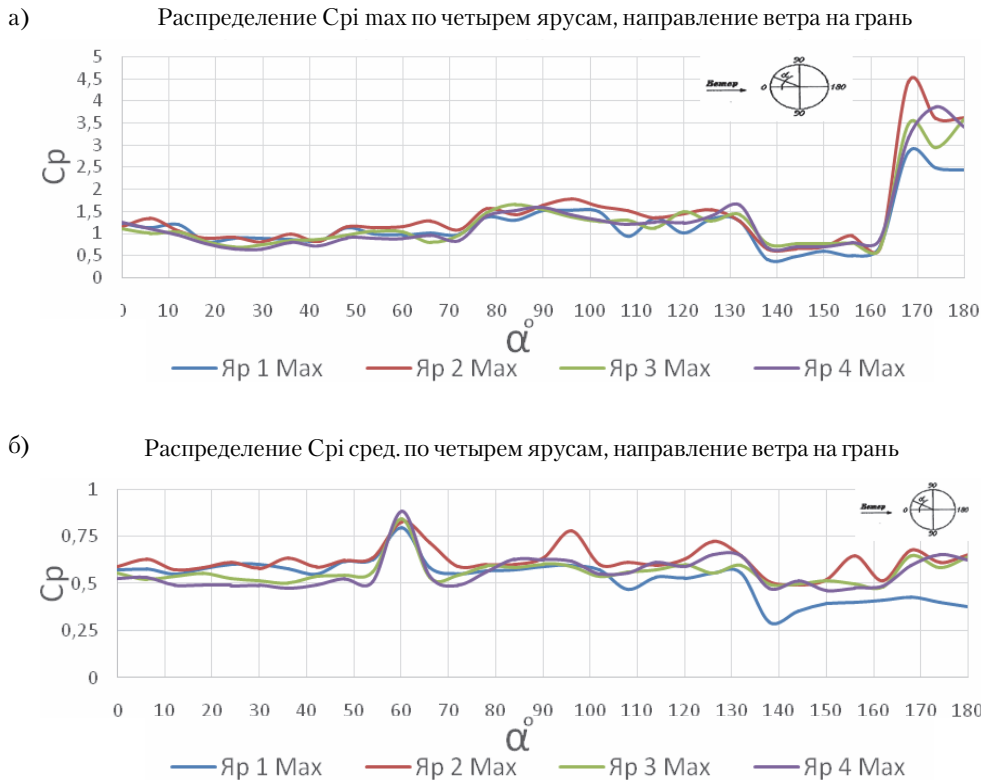


Рисунок 13. Распределение C_{pi} монтажная стадия замыкания карт четвертого яруса, направление ветра на грань: а) распределение $C_{pi} \max$ по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань; б) распределение $C_{pi} \text{ сред}$ по внутреннему контуру БМГ, направление ветра на грань.

минимумов на отрезке от 38 до 58 градусов при пульсации.

Для оценки характера течения ветрового потока вблизи модели и выбора теории обтекания тела выполнено экспериментальное исследование теньевым методом, результаты которого приведены на рис. 14–17.

Данным методом определялся характер обтекания башенной металлической двенадцатигранной градирни пирамидальной формы. На рисунке 14 приведено обтекание ветровым потоком градирни относительно плоскости XOZ с образованием малого вихря за моделью. На рисунке 15 также приведено обтекание относительно плоскости XOZ , но в данном случае анализируется сама работа данного сооружения, так как у горловины трубы образуется повышенное разряжение, происходит подсос дыма через нижние окна башни. На рисунке 16 приведена визуализация ветрового потока относительно плоскости XOY , где отчетливо видно образование большого вихря позади модели.

На рис. 17 приведена визуализация потока относительно XOY , но съемка выполнена со стороны, где отчетливо наблюдается сход малого вихря. При данном анализе и покадровом просмотре видео с частотой кадров 240 к/сек выявлены поочередные сходы трех малых вихрей, а затем образования большого вихря позади объекта. Исходя из анализа характера обтекания башенной металлической градирни, при расчете численным методом применима теория малых вихрей и теория больших вихрей. В дальнейшем в численном эксперименте анализируется вклад в нагрузку образования больших и малых вихрей.

Заключение

Дренажные экспериментальные исследования с учетом плотной расстановки датчиков позволили уловить и оценить вклад, вносимый сходом малых вихрей, а визуализация ветрового потока позволила правильно воспринять полученные явления.

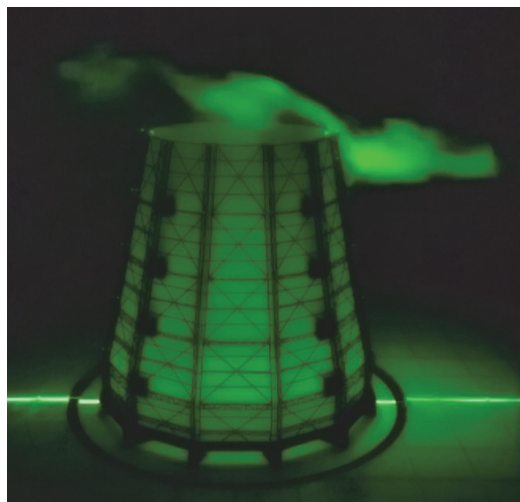


Рисунок 14. Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости XOZ, подача дыма на вытяжную башню.

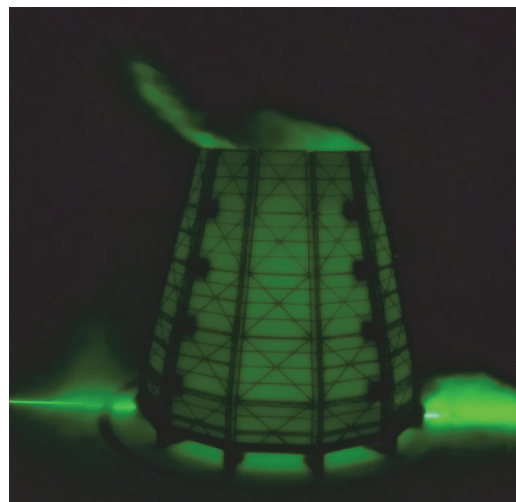


Рисунок 15. Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости XOZ, подача дыма по низу башни.

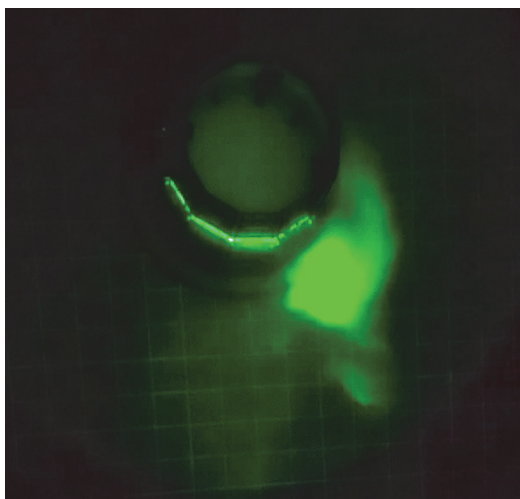


Рисунок 16. Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости XOY, подача дыма на вытяжную башню.

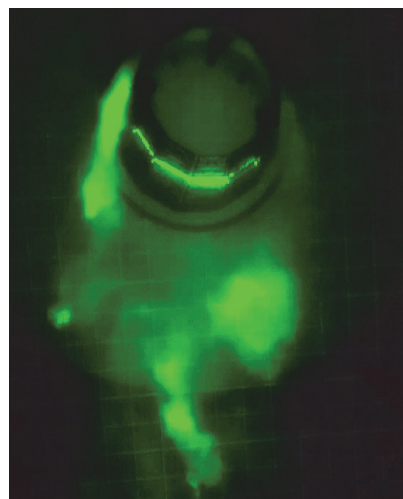


Рисунок 17. Визуализация обтекания ветрового потока изометрия, подача дыма на вытяжную башню.

Исходя из проанализированных монтажных стадий не выявлено превышений показателей локальных аэродинамических коэффициентов относительно стадий эксплуатации, изменяется характер распределения по контуру.

Для более исчерпывающей оценки монтажной стадии требуется выполнить ряд прочностных расчетов для оценки влияния полученных

эпюр распределения ветрового воздействия на напряженно-деформированное состояние в период эксплуатации и монтажа.

Получены достоверные экспериментальные данные, позволяющие на их основе проводить проектирование либо оценку остаточного ресурса башенных металлических отдельно стоящих градирен.

Литература

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр. : на замену СП 20.13330.2011 : дата введения 2017-06-04 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО Минстроя России, 2016. – 110 с. – Текст : непосредственный.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1: видання офіційне : затверджено та надано чинності Наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 13 серпня 2007 р. № 143 : СНиП 2.01.07-85 (за винятком розділу 10) : надано чинності 2007-10-01 / розроблено ВАТ «Укрдипроєктстальконструкція ім. В. М. Шимановського». – Київ : Мінбуд України, 2007. – 75 с. – Текст : непосредственный.
3. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия = Buildings and structures. Accidental actions : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2017 г. № 1105/пр : введен впервые : дата введения 2018-02-04 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва : Минстрой России, 2017. – 23 с. – Текст : непосредственный.
4. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) : утверждено приказом ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР от 20 марта 1985 г. № 27 : введен впервые : дата введения 1985-03-20 / разработано ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1985. – 133 с. – Текст : непосредственный.
5. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика тел вращения / Н. Ф. Краснов. – Москва : Издательство «Машиностроение», 1964. – 567 с. – Текст : непосредственный.
6. Гореев, В. В. Специальные конструкции и сооружения / В. В. Гореев. – Москва : Высшая школа, 2002. – 539 с. – Текст : непосредственный.
7. Гордеев, В. Н. О выборе оптимальных очертаний башни / В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг, М. П. Кондра. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1969. – № 6. – С. 59–61.
8. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий : справочное пособие / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. –

References

1. SP 20.13330.2016. Loads and actions. – Moscow : V. A. Kucherenko CSRIBS JSC Ministry of Construction of Russia, 2016. – 110 p. – Text : direct. (in Russian)
2. DBN V.1.2-2:2006. The system for ensuring the reliability and safety of construction sites. Loads and impacts. Design standards. Change № 1. – Kiev : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2007. – 75 p. – Text : direct. (in Ukrainian).
3. SP 296.1325800.2017. Buildings and structures. Accidental actions. – Moscow : Ministry of Construction and Housing and Communal Services, 2017. – 23 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Cooling tower design manual (to SNiP 2.04.02-84). – Moscow : Central Institute for Typical Design, 1985. – 133 p. – Text : direct. (in Russian).
5. Krasnov, N. F. Aerodynamics of bodies of revolution. – Moscow : Publishing house «Mashinostroyeniye», 1964. – 567 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Goreyev, V. V. Special structures and constructions. – Moscow : Vysshaya shkola, 2002. – 539 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Goreyev, V. V.; Grinberg, M. L.; Kondra, M. P. On choosing the optimal shape of the tower. - Text : direct. – In: *Structural mechanics and design of structures*. – 1969. – № 6. – P. 59–61. (in Russian)
8. Ponomareiko, V. S.; Arefyev, Yu. I. Cooling towers of industrial and energy companies : handbook. – Moscow : Energoatomizdat, 1998. – 376 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Shevchenko, Ye. V.; Udakhin, S. A.; Ivashchenko, M. N. Optimal design of a tower cooling tower of JSC «DMP» during its reconstruction. – Text : direct. – In: *Proceedings of the DonDABA : collection of scientific papers*. – 2003. – Issue 2(39). – Volume 1. – P. 156–158. (in Russian)
10. Krasnov, N. F. Aerodynamics of aircraft. – Moscow : Vysshaya shkola, 1981. – 496 p. – Text: direct. (in Russian)
11. Reyter, E. I. Architectural aerodynamics. – Moscow : Stroiizdat, 1984. – 294 p. – Text : direct. (in Russian)
12. Laptev, A. G.; Vedgayeva, I. A. Design and calculation of industrial cooling towers : monograph. – Kazan : KSPEU, 2004. – 180 p. – Text : direct. (in Russian)
13. Podayeva, O. I.; Kubenin, A. S.; Churin, P. S. Architectural and construction aerodynamics : a tutorial. – Moscow : NRU MGSU, 2015. – 88 p. – Text : direct. (in Russian)
14. Belostotsky, A. M.; Akimov, P. A.; Afanasyeva, I. N. Computational Dynamics in the tasks of building : a tutorial. – Moscow : ASV Publishing House, 2017. – 720 p. – Text : direct. (in Russian)
15. Belostotsky, A. M. Mathematical (numerical) modeling of wind loads and effects : a methodological guide. – Moscow : Research Center Stadio, 2020. – 78 p. – Text : direct. (in Russian)

- Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с. – Текст : непосредственный.
9. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование башенной градирни ОАО «ДМЗ» при ее реконструкции / Е. В. Шевченко, С. А. Удахин, М. Н. Иващенко. – Текст : непосредственный // Вісник ДонДАБА : збірник наукових праць. – 2003. – Випуск 2(39). – Том 1. – С. 156–158.
 10. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика летательных аппаратов / Н. Ф. Краснов. – Москва : Высшая школа, 1981. – 496 с. – Текст : непосредственный.
 11. Рейтер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Рейтер. – Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с. – Текст : непосредственный.
 12. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен : монография / А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева. – Казань : КГЭУ, 2004. – 180 с. – Текст : непосредственный.
 13. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : учебное пособие / О. И. Поддаева, А. С. Кубенин, П. С. Чурин. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 88 с. – Текст : непосредственный.
 14. Белостоцкий, А. М. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства : учебное пособие / А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, И. Н. Афанасьева. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 720 с. – Текст : непосредственный.
 15. Белостоцкий, А. М. Математическое (численное) моделирование ветровых нагрузок и воздействий : методическое пособие / А. М. Белостоцкий. – Москва : НИЦ Стадио, 2020. – 78 с. – Текст : непосредственный.

Титков Сергей Олегович – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: возведение и реконструкция промышленных сооружений.

Тітков Сергій Олегович – ассистент кафедри технології та організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівництво та реконструкція промислових споруд.

Titkov Sergey – Assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: construction and reconstruction of industrial facilities.