



(21)-0425-1

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОБТЕКАНИЯ ВЕТРОВЫМ ПОТОКОМ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕЙ БАШЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГРАДИРНИ**

**С. О. Титков<sup>1</sup>, А. М. Югов<sup>2</sup>, В. Н. Васильев<sup>3</sup>, Э. А. Лозинский<sup>4</sup>**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.  
E-mail: <sup>1</sup> titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup> amyrus@mail.ru, <sup>3</sup> wn1951@mail.ru, <sup>4</sup> bicheps@bk.ru  
Получена 05 мая 2021; принята 28 мая 2021.

**Аннотация.** В статье представлен анализ критериев подобия физического моделирования обтекания ветровым потоком отдельно стоящей башенной металлической градирни гиперболической формы. Представлены различные методы исследования влияния ветрового потока на вытяжную башню металлической градирни, такие как тензометрические весовые исследования, метод дренирования моделей, методы визуализации ветрового потока велосиметрия, или теневой метод, метод шелковинок. Получены результаты по каждому из перечисленных методов исследования. Проведен глубокий анализ результатов исследования, дано разъяснение по применению каждого из методов, выполнено сравнение методов. Данная работа проводилась с целью нахождения действительных эпюр ветрового воздействия на гиперболическую башенную каркасно-обшивную металлическую градирню в период эксплуатации для выявления наиболее неблагоприятных расчетных ситуаций влияния ветрового воздействия.

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

## **ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОТОКУ ВІТРУ НАВКОЛО ОКРЕМО СТОЯЧОЇ МЕТАЛЕВОЇ ГРАДИРНИ**

**С. О. Тітков<sup>1</sup>, А. М. Югов<sup>2</sup>, В. М. Васи́лев<sup>3</sup>, Е. О. Лозинський<sup>4</sup>**  
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.  
E-mail: <sup>1</sup> titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup> amyrus@mail.ru, <sup>3</sup> wn1951@mail.ru, <sup>4</sup> bicheps@bk.ru  
Отримана 05 травня 2021; прийнята 28 травня 2021.

**Анотація.** У статті представлено аналіз критеріїв подібності фізичного моделювання обтікання вітровим потоком окремо стоячої баштової металевої градирні гіперболічної форми. Представлені різні методи дослідження впливу вітрового потоку на витяжну вежу металевої градирні, такі як тензометричні вагові дослідження, метод дренивання моделей, методи візуалізації вітрового потоку вело симетрія, або тіньовий метод, метод шовковинок. Отримано результати по кожному з перерахованих методів дослідження. Проведено глибокий аналіз результатів дослідження, дано роз'яснення щодо застосування кожного з методів, виконано порівняння методів. Дана робота проводилася з метою знаходження дійсних епюр вітрового впливу на гіперболічну баштову каркасно-обшивну металеву градирню в період експлуатації для виявлення найбільш несприятливих розрахункових ситуацій вітрового впливу.

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

## PHYSICAL MODELING AND ANALYSIS OF THE EFFECT OF WIND FLOW AROUND A FREESTANDING METAL CHIMNEY-TYPE COOLING TOWER

Sergey Titkov<sup>1</sup>, Anatoly Yugov<sup>2</sup>, Vladimir Vasylev<sup>3</sup>, Lozinsky Eduard<sup>4</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup> amyrus@mail.ru, <sup>3</sup> wn1951@mail.ru, <sup>4</sup> bicheps@bk.ru*

*Received 05 May 2021; accepted 28 May 2021.*

**Abstract.** The article presents an analysis of similarity criteria for physical modeling of wind flow around a free-standing metal chimney-type cooling tower of hyperbolic shape. Various methods of studying the influence of wind flow on the exhaust tower of a metal cooling tower are presented, such as strain-gauge weight studies, the method of model drainage, methods of visualization of wind flow velocimetry or shadow method, the method of silkworms. The results were obtained for each of the listed research methods. An in-depth analysis of the research results was carried out, an explanation was given on the application of each of the methods, and a comparison of the methods was performed. This work was carried out in order to find the actual plots of wind impact on a hyperbolic tower frame-sheathing metal cooling tower during operation to identify the most unfavorable calculated situations of wind impact.

**Keywords:** metal chimney-type cooling tower, hyperbolic shape, strain gauge scales, local coefficient, velocimetry, shadow method.

### Введение

Аэродинамические свойства простых тел, таких как шар, куб, различные призмы, на сегодняшний день выявлены с высокой достоверностью. Но с учетом технического прогресса, уплотнением застройки городов, строительством различных уникальных зданий и сооружений перед учеными в области строительной аэродинамики стоит непростая задача исследования влияния ветрового потока на новые формы зданий и сооружений. Так, в строительных нормах [1, 2, 3] представлены объекты массового строительства, для которых также проводились аэродинамические исследования, которые, в свою очередь, проверены статистически.

На сегодняшний день разработано множество различных программных комплексов для численного анализа ветрового воздействия на здания и сооружения, в которых заложены те или иные теории исследования движения газа относительно покоящегося неподвижного тела. Но основой для верификации численных методов решения задач строительной аэродинамики является проведение экспериментальных исследований в

строительных метеорологических аэродинамических трубах. В зависимости от параметров исследования аэродинамических эффектов существуют различные методы получения разнообразных статистических данных параметров обтекания тел.

В данной статье перечислены и приведены такие методы, как тензометрические весовые исследования, метод дренирования моделей, методы визуализации ветрового потока велосиметрии или теневой метод, метод шелковинок, позволяющие провести верификацию численных моделей и оценить достоверность получаемых результатов.

### Объект исследования

Башенная металлическая градирня промышленного предприятия с естественной тягой воздуха. Градирни представляют собой сооружения для охлаждения воды атмосферным воздухом в оборотных системах водоснабжения ТЭС, АЭС и других предприятий, работа оборудования которых связана с отводом большого количества теплоты [4, 6, 7, 8, 9, 12].

**Предмет исследования**

Закономерности изменения аэродинамических коэффициентов для отдельно стоящей вытяжной башни каркасно-обшивной металлической градирни промышленного предприятия, при помощи тензометрического весового исследования, метода дренирования моделей, метода визуализации ветрового потока велосиметрия или теневого метода, метода шелковинок.

**Цель проведенного исследования**

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

**Основная часть**

В аэродинамических экспериментах в строительной отрасли исследуется движение газа относительно покоящегося неподвижного тела, так как в натуре имеется различное количество факторов, влияющих на аэродинамику сооружения. Перед исследователем стоит задача вычленив наиболее существенно влияющие факторы на аэродинамику сооружения и учесть их при проведении эксперимента. Наибольшее распространение в экспериментальной аэродинамике получили опыты, проводимые на моделях. Максимально приближенные модели продуваются в условиях ограниченного потока (в аэродинамических трубах), на основе полученных данных делаются заключения о поведении натуральных объектов в натуральных условиях.

Достоверность полученных результатов зависит от сопоставления принятого масштаба модели к площади сечения аэродинамической трубы, так же большое влияние на достоверность полученных результатов проведенных экспериментов имеет детализация модели сооружения [13–15], соблюдение условий критерия подобия.

Моделирование явлений – это замена изучения интересующего нас явления в натуре изучением аналогичного явления на модели другого масштаба. Моделирование нужно для рассмотрения физически подобных явлений, обязатель-

ным критерием которого является соблюдение геометрического подобия. При вычисленном коэффициенте геометрического подобия - масштаб модели определяется вычислением пропорции размера геометрически подобного натурного объекта. При расчете по заданным характеристикам одного явления возможно нахождение характеристик другого явления, то такие явления механически и физически являются подобными. Для сохранения подобия при моделировании необходимо обеспечить ряд условий.

Подобные явления характеризуются однородными физическими величинами, находящимися для любых точек пространства в одинаковом отношении. Соотношения между массами, скоростями и другими величинами для первого и второго случая могут быть получены из зависимостей, которые должны присутствовать в первом и во втором случае.

Для любых точек соответствующего рассматриваемого течения вязкой несжимаемой жидкости необходимо выполнение механического подобия двух течений:

$$\frac{t_2 U_2}{l_2} = \frac{t_1 U_1}{l_1}, \frac{z_2 l_2}{U_2^2} = \frac{z_1 l_1}{U_1^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\nu_2}{U_2 l_2} = \frac{\nu_1}{U_1 l_1}, \frac{p_2}{\rho_2 U_2^2} = \frac{p_1}{\rho_1 U_1^2}, \quad (2)$$

где:  $t$  – характерное время,

$l$  – характер размера,

$\rho$  – плотность,

$\nu$  – кинетический коэффициент вязкости,

$z$  – массовая сила,

$U$  – скорость,

$p$  – давление с индексом «1» обозначены величины первого потока с индексом «2» – ко второму.

Первое соотношение является условием кинетического подобия. Остальные характеризуют условия динамического подобия.

Для сохранения подобия при изучении движения жидкости либо газа необходимо в модельном потоке сохранить те же отношения  $tU/l$ , что и для натурального потока. На практике для анализа периодических явлений используют критерий подобия Струхала:

$$Sh = \frac{f \cdot l}{U}, \quad (3)$$

где:  $f$  – частота.

При изучении установившегося течения вязкой несжимаемой жидкости необходимо выполнить два условия подобия:

$$Fr = \frac{u^2}{g \cdot l} - \text{число Фруда}; \quad (4)$$

$$Re = \frac{l \cdot U}{\nu} - \text{число Рейнольдса}. \quad (5)$$

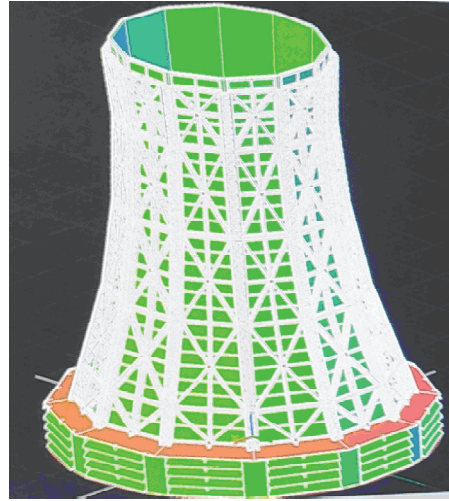
Исходя из этих двух параметров вязкой несжимаемой жидкости двух рассматриваемых потоков в натуре и в модельном эксперименте при одинаковых числах Рейнольдса и Фруда потоки являются подобными. При рассмотрении подобных явлений изучается течение около или внутри геометрически подобных тел, одинаково ориентированных относительно набегающего потока жидкости или газа.

Рассмотрение двух натуральных и экспериментальных потоков является весьма сложной задачей и заключается в соблюдении равенства следующих безразмерных критериев: Рейнольдса, Маха, Фруда, Струхалия. Достижение полного подобия в данных экспериментах не всегда осуществимо, и на первых этапах эксперимента целесообразно провести анализ зависимости коэффициента  $C_{pi}$  от числа Рейнольдса ( $Re$ ). При достижении критического числа Рейнольдса коэффициент  $C_{pi}$  независимым и не изменяемым при повышении числа  $Re$ . Это явление в аэродинамике называется автомодельностью, при котором выполняется подобие потоков по числу  $Re$ .

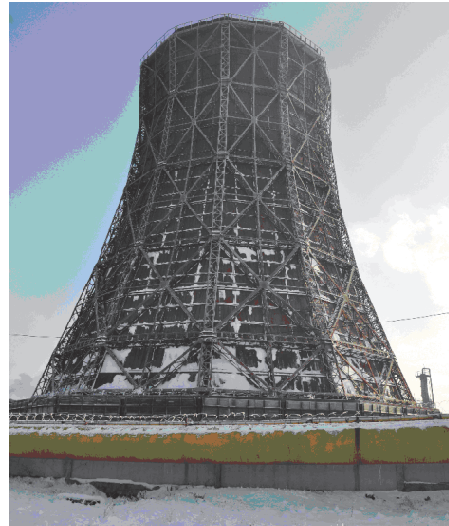
На рис. 1 представлена уточненная модель башенной металлической каркасно-обшивной градирни гиперболической формы с числом граней в плане 12 в масштабе 1:180 с соблюдением геометрического критерия подобия. Экспериментальные исследования аэродинамических коэффициентов проводились в метеорологической аэродинамической трубе МАТ-1 (рис. 2), разработанной в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Характеристики МАТ-1: рабочая часть закрытого типа – длина 4,8 м; ширина 1,0 м; высота 0,7 м; диаметр поворотного круга 0,9 м; максимальная скорость потока 20 м/с; 1 вентилятор мощностью 8 кВт, 220 В.

На первоначальном этапе проводился тензометрический весовой эксперимент с помощью тензометрических трехкомпонентных весов, разработанных соискателем А. В. Мохинько на базе ДонНАСА (рис. 3).

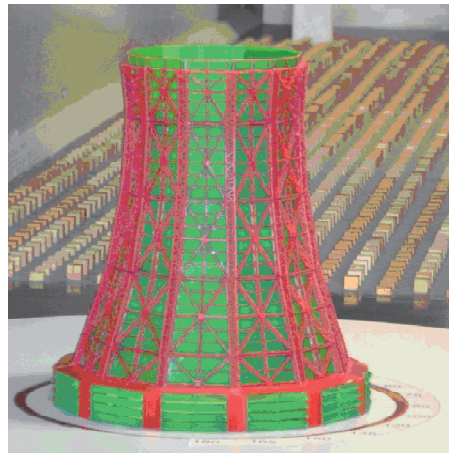
а)



б)



в)



**Рисунок 1.** Башенная металлическая градирня гиперболической формы площадью орошения 1 600 м<sup>2</sup>: а) численная модель; б) экспериментальная модель; в) натуральный объект.

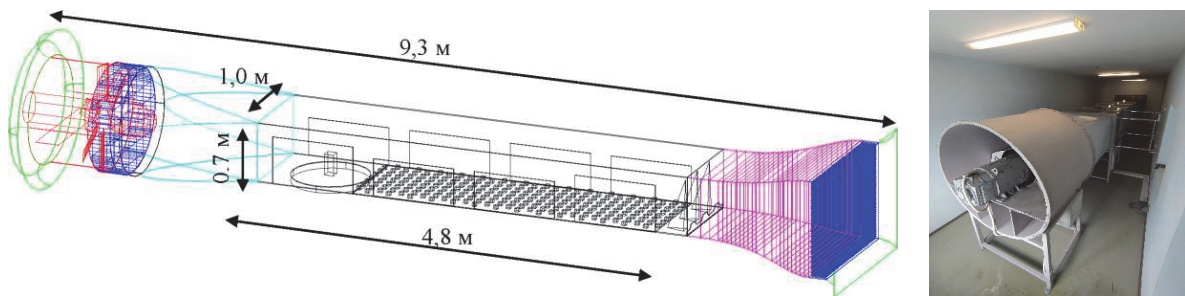


Рисунок 2. Метеорологическая аэродинамическая труба МАТ-1.

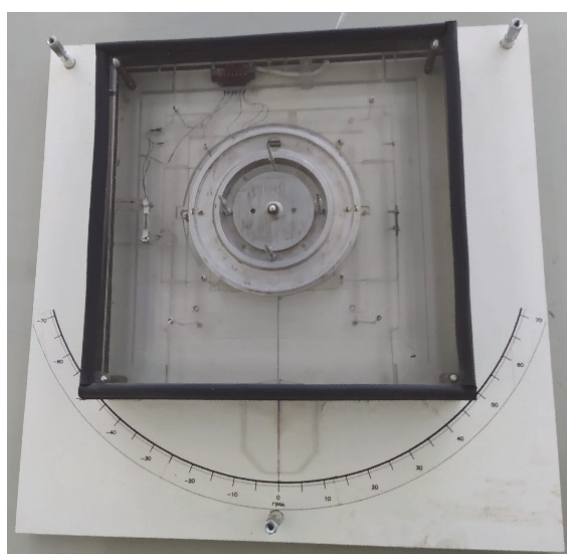


Рисунок 3. Тензометрические трехкомпонентные весы.

Данный эксперимент позволяет найти полное давление на сооружение относительно оси  $XU$  и момента  $Mz$ . На первоначальном этапе эксперимента полученные данные по продувкам модели на различных скоростях позволяют нам проанализировать, на какой скорости набегающего потока достигается критическое число  $Re$ , при повышении которого показатель  $Cx$  становится независимым (автомодельным). Данным методом на первых этапах возможно проанализировать выполнение критерия подобия по числу Рейнольдса (рис. 4).

Далее проводится эксперимент с нахождением локальных аэродинамических коэффициентов  $Cp$ . Выбор точек для нахождения локальных аэродинамических коэффициентов зависит в основном от поставленных целей и задач эксперимента и модели верификации численного эксперимента. В модели, представленной на рис. 5,

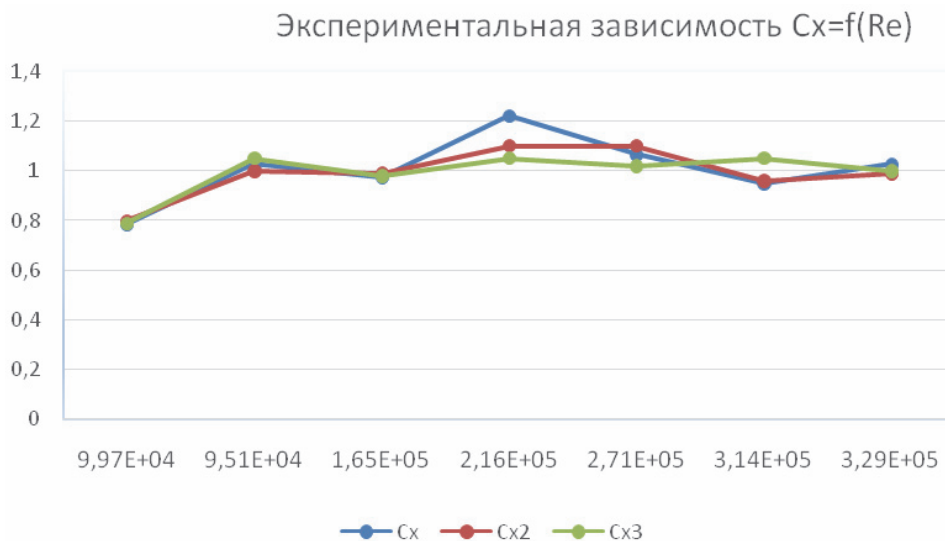
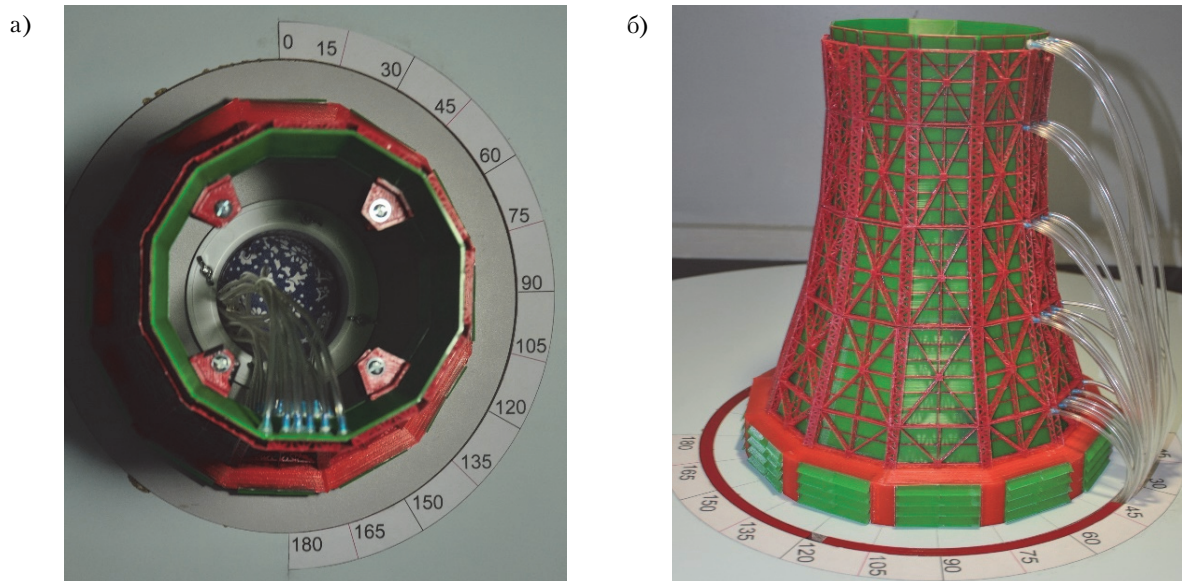


Рисунок 4. Экспериментальная зависимость  $Cx=f(Re)$ .





**Рисунок 5.** Дренированная модель башенной металлической градирни: а) вид сверху; б) вид сбоку.

датчики показаний локальных коэффициентов установлены по шесть штук в места сопряжения карт градирни, общее количество датчиков на грань составило 30 шт. Исходя из зависимости, полученной на рис. 4, эксперимент с дренированием модели проводится на той скорости набегающего потока ветра, при которой достигнуто критическое число  $Re$ . Для получения полной картины набора локальных коэффициентов эксперимент повторяется с поворотом модели от 0 до 180 градусов.

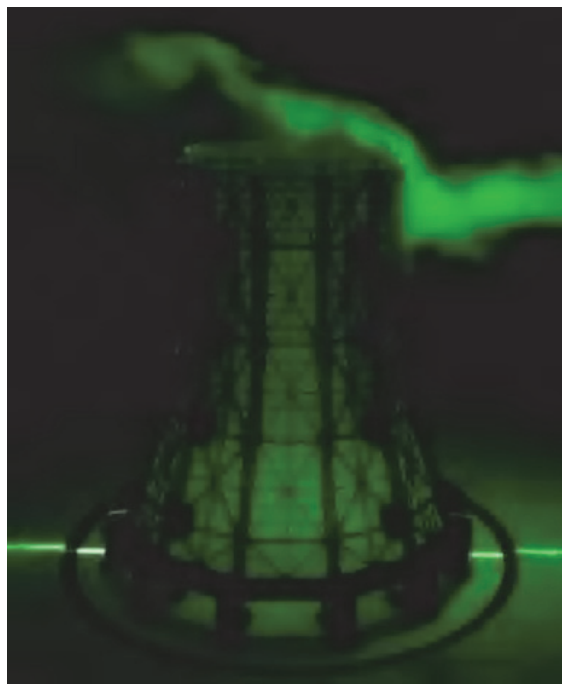
Метод нахождения полного давления на модель сооружения и метод дренирования являются дополнением друг друга и взаимно проверяемыми методами, так как, имея полное давление и распределения локальных аэродинамических коэффициентов, возможно нахождение наиболее точных функций интегрирования распределение ветрового давления на модели сооружения [5, 10, 11].

Имея полное давление относительно осей и набор локальных давлений, проведя интегрирование и аппроксимацию полученных данных, следует провести верификацию с численной моделью. Но для правильности выбора теории обтекания в численной модели необходимо оценить характер течения вблизи модели.

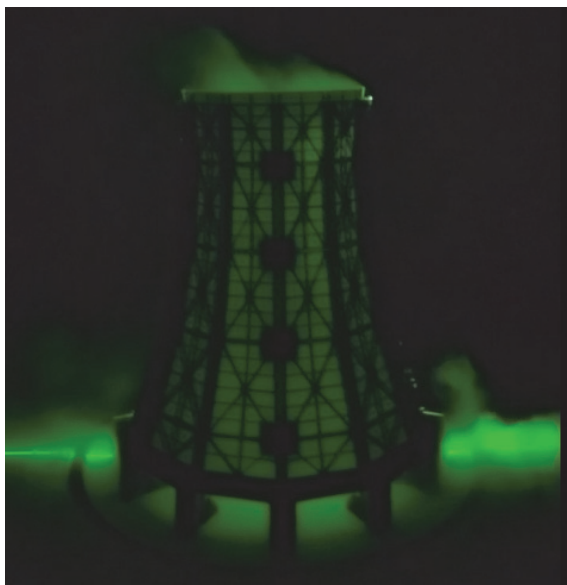
Для оценки характера течения ветрового потока вблизи модели и выбора теории обтекания тела необходимо визуализировать обтекание модели. В данной работе визуализация потока

проводилась методом велосиметрии или теневым методом (рис. 6–9).

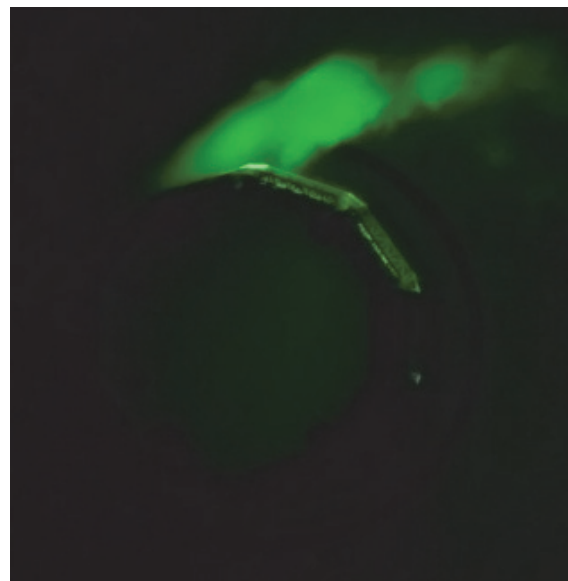
Данным методом определялся характер обтекания башенной металлической гиперболической градирни. На рис. 6 представлено обтекания



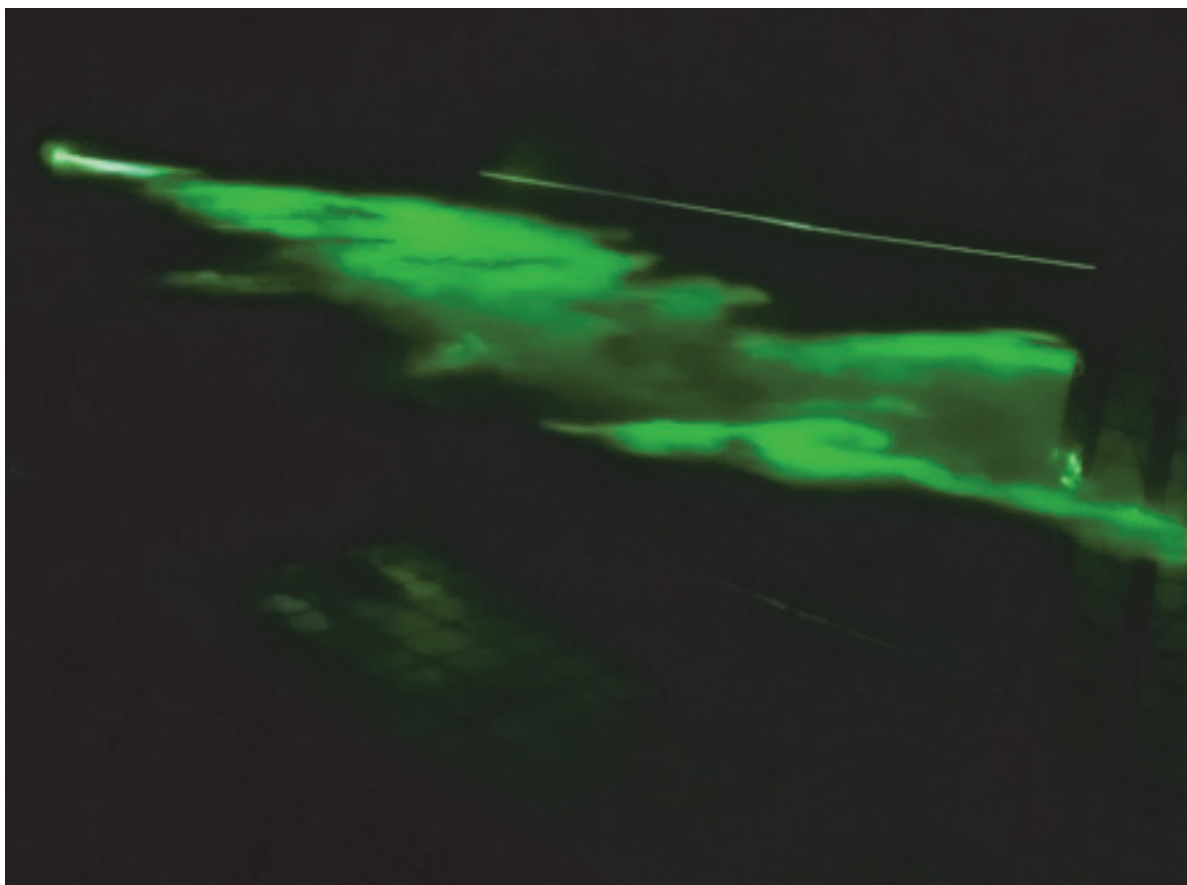
**Рисунок 6.** Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости  $XOZ$  (подача дыма на вытяжную башню).



**Рисунок 7.** Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости  $XOZ$  (подача дыма по низу башни).



**Рисунок 8.** Визуализация обтекания ветрового потока относительно плоскости  $XOY$  (подача дыма на вытяжную башню).



**Рисунок 9.** Визуализация обтекания ветрового потока (подача дыма на вытяжную башню).

ветровым потоком градирни относительно плоскости  $XOZ$  с образованием малого вихря за моделью. На рис. 7 также представлено обтекание относительно плоскости  $XOZ$ , но в данном случае анализируется сама работа данного сооружения, так как у горловины трубы образуется повышенное разрежение, происходит подсос дыма через нижние окна башни. На рис. 8 представлена визуализация ветрового потока относительно плоскости  $XOY$ , где отчетливо видно образование большого вихря позади модели. На рис. 9 представлено также визуализация потока относительно  $XOY$ , но съемка выполнена со стороны, где отчетливо наблюдается сход малого вихря. При проведенном анализе и покадровом просмотре видео с частотой кадров 240 к/сек выявлены поочередные сходы малых вихрей в количестве 3 шт., а затем образование 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 образованием больших и малых вихрей.

Также при визуализации ветрового потока применялся метод шелковинок (рис. 10). Данный метод позволяет оценить характер течения вокруг модели, амплитуду больших вихрей и направление закручивания вихря. На рис. 11–15 представлены эпюры ветрового воздействия по сечениям, полученные методом дренирования модели. На рис. 16 представлена интерполированная визуализация наиболее опасной расчетной ситуации набегания ветрового потока.

### Заключение

Проанализированы и приведены такие методы, как тензометрические весовые исследования, метод дренирования моделей, методы визуализации ветрового потока велосиметрия, или теневой метод, метод шелковинок.

Определена наиболее неблагоприятная расчетная ситуация набегания ветрового потока на грань градирни с учетом пульсационной составляющей.

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



Рисунок 10. Метод шелковинок.



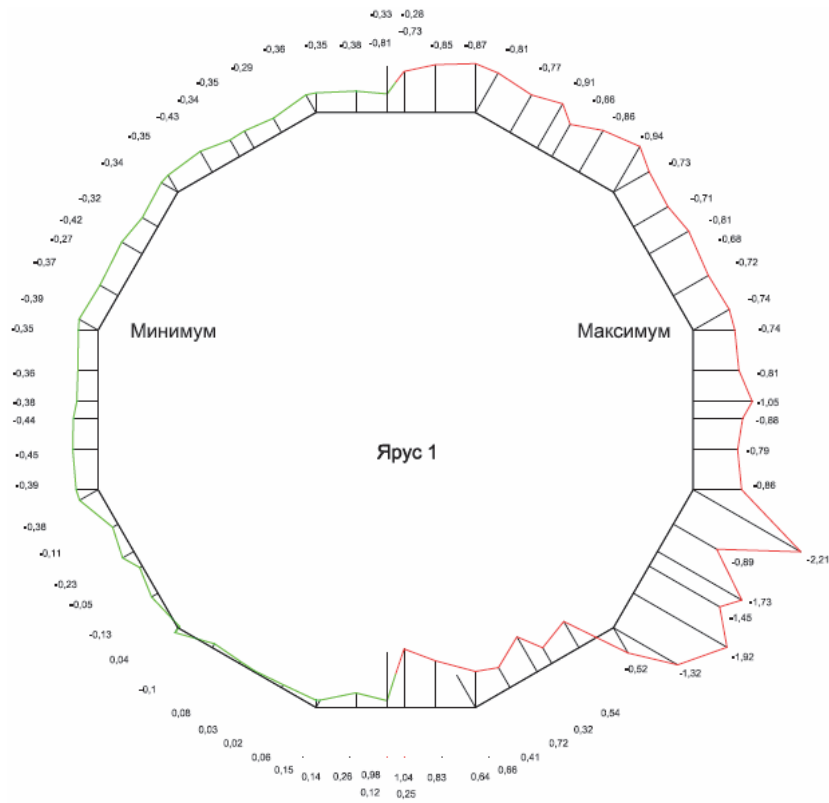


Рисунок 11. Ярус 1  $h = +11,400$  мм.

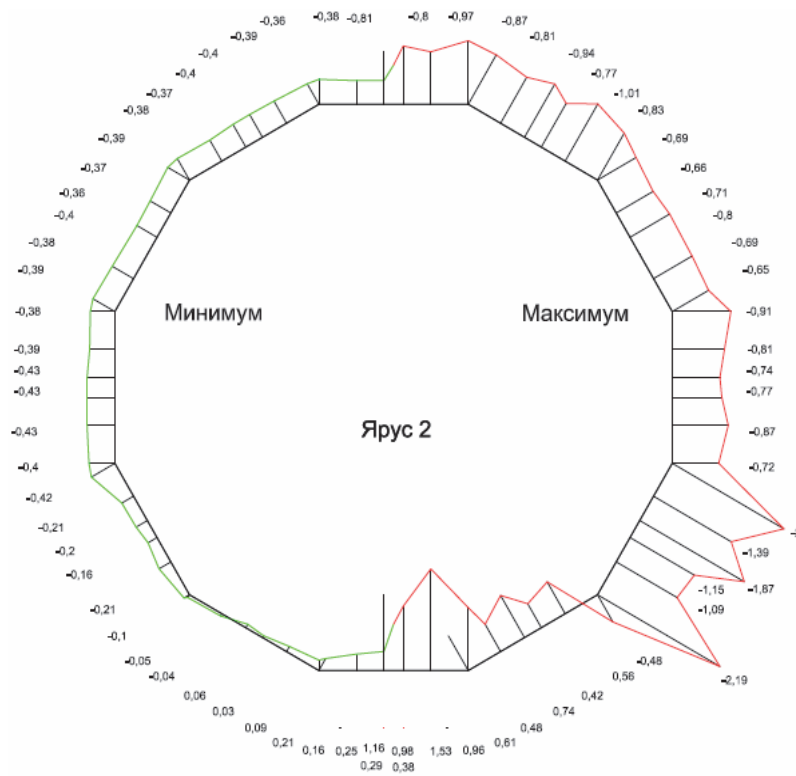


Рисунок 12. Ярус 1  $h = +22,300$  мм.





## 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 «Укрндіпроектстальконструкція 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 /

## 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. ДБН В.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 structures. – Moscow : High School, 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 DNACA : collection of scientific papers*. – 2003. – Issue 2(39). – Volume 1. – P. 156–158. (in Russian)
10. Krasnov, N. F. Aerodynamics of aircraft. – Moscow : High School, 1981. – 496 p. – Text: direct. (in Russian)
11. Reyter, E. I. Architectural aerodynamics. – Moscow : Stroizdat, 1984. – 294 p. – Text : direct. (in Russian)
12. Laptev, A. G.; Vedgayeva, I. A. 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)



- В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. – 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. Ведыгаева. – 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.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция, усиление и демонтаж строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Васyleв Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры металлических конструкций и сооружений, начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экспериментальное теоретическое исследование работы опор линий электропередачи, регулирование и учет внутренне-го напряженного состояния горячекатаного проката в строительных конструкциях.

**Лозинский Эдуард Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительной физики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования натуральных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

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

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технології і організації будівництва ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція, посилення та демонтаж будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт, при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

**Василев Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження роботи опор ліній електропередачі, будівельних конструкцій і споруди; технологія виготовлення будівельних конструкцій.

**Лозинський Едуард Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування будівель та будівельної фізики ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва та архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик оцінки вітрового впливу на будівлі, споруди та їх комплекси, вдосконалення методик моделювання прикордонного шару атмосфери, натурних і модельних випробувань будівель і споруд на вітрове навантаження.

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

**Yugov Anatoliy** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, assembling, exploitation, technical diagnostics, estimation of technical state, reconstruction, reinforcement and dismantling of building metal constructions, construction engineering and management, building and reconstruction of buildings and structures.

**Vasylev Volodymyr** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Head of the Laboratory of Testing Building Structures and Buildings, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot rolled metal in building structures.

**Lozinsky Eduard** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Building Design and Construction Physics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods for assessing wind impact on buildings, structures and their complexes, improvement of methods for modeling the atmospheric boundary layer, full-scale and model tests of buildings and structures for wind load.