



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2023, ТОМ 29, НОМЕР 2, 105–116

EDN: [WTCKKQ](#)

УДК 624.014.27:624.042.5

(23)-0392-1

## **ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАШЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГРАДИРНИ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ**

**С. О. Титков<sup>1</sup>, А. М. Югов<sup>2</sup>, Е. В. Горохов<sup>3</sup>**

*ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,*

*Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.*

*E-mail: <sup>1</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup>amyrus@mail.ru, <sup>3</sup>mk@donnasa.ru*

*Получена 04 сентября 2023; принята 22 сентября 2023.*

**Аннотация.** В статье представлено исследование температурных полей, возникающих при эксплуатации башенной металлической градирни пирамидальной формы в зимний период времени. Выполнены контрольные измерения температурных полей посредством тепловизора, определены термограммы распределения температурных полей как по высоте, так и по окружности вытяжной башни, возникающие при различных погодных условиях. Также проводились измерения температуры бассейна градирни и температуры воздуха у горловины башенной металлической градирни. Проведен анализ полученных результатов натурного исследования температурных полей при различных погодных условиях. Данная работа проводилась с целью определения действительных температурных полей для последующей верификации экспериментальных данных, получаемых в лабораторных условиях, при помощи термографического метода исследования путем воссоздания технологических и погодных условий эксплуатации на специально разработанном стенде, оценивающим количественный показатель технологической наледи и ее распределение по поверхности вытяжной башни.

**Ключевые слова:** башенная металлическая градирня, температурные поля, верификация, вытяжная башня, бассейн, термограмма.

## **ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ, ЩО ВИНІКАЮТЬ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАШТОВОЇ МЕТАЛЕВОЇ ГРАДИРНІ ПІРАМІДАЛЬНОЇ ФОРМИ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД ЧАСУ**

**С. О. Титков<sup>1</sup>, А. М. Югов<sup>2</sup>, Є. В. Горохов<sup>3</sup>**

*ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,*

*Російська Федерація, Донецька Народна Республіка,  
286123, м. о. Макіївський, м. Макіївка, вул. Державіна, буд. 2.*

*E-mail: <sup>1</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup>amyrus@mail.ru, <sup>3</sup>mk@donnasa.ru*

*Отримана 04 вересня 2022; прийнята 22 вересня 2023.*

**Анотація.** У статті наведено дослідження температурних полів, що виникають при експлуатації баштової металеві градирні пірамідальної форми в зимовий період. Виконано контрольні вимірювання температурних полів за допомогою тепловізора, визначено термограми розподілу температурних полів як по висоті, так і по колу витяжної вежі, що виникають за різних погодних умов. Також проводилися вимірювання температури басейну градирні та температури повітря біля горловини баштової металеві



градирні. Проведено аналіз одержаних результатів натурного дослідження температурних полів за різних погодних умов. Ця робота проводилася з метою визначення дійсних температурних полів для подальшої верифікації експериментальних даних, одержуваних у лабораторних умовах, за допомогою термографічного методу дослідження шляхом відтворення технологічних та погодних умов експлуатації на спеціально розробленому стенді, що оцінює кількісний показник технологічної льоду та її розподіл поверхнею витяжної вежі.

**Ключові слова:** вежова металева градирня, температурні поля, верифікація, витяжна вежа, басейн, термограма.

## TEMPERATURE FIELDS ARISING DURING THE OPERATION OF A PYRAMID-SHAPED METAL COOLING TOWER IN WINTER

Sergey Titkov<sup>1</sup>, Anatoly Yugov<sup>2</sup>, Yevgen Gorokhov<sup>3</sup>

*FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,*

*Russian Federation, 286123, Makeevka, Derzhavin st., 2.*

*E-mail: <sup>1</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>2</sup>amyrus@mail.ru, <sup>3</sup>mk@donnasa.ru*

*Received 04 September 2023; accepted 22 September 2023.*

**Abstract.** The article presents a study of temperature fields that arise during the operation of a pyramid-shaped metal cooling tower in winter. Control measurements of temperature fields were carried out using a thermal imager, thermograms of the distribution of temperature fields both along the height and along the circumference of the exhaust tower, occurring under various weather conditions, were determined. The temperature of the cooling tower basin and the air temperature at the neck of the metal cooling tower were also measured. An analysis of the obtained results of a field study of temperature fields under various weather conditions was carried out. This work was carried out with the aim of determining actual temperature fields for subsequent verification of experimental data obtained in laboratory conditions using the thermographic research method by recreating technological and weather operating conditions on a specially designed stand that evaluates the quantitative indicator of technological ice and its distribution over the surface of the exhaust tower.

**Keywords:** metal cooling tower, temperature fields, verification, exhaust tower, pool, thermogram.

### Введение

На сегодняшний день разработанные программные комплексы численного анализа методом конечных элементов позволяют с высокой точностью проводить расчеты в области инженерии и оценке действительной работы металлоконструкций зданий и сооружений. Вместе с тем все больше в деятельности ученых и инженеров в области строительства занимают BIM-технологии, позволяющие в кратчайшие сроки и с высокой точностью выполнять проектирование и расчет параметров напряженно-деформированного состояния объектов, влияющих на стоимость и продолжительность работ.

Данные технологии предоставляют возможность проводить исследования в области оптимального проектирования, выявлять закономерности и определять функциональные зависимости между множеством технико-экономических показателей в зависимости от района строительства и условий эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений.

Проведение исследований в области оптимального проектирования требует достоверных входных данных в виде нагрузок и воздействий, влияющих на здания и сооружения. Большинство нагрузок и воздействий регламентируются нормативными документами [18; 19; 17], за исключением технологических нагрузок и

воздействий, которые так же вносят немаловажный вклад в работу сооружений.

Объектом исследования являются башенные металлические градирни промышленных предприятий 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; 9; 13; 14].

Предметом исследования в данной работе является температурные поля, возникающие в процессе эксплуатации градирни в зимний период времени, при помощи термографического метода исследования [1–3; 5–7; 12; 11; 10].

Цель проведенного исследования определение действительных температурных полей металлической вытяжной башни и температур, преобладающих в уровне бассейна и горловины сооружения для проведения верификации лабораторных испытаний на специализированном стенде в морозильной камере.

### Основная часть

В данной статье проводится исследование температурных полей, возникающих при эксплуатации башенной металлической градирни (рис. 1) в зимний период времени. Необходимость проведения данного исследования возникла в процессе анализа нормативных документов [17; 19] которые регламентируют нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Нагрузки от технологической наледи и температурное воздействие на башенные металлические градирни не регламентируются данными нормами. Согласно разделу 14 [18] и разделу 12 [17] в данном случае рекомендуется установить нагрузки в иных нормах на проектирование строительных конструкций или данные нагрузки устанавливаются заданием на проектирование либо согласно рекомендациям, разработанным в рамках научно-технического сопровождения.

Согласно разделам вышеперечисленных нормативных документов, мы имеем возможность, в данном случае, воспользоваться пособием по проектированию градирен [8], в котором раздел 6 пункт 6.4 регламентирует специфические условия работы башенной металлической градирни.



**Рисунок 1.** Башенная металлическая градирня пирамидальной формы площадью орошения 1 600 м<sup>2</sup>.

Так же пункты с 6.13 по 6.17 регламентируют все нагрузки и воздействия на сооружение, но что касается нагрузки от технологической наледи и воздействия от температуры, то нет никаких конкретных рекомендаций по распределению и величине этих нагрузок.

Целью проведенного исследования температурных полей, возникающих при эксплуатации башенной металлической гиперболической градирни в зимний период времени является оценка и уточнение действительных температурных полей, возникающих при различных погодных условиях.

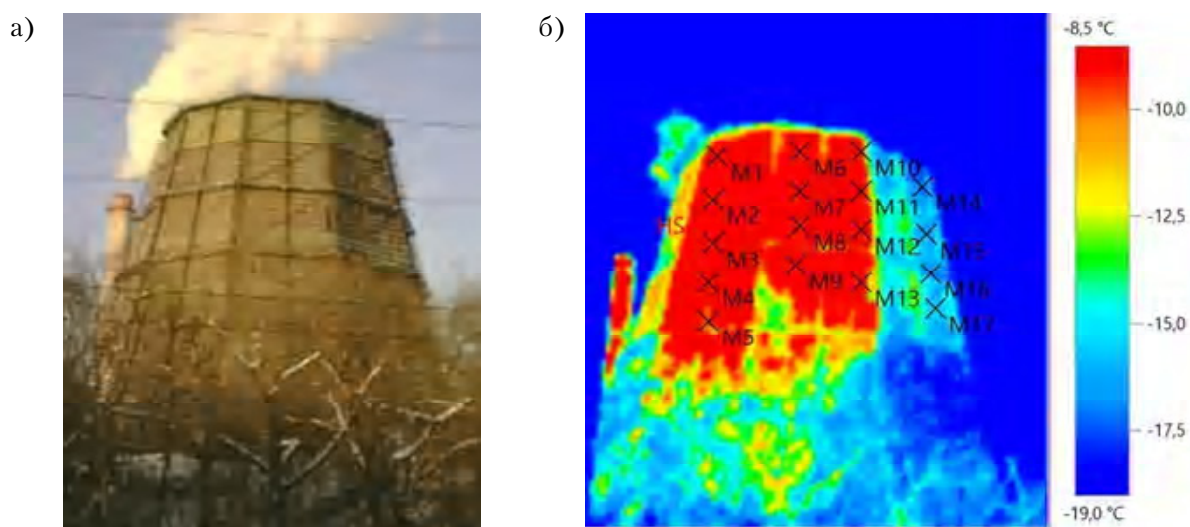
Измерение температурных полей проводилось при помощи тепловизора TESTO 868, специально разработанного для проведения профессиональной термографии [16; 15] с погрешностью в результатах измерения 2 % от измеряемого значения.

Проведены контрольные измерения температурных полей десятигранной пирамидальной градирни высотой +54,9 м при температуре окружающей среды –6 С°. Измерения проводились по каждой из граней градирни на рис. 2 представлена термограмма наиболее теплой стороны градирни, находящейся с подветренной стороны

северо-восточного направления. На розе ветров г. Донецк преобладает восточный ветер, данное явление возможно объяснить территорией заводской застройки. Но согласно [8] данные сооружения должны проектироваться с учетом розы ветров так чтобы возможные потери при охлаждении оборотной воды не образовывали наледи на близ стоящих зданиях и сооружениях. Проанализировав территорию застройки предприятия в данном случае испарения от гра-

дирни согласно полученным данным направлены в сторону лесополосы без какой-либо застройки. По метеорологическим данным и характеру налипания снега на вытяжную башню можно сделать вывод о том, что наиболее теплой стороной является подветренная сторона.

На термограмме (рис. 2) видно распределение температурных полей в конструктивных элементах градирни, при этом разность температур от окружающей среды варьируется от  $-6$  до  $-8,5$  °С.



**Рисунок 2.** Температурное поле наиболее теплого участка 10-и гранной пирамидальной градирни при  $-8,5$  °С: а) объект исследования; б) термограмма объекта исследования.

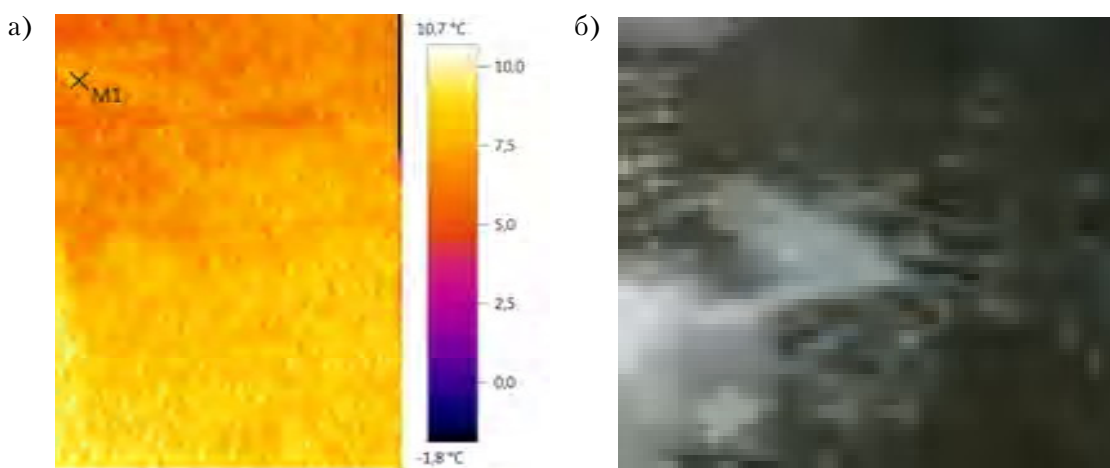
**Таблица 1.** К рисунку 2 точки проведенных замеров.

Измеряемые объекты	Темп. °С	Излучение	Отраж. темп. °С
Точка измерения 1	-2,4	0,95	-6
Точка измерения 2	-0,5	0,95	-6
Точка измерения 3	-3,7	0,95	-6
Точка измерения 4	-5,3	0,95	-6
Точка измерения 5	-9,7	0,95	-6
Точка измерения 6	-6,5	0,95	-6
Точка измерения 7	-3,7	0,95	-6
Точка измерения 8	-5,8	0,95	-6
Точка измерения 9	-5,2	0,95	-6
Точка измерения 10	-9,3	0,95	-6
Точка измерения 11	-6,6	0,95	-6
Точка измерения 12	-4,4	0,95	-6
Точка измерения 13	-5,6	0,95	-6
Точка измерения 14	-17,5	0,95	-6
Точка измерения 15	-16,3	0,95	-6
Точка измерения 16	-17,2	0,95	-6
Точка измерения 17	-15,8	0,95	-6

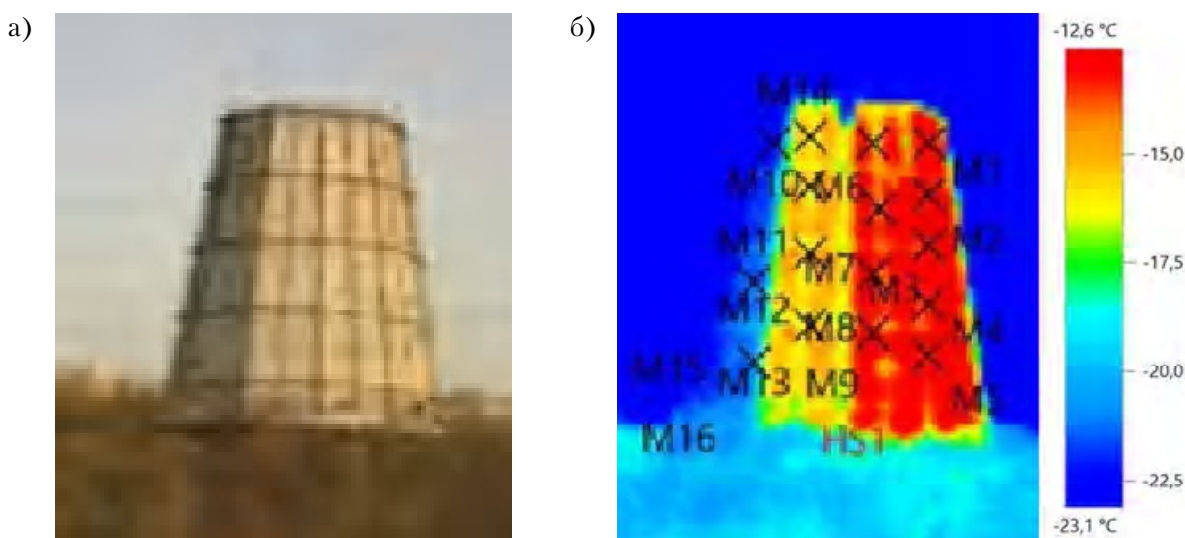
В ходе проведения контрольных измерений также проводились замеры температурного поля бассейна градирни, результаты которых представлены на рис. 3. Температура подаваемой воды в бассейн для охлаждения составила  $+10,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Во время проведения эксперимента градирня работала в холостом режиме с подачей охлаждаемой воды  $10\ 000\ \text{м}^3/\text{час}$  и проведенными специальными мероприятиями по предотвращению технологической наледи указанными в [8]. Температура воздуха у горловины градирни составила  $+4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  так же проводились замеры технологи-

ческой наледи на строительных конструкциях на отметке  $+54\ \text{м}$ , толщина наледи составляла от 12 до 18 мм.

Проведены повторные измерения при температуре окружающей среды  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 4; 5) при холостом режиме работы градирни. Данные полученные в ходе проведенного натурного исследования температурных полей в последующем будут применены для верификации экспериментальных данных, получаемых в лабораторных условиях. При помощи термографического метода исследования путем воссоздания технологических и



**Рисунок 3.** Температурное поле бассейна башенной металлической градирни при  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ : а) объект исследования; б) термограмма объекта исследования.



**Рисунок 4.** Температурное поле наиболее теплого участка вытяжной башни градирни при  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ : а) объект исследования; б) термограмма объекта исследования.

погодных условий на специально разработанном стенде в морозильной камере.

Результаты обработки термограмм представлены на диаграммах рис. 5–10 показыва-

ют действительное распределение температуры по длине элементов и имеют неравномерный характер распределения температуры по окружности башенной металлической градирни.

Таблица 2. К рисунку 4 точки проведенных замеров.

Измеряемые объекты	Темп. °С	Излучение	Отраж. темп. °С
Точка измерения 1	-11,2	0,95	-12
Точка измерения 2	-10,1	0,95	-12
Точка измерения 3	-10	0,95	-12
Точка измерения 4	-11,3	0,95	-12
Точка измерения 5	-12,5	0,95	-12
Точка измерения 6	-15,1	0,95	-12
Точка измерения 7	-14,1	0,95	-12
Точка измерения 8	-12,6	0,95	-12
Точка измерения 9	-13,0	0,95	-12
Точка измерения 10	-15,9	0,95	-12
Точка измерения 11	-16,0	0,95	-12
Точка измерения 12	-16,7	0,95	-12
Точка измерения 13	-16,3	0,95	-12
Точка измерения 14	-22,9	0,95	-12
Точка измерения 15	-21,8	0,95	-12
Точка измерения 16	-21,1	0,95	-12

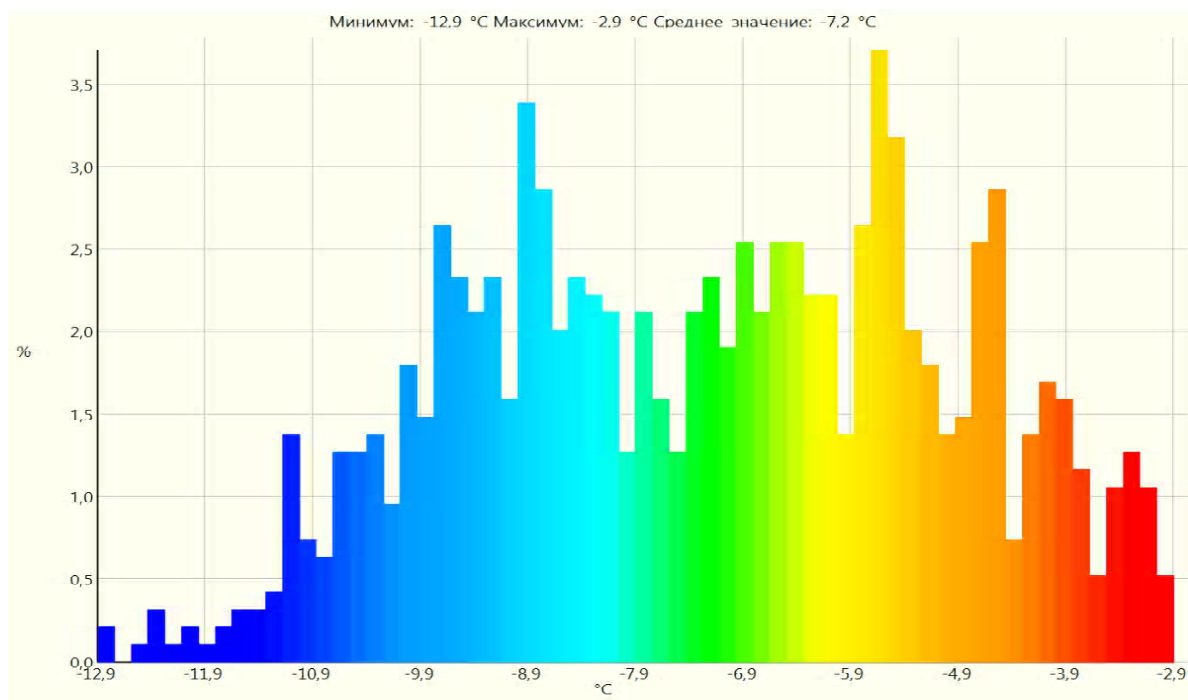
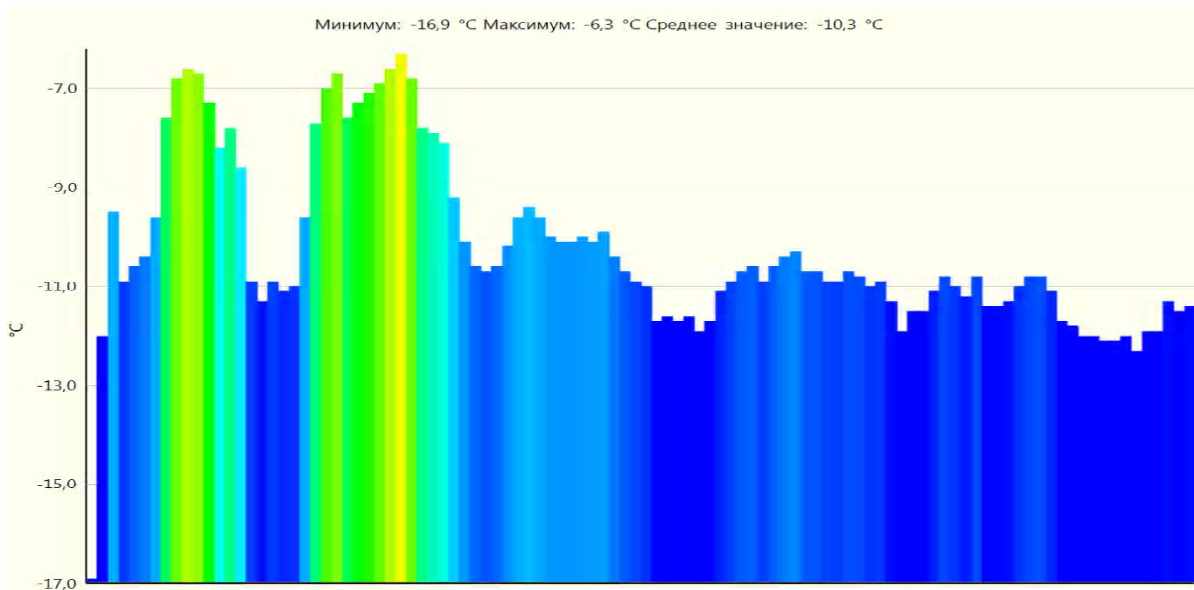
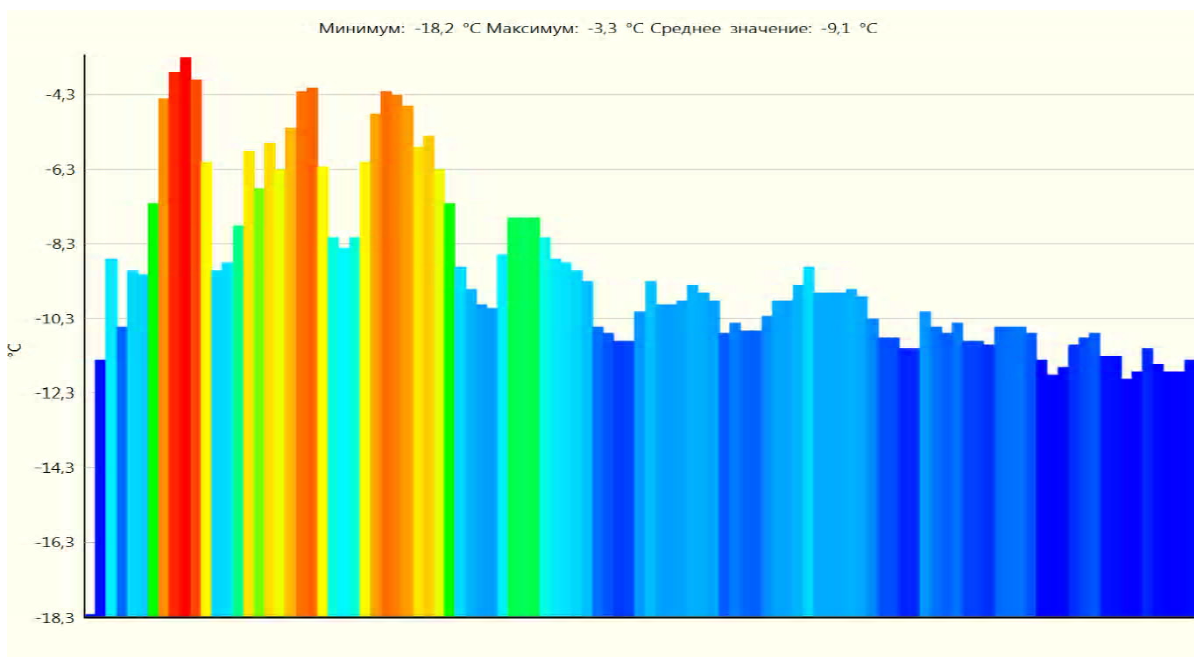


Рисунок 5. Диаграмма распределения температуры по поверхности наиболее теплой карты вытяжной башни градирни при температуре -12 °С.

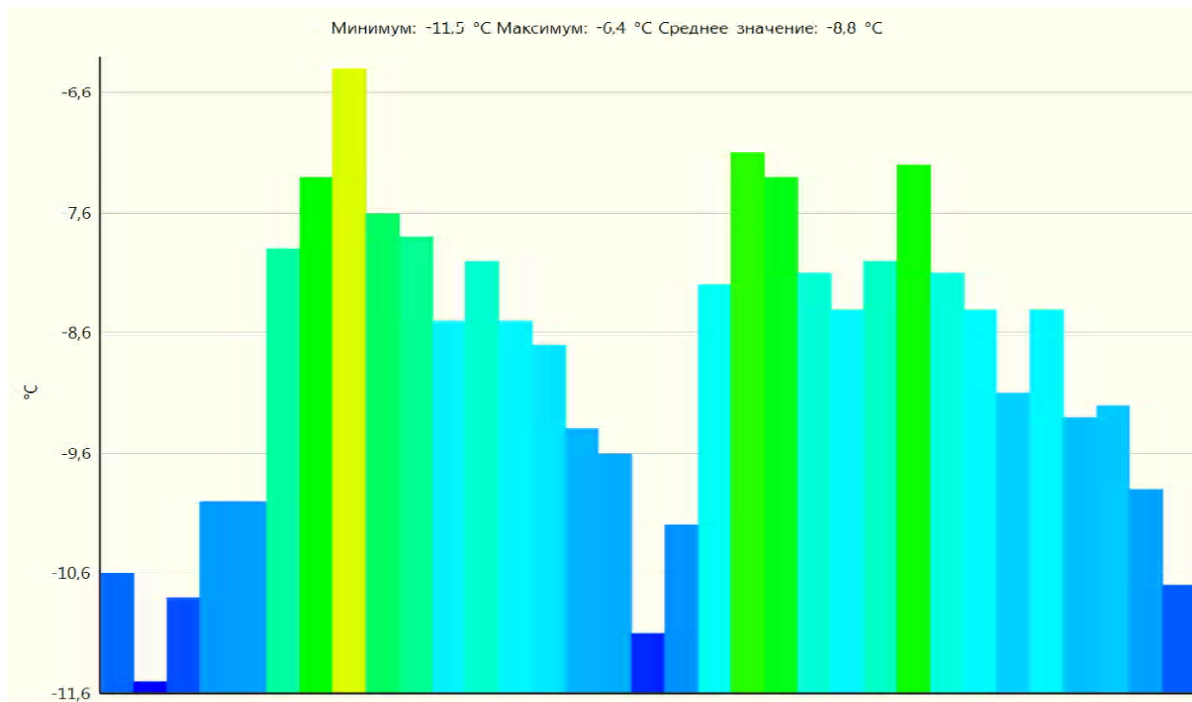




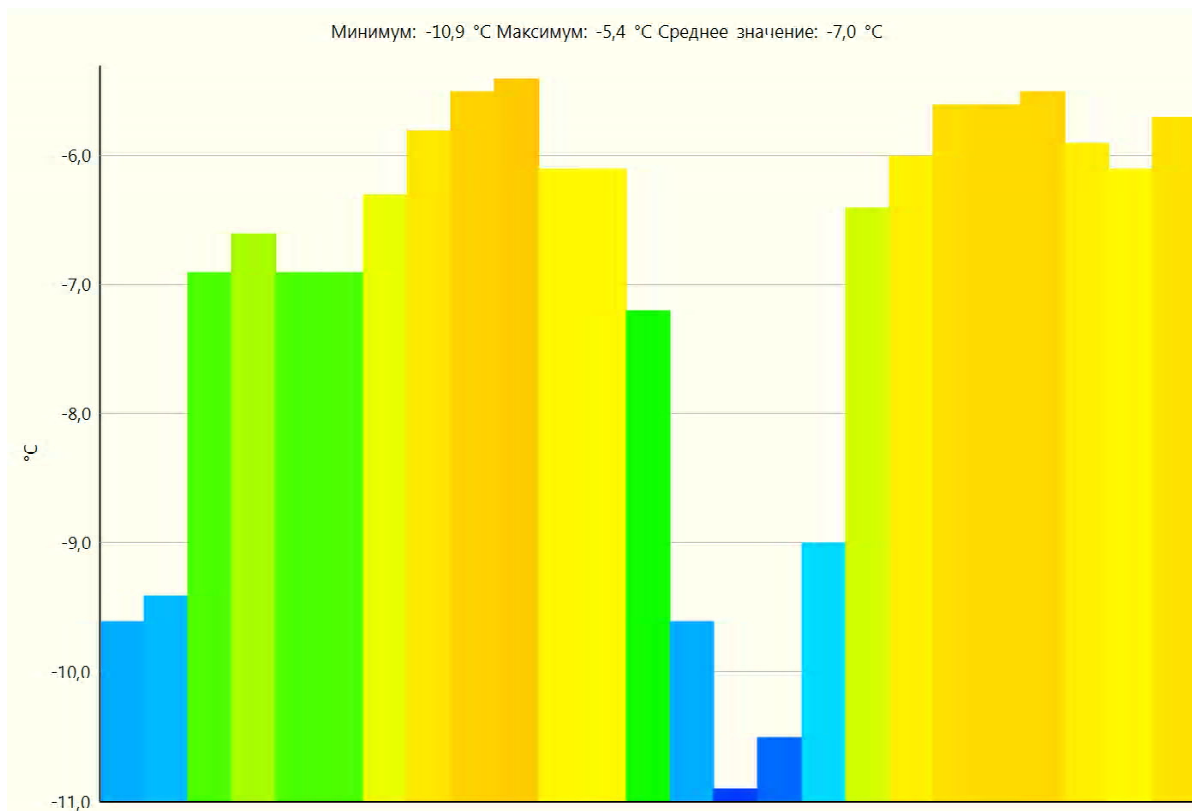
**Рисунок 6.** Диаграмма распределения температурного поля по длине средней стойки наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 7.** Диаграмма распределения температурного поля по вертикали обшивки наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

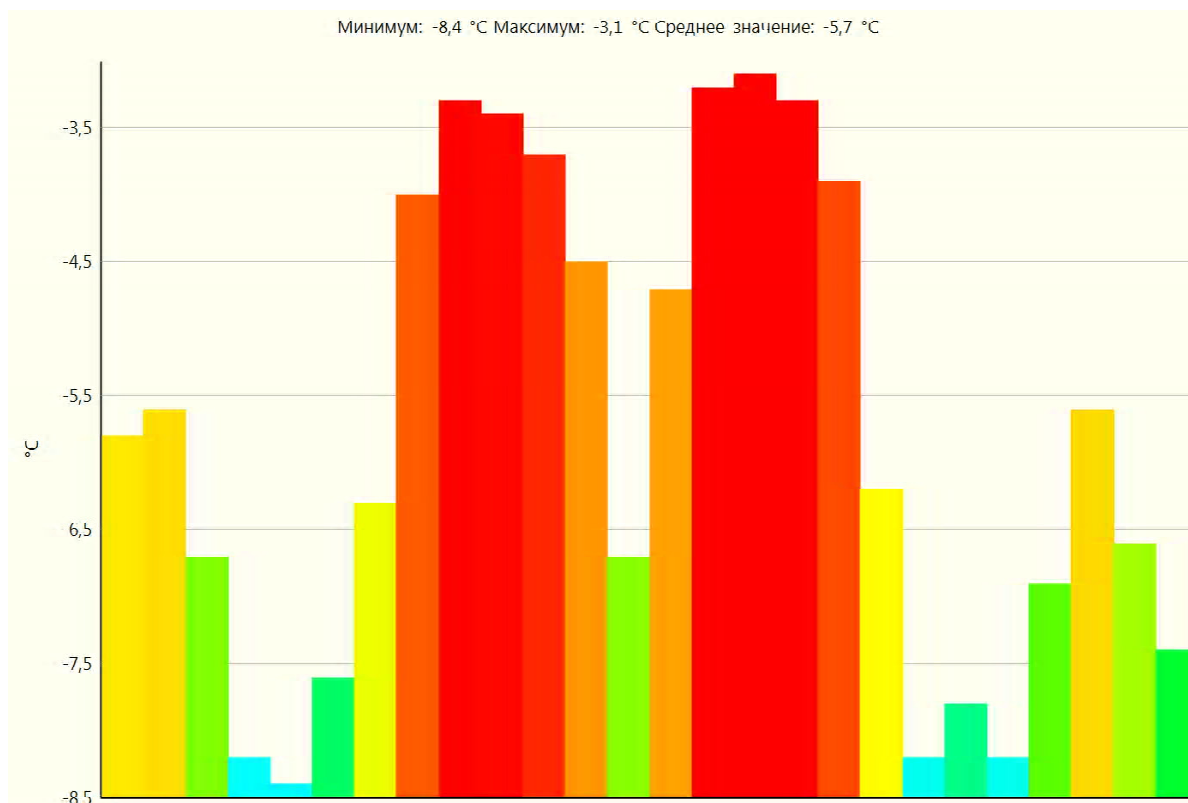


**Рисунок 8.** Диаграмма распределения температуры по длине связи наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 9.** Диаграмма распределения температуры по длине средней фермы наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





**Рисунок 10.** Диаграмма распределения температурного поля по горизонтали обшивки наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Заключение

На основании проведенного анализа нормативной документации в области проектирования башенных металлических градирен выявлено, что нагрузки от технологической наледи и температурные технологические воздействия требуют детального рассмотрения и уточнения при проектировании рациональных конструктивных решений сооружения.

Технологические температурные воздействия при охлаждении оборотной воды распределяются неравномерно в конструктивных элементах сооружения и вносят определенную погрешность при приложении теплового воздействия в соответствии с действующими нормами проектирования.

Распределение технологических нагрузок и воздействий в зимний период времени на пря-

мую зависит от эпюры ветрового воздействия на сооружения. В зимний период времени температурные перепады по высоте и окружности для пирамидальных десятигранных башенных градирен ниже температуры окружающей среды в среднем на 68 % согласно рис. 2–5 прослеживается прямо пропорциональная зависимость между температурой окружающей среды и температурой конструкций сооружения.

Данные полученные в ходе проведенного натурного исследования температурных полей в последующем будут применены для верификации экспериментальных данных, получаемых в лабораторных условиях. При помощи термографического метода исследования путем воссоздания технологических и погодных условий на специально разработанном стенде в морозильной камере.

## Литература

1. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон; перевод с английского А. С. Алексеева [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1982. – 447 с. – Текст : непосредственный.
2. Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов : учебное пособие. В 2 томах. Том 1. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО / под общей редакцией А. М. Белостоцкого и П. А. Акимова. – Москва : АСВ, 2016. – 426 с. – ISBN 978-5-432-0164-2. – Текст : непосредственный.
3. Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов : учебное пособие : в 2 томах. Том 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО / под общей редакцией А. М. Белостоцкого и П. А. Акимова. – Москва : АСВ, 2016. – 427 с. – ISBN 978-5-432-0165-9. – Текст : непосредственный.
4. Берман, Л. Д. Градирни / Л. Д. Берман. – Москва : Государственное энергетическое издательство, 1941. – 200 с. – Текст : непосредственный.
5. Борштейн, М. Ф. Ветровая нагрузка на высокие здания / М. Ф. Борштейн. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – № 6. – С. 2–9.
6. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантуз-Лященко, В. А. Пашинский [и др.]. – Москва : АСВ, 2007. – 482 с. – Текст : непосредственный.
7. Горлин, С. М. Экспериментальная аэродинамика : учебное пособие для вузов / С. М. Горлин. – Москва : Высшая школа, 1970. – 423 с. – Текст : непосредственный.
8. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) : утверждено приказом ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР от 20 марта 1985 г. № 27 / ВНИИ ВОДГЕО Госстрой СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 194 с. – Текст : непосредственный.
9. Руководство по проектированию градирен : утверждено институтом Союзводоканалпроект 24 января 1980 г. : выполнено впервые / ответственные исполнители Т. П. Иванова, Н. И. Федорова. – Москва : Союзводоканалпроект, 1980. – 144 с. – Текст : непосредственный.
10. Armitt, J. Wind loading on cooling towers / J. Armitt. – Текст : непосредственный // Journal of Structural Division, ASCE. – 1980. – Volume 106, № 3. – P. 623–641.
11. Babu, G. R. Experimental determination of wind-induced response on a model of natural draught cooling tower / G. R. Babu. – Текст : непосредственный // Experimental Techniques. – 2013. – Volume 37, № 1. – P. 35–46.
12. СТИ TP83-02. Cooling Tower Hardware Corrosion Studies : standard by Cooling Technology Institute : Supersedes TP-263A : This Standard was approved

## References

1. Bathe, K.; Wilson E. Numerical methods of analysis and the finite element method ; translation from English by A. S. Alekseev [et al.]. – Moscow : Stroyizdat, 1982. – 447 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Current problems of numerical modeling of buildings, structures and complexes : textbook. In 2 volumes. Volume 1. To the 25th anniversary of the StaDiO Research Center / under the general editorship of A. M. Belostotsky and P. A. Akimov. – Moscow : DIA, 2016. – 426 p. – ISBN 978-5-432-0164-2. – Text : direct. (in Russian)
3. Current problems of numerical modeling of buildings, structures and complexes : textbook : in 2 volumes. Volume 2. To the 25th anniversary of the StaDiO Research Center / under the general editorship of A. M. Belostotsky and P. A. Akimov. – Moscow : DIA, 2016. – 427 p. – ISBN 978-5-432-0165-9. – Text : direct. (in Russian)
4. Berman, L. D. Cooling towers. – Moscow : State Energy Publishing House, 1941. – 200 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Borshtein, M. F. Wind load on high buildings. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 1974. – № 6. – P. 2–9. (in Russian)
6. Gordeev, V. N.; Lantuz-Lyashchenko, A. I.; Pashinsky V. A. [et al.]. Loads and impacts on buildings and structures. – Moscow : DIA, 2007. – 482 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Gorlin, S. M. Experimental aerodynamics: textbook for universities. – Moscow : Higher School, 1970. – 423 p. – Text : direct. (in Russian)
8. A manual on the design of cooling towers (to SNiP 2.04.02-84) : approved by order of the VNIИ VODGEO Gosstroy of the USSR dated March 20, 1985 № 27 / VNIИ VODGEO Gosstroy of the USSR. – Moscow : Central Institute of Standard Design, 1989. – 194 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Guidelines for the design of cooling towers : approved by the Soyuzvodokanalproekt Institute on January 24, 1980 : completed for the first time / responsible persons T. P. Ivanova, N. I. Fedorova. – Moscow : Soyuzvodokanalproekt, 1980. – 144 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Armitt, J. Wind loading on cooling towers. – Text : direct. – In: *Journal of Structural Division, ASCE*. – 1980. – Volume 106, № 3. – P. 623–641.
11. Babu, G. R. Experimental determination of wind-induced response on a model of natural draft cooling tower. – Text : direct. – In: *Experimental Techniques*. – 2013. – Volume 37, № 1. – P. 35–46.
12. СТИ TP83-02. Cooling Tower Hardware Corrosion Studies : standard by Cooling Technology Institute : Supersedes TP-263A : This Standard was approved by Februar 02, 1983 / developer CTI. – [Houston, Texas] : [CTI], 1983. – 26 p. – Text : direct.
13. Zhang, L. Numerical study of the dynamic response of the natural draft dry cooling tower under crosswind condition. – Text : direct. – In: *Case*

- by Februar 02, 1983 / developer CTI. – [Houston, Texas] : [CTI], 1983. – 26 p. – Текст : непосредственный.
13. Zhang, L. Numerical study of the dynamic response of the natural draft dry cooling tower under crosswind condition / L. Zhang. – Текст : непосредственный // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2022. – Volume 34. – P. 102027.
  14. Zhang, M. Construction simulation and construction speed analysis of natural draft cooling towers / M. Zhang, H. L. Wang. – Текст : непосредственный // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Volume 353-354. – P. 3559–3565.
  15. Zhang, X. Numerical Analysis of the Inner and Outer Flow Field of an Air-cooling Tower / X. Zhang, Y. Zheng, Q. Wang. – Текст : непосредственный // *Reneng Dongli Gongcheng/Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*. – 2000. – Volume 15, № 1. – P. 52–54.
  16. Zhao, L. Wind loading characteristics of super-large cooling towers / L. Zhao, Y. J. Ge. – Текст : непосредственный // *Wind and Structures, An International Journal*. – 2010. – Volume 13, № 3. – P. 257–273.
  17. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Минстроя Украины от 3 июля 2006 г. № 220/пр-ст : дата введения 2007-01-01 / исполнители открытое акционерное общество «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В. Н. Шимановского» (ОАО Укрнипроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского). – Киев : Минстрой Украины, 2006. – 78 с. – (Государственные строительные нормы Украины). – Текст : непосредственный.
  18. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : 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-ст : дата введения 2017-06-04 / исполнители ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ "Строительство"» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова». – Москва : Стандартформ, 2017. – 105 с. – Текст : непосредственный.
  19. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения особые воздействия : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2017 г. № 1105/пр-ст : введен впервые : дата введения 2018-02-04 / исполнители АО «НИЦ "Строительство"» – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко при участии АО МНИИТЭП, ФГБУ «ФГГО им. А. И. Воейкова». – Москва : Стандартформ, 2018. – 30 с. – Текст : непосредственный.
  20. *Studies in Thermal Engineering*. – 2022. – Volume 34. – P. 102027.
  21. Zhang, M.; Wang, H. L. Construction simulation and construction speed analysis of natural draft cooling towers. – Text : direct. – In: *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Volume 353-354. – P. 3559–3565.
  22. Zhang, X.; Zheng, Y.; Wang Q. Numerical Analysis of the Inner and Outer Flow Field of an Air-cooling Tower. – Text : direct. – In: *Reneng Dongli Gongcheng/Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*. – 2000. – Volume 15, № 1. – P. 52–54.
  23. Zhao, L.; Ge, Y. J. Wind loading characteristics of super-large cooling towers. – Text : direct. – In: *Wind and Structures, An International Journal*. – 2010. – Volume 13, № 3. – P. 257–273.
  24. ДБН В.1.2-2: 2006. Loads and impacts : official publication: approved and put into effect by order of the Ministry of Construction of Ukraine dated July 3, 2006 № 220/pr-st : date of introduction 2007-01-01 / performers open joint-stock company «Ukrainian Research and Design Institute of Steel Structures them V. N. Shimanovsky» (JSC Ukniproektstalkonstruktsiya named after V. N. Shimanovsky). – Kyiv : Ministry of Construction of Ukraine, 2006. – 78 p. – (State building standards of Ukraine). – Text : direct. (in Russian)
  25. СП 20.13330.2016. Loads and impacts: official publication : approved and put into effect by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Minstroy of Russia) dated December 3, 2016 № 891/pr-st : date of introduction 2017-06-04 / performers TsNIISK named after V. A. Kucherenko JSC «Research Center "Construction"» with the participation of the Federal State Budgetary Institution «Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov». – Moscow : Standardform, 2017. – 105 p. – Text : direct. (in Russian)
  26. СП 296.1325800.2017. Buildings and structures special impacts : official publication : approved and put into effect by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated August 3, 2017 № 1105/pr-st : introduced for the first time : date of introduction 2018-02-04 / executors JSC «Research Center "Construction"» – TsNIISK named after V. A. Kucherenko with the participation of JSC MNIITEP, FSBI «GGO named after A. I. Voeikov». – Moscow : Standardform, 2018. – 30 p. – Text : direct. (in Russian)

**Титков Сергей Олегович** – старший преподаватель кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование и диагностика уникальных зданий и сооружений.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «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.

**Горохов Евгений Васильевич** – доктор технических наук, профессор; президент ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», заведующий кафедрой металлических конструкций и сооружений. Иностраный член Российской Академии архитектуры и строительных наук, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины, Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

**Тітков Сергій Олегович** – старший викладач кафедри металевих конструкцій та споруд ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування та діагностика унікальних будівель та споруд.

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

**Горохов Євген Васильович** – доктор технічних наук, професор; президент ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», завідувач кафедри металевих конструкцій та споруд. Іноземний член Російської Академії архітектури та будівельних наук, академік Академії Вищої школи та Академії будівництва України, Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність металевих будівельних конструкцій, кліматичні навантаження на будівельні конструкції.

**Titkov Sergey** – is a senior lecturer, at Metal Structure and Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: design and diagnostics of unique buildings and structures.

**Yugov Anatoly** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Construction Organization FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: design, installation, operation, technical diagnostics, assessment of technical condition, reconstruction, strengthening and dismantling of building metal structures, technology and organization of work in the construction and reconstruction of buildings and structures.

**Gorokhov Yevgen** – D. Sc. (Eng.), Professor; President of the Donbas National Academy of Construction and Architecture, Head of the Department of Metal Structures and Structures. Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, academician of the Academy of Higher School and the Academy of Construction of Ukraine, Member of the International Committee for the Study of the Impact of Wind on Buildings and Structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.