



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2020, ТОМ 26, НОМЕР 1, 15–24  
УДК 624.014.27:624.042.5

(20)-0404-1

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАШЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГРАДИРНИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ**

**А. М. Югов<sup>1</sup>, С. О. Титков<sup>2</sup>**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

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

*Получена 06 февраля 2020; принята 27 марта 2020.*

**Аннотация.** В статье представлено исследование температурных полей, возникающих при эксплуатации башенной металлической градирни гиперболической 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.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ, ЩО ВИНІКАЮТЬ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАШТОВОЇ МЕТАЛЕВОЇ ГРАДИРНІ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД ЧАСУ**

**А. М. Югов<sup>1</sup>, С. О. Тітков<sup>2</sup>**

*ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

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

*Отримана 06 лютого 2020; прийнята 27 березня 2020.*

**Анотація.** У статті представлено дослідження температурних полів, що виникають при експлуатації баштової металевої градирні гіперболічної форми в зимовий період часу. Виконано контрольні вимірювання температурних полів за допомогою тепловізора, визначені термограми розподілу температурних полів як по висоті, так і по колу витяжної вежі, що виникають за різних погодних умов. Так само проводились вимірювання температури басейну градирні та температури повітря біля горловини баштової металевої градирні. Проведено аналіз отриманих результатів натурного дослідження температурних полів за різних погодних умов. Дана робота проводилася з метою визначення дійсних температурних полів для подальшої верифікації експериментальних даних, одержуваних в лабораторних умовах,

за допомогою термографічного методу дослідження шляхом відтворення технологічних і погодних умов експлуатації на спеціально розробленому стенді, який оцінює кількісний показник технологічної намерзлої криги і її розподіл у поверхні витяжної вежі.

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

## THE STUDY OF TEMPERATURE FIELDS ARISING FROM THE OPERATION OF A TOWER METAL COOLING TOWER IN THE WINTER

Anatoly Yugov<sup>1</sup>, Sergey Titkov<sup>2</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

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

*E-mail: <sup>1</sup> amyurus@mail.ru , <sup>2</sup> titkov7777@yandex.ru*

*Received 06 February 2020; accepted 27 March 2020.*

**Abstract.** The article presents a study of the temperature fields that arise during the operation of a hyperbolic metal tower-cooling tower in winter. Control measurements of temperature fields by means of a thermal imager were made, thermograms of the distribution of temperature fields both in height and around the circumference of the exhaust tower, arising under various weather conditions, were determined. In addition, measurements were taken of the temperature of the basin of the tower and the air temperature at the neck of the tower of a metal tower. The analysis of the results of field studies of temperature fields under various weather conditions is carried out. This work was carried out in order to determine the actual temperature fields for subsequent verification of experimental data obtained in the laboratory using the thermographic method of research by recreating the technological and weather conditions of operation on a specially designed stand that evaluates the quantitative indicator of technological ice and its distribution on the surface of the exhaust tower.

**Keywords:** metal tower 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 [1; 2; 3], 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; 6; 7; 8; 9; 12].

Предметом исследования в данной работе являются температурные поля, возникающие в процессе эксплуатации градирни в зимний период времени при помощи термографического метода исследования [10; 11; 12].

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 [1; 2], 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 [1] и разделу 12 [2] 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



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

данном случае воспользоваться пособием по проектированию градирен [4] в котором раздел 6 пункт 6.4 регламентирует специфические условия работы башенной металлической градирни. Также 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 [10; 11] с погрешностью в результатах измерения 2 % от измеряемого значения [5].

Проведены контрольные измерения температурных полей двенадцатигранной гиперболической вытяжной башни высотой + 54,9 м при температуре окружающей среды  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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. Макеевки преобладает восточный ветер, данное явление возможно объяснить территорией заводской застройки. Но согласно [4] данные сооружения должны проектироваться с учетом розы ветров так чтобы возможные потери при охлаждении оборотной воды не образовывали наледи на ближе стоящих зданиях и сооружениях. Проанализировав территорию застройки предприятия в данном случае, отмечаем, что испарения от градирни 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.

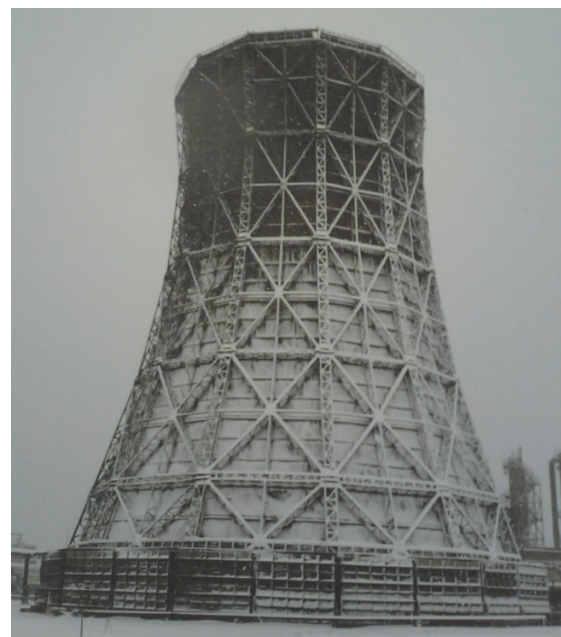
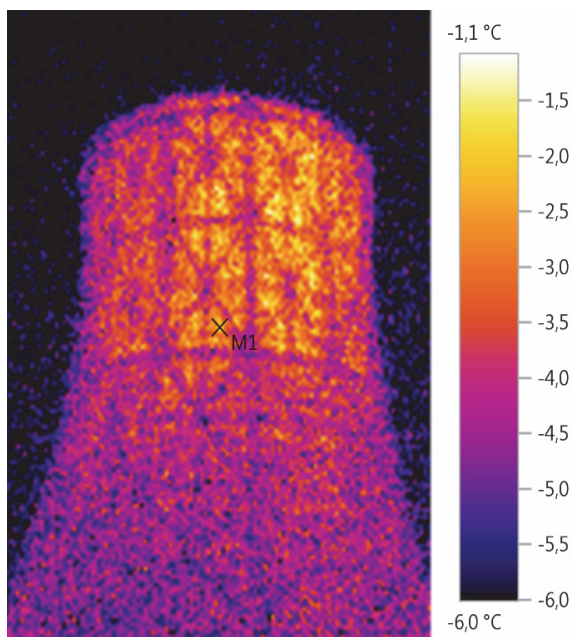
На термограмме (рис. 2) отчетливо видно распределение температурных полей в конструктивных элементах вытяжной башни, при этом разность температур от окружающей среды варьируется от  $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В ходе проведения контрольных измерений также проводились замеры температурного поля бассейна градирни, результаты которых пред-

ставлены на рис. 3. Температура подаваемой воды в бассейн для охлаждения составила  $+10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Во время проведения эксперимента градирня работала в холостом режиме с подачей охлаждаемой воды  $12\ 000\text{ м}^3/\text{час}$  и проведенными специальными мероприятиями по предотвращению технологической наледи, указанными в [4]. Температура воздуха у горловины градирни составила  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , также проводились замеры технологической наледи на строительных конструкциях на отметке  $+54\text{ м}$ , толщина наледи составляла от 15 до 21 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 погодных условий на специально разработанном стенде в морозильной камере.

Результаты обработки термограмм представлены на диаграммах (рис. 6–11) показывают действительное распределение температуры по длине элементов и имеют неравномерный характер распределения температуры по окружности башенной металлической градирни.



**Рисунок 2.** Температурное поле градирни при  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

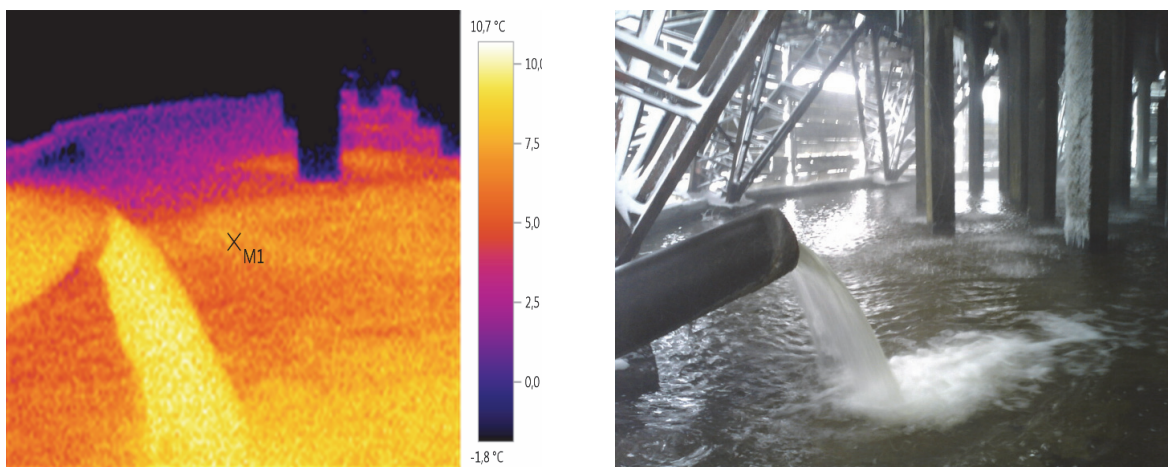


Рисунок 3. Температурное поле бассейна башенной металлической градирни при  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

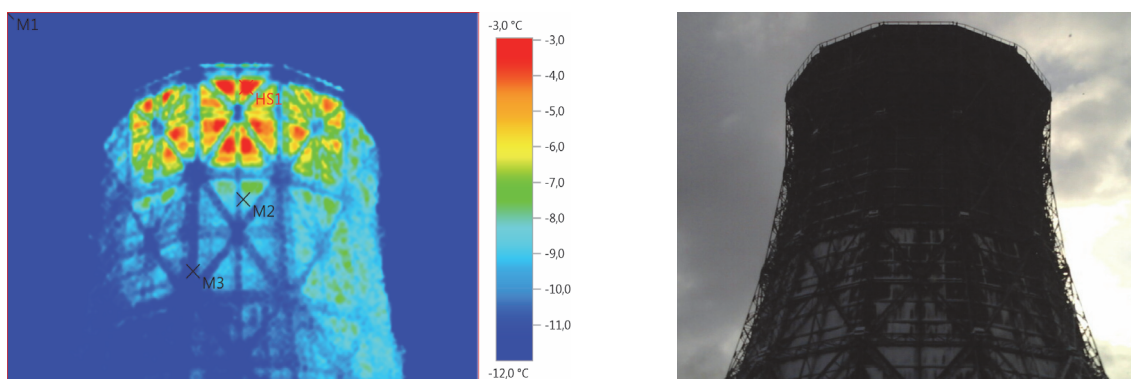


Рисунок 4. Температурное поле наиболее теплого участка вытяжной башни градирни при  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

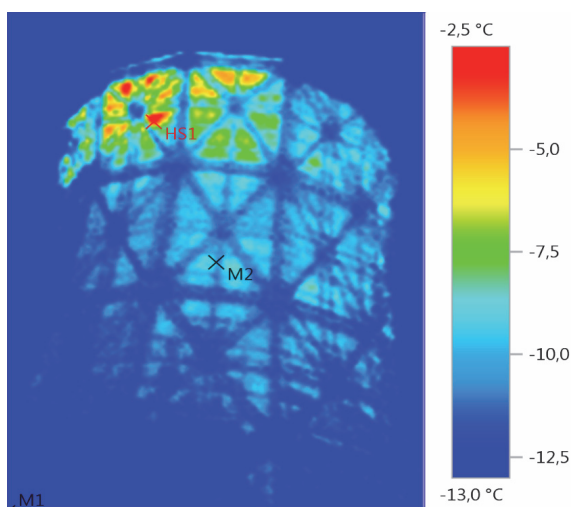
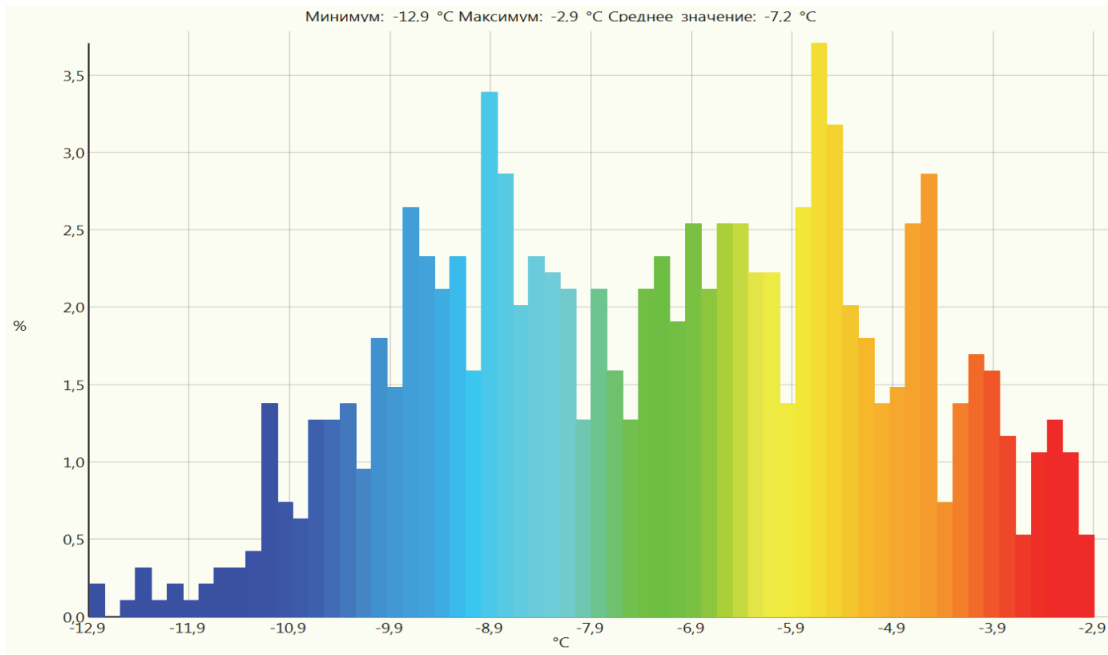


Рисунок 5. Температурное поле градирни при  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

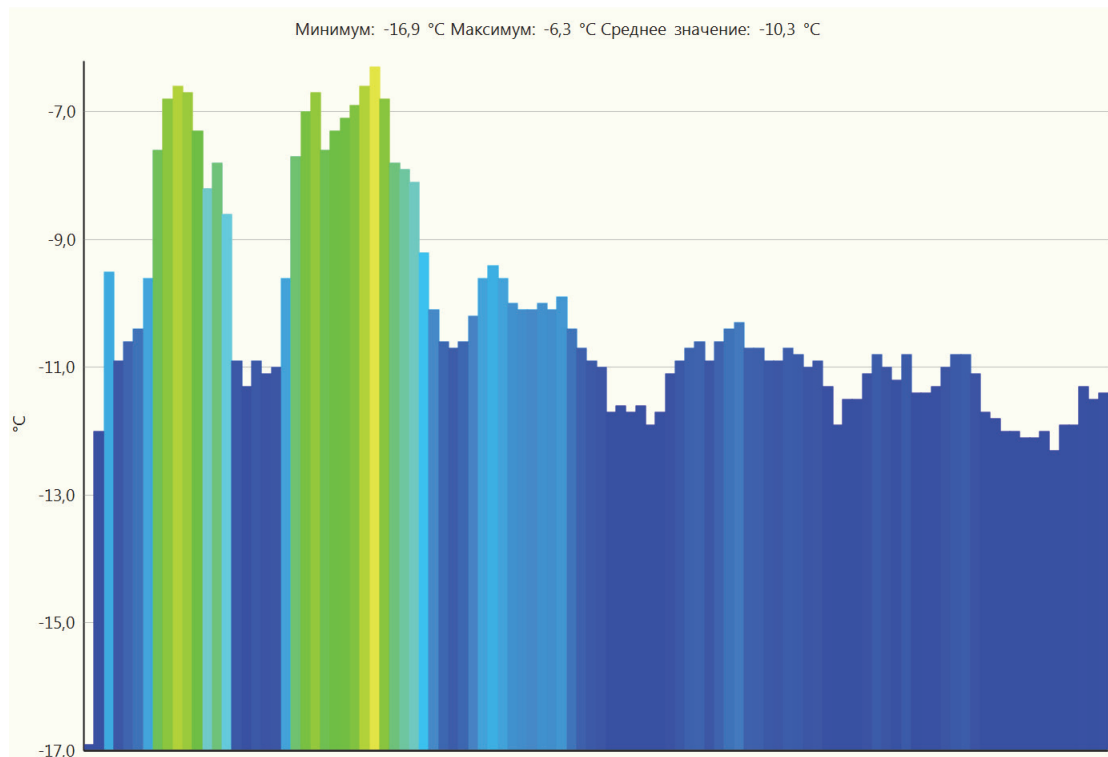
### Заключение

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.

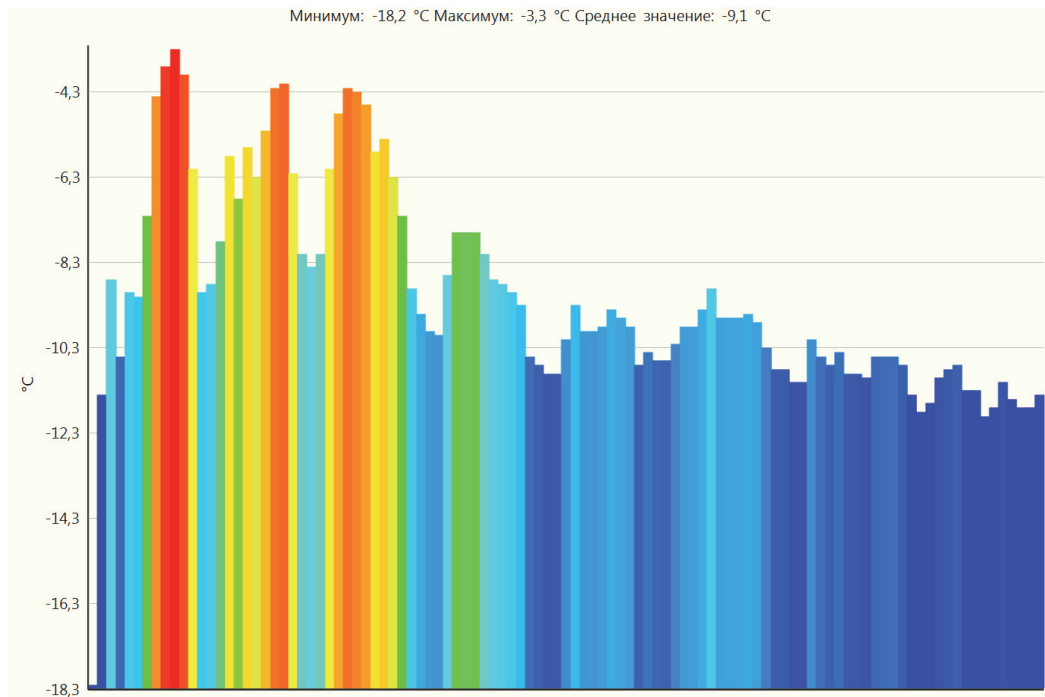
Технологические температурные воздействия при охлаждении оборотной воды распределяются неравномерно в конструктивных элементах сооружения и вносят определенную погрешность при приложении теплового воздействия в соответствии с действующими нормами проектирования.



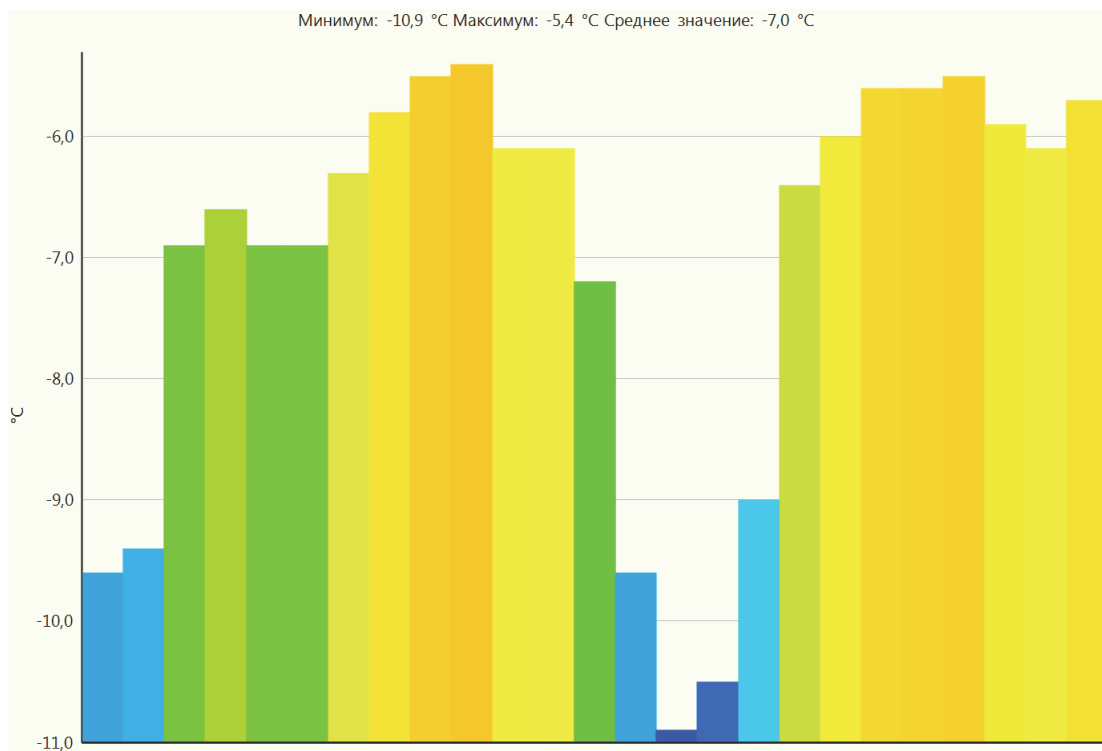
**Рисунок 6.** Диаграмма распределения температуры по поверхности наиболее теплой карты вытяжной башни градирни при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



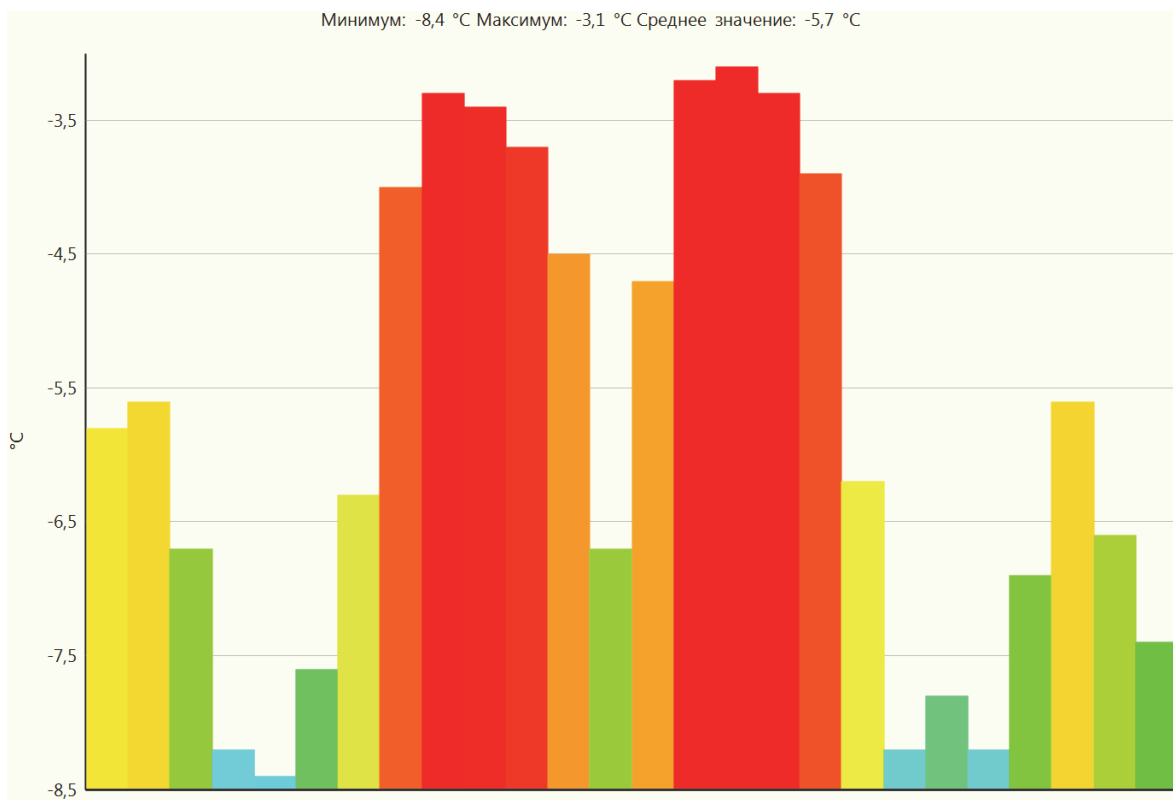
**Рисунок 7.** Диаграмма распределения температурного поля по длине средней стойки наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



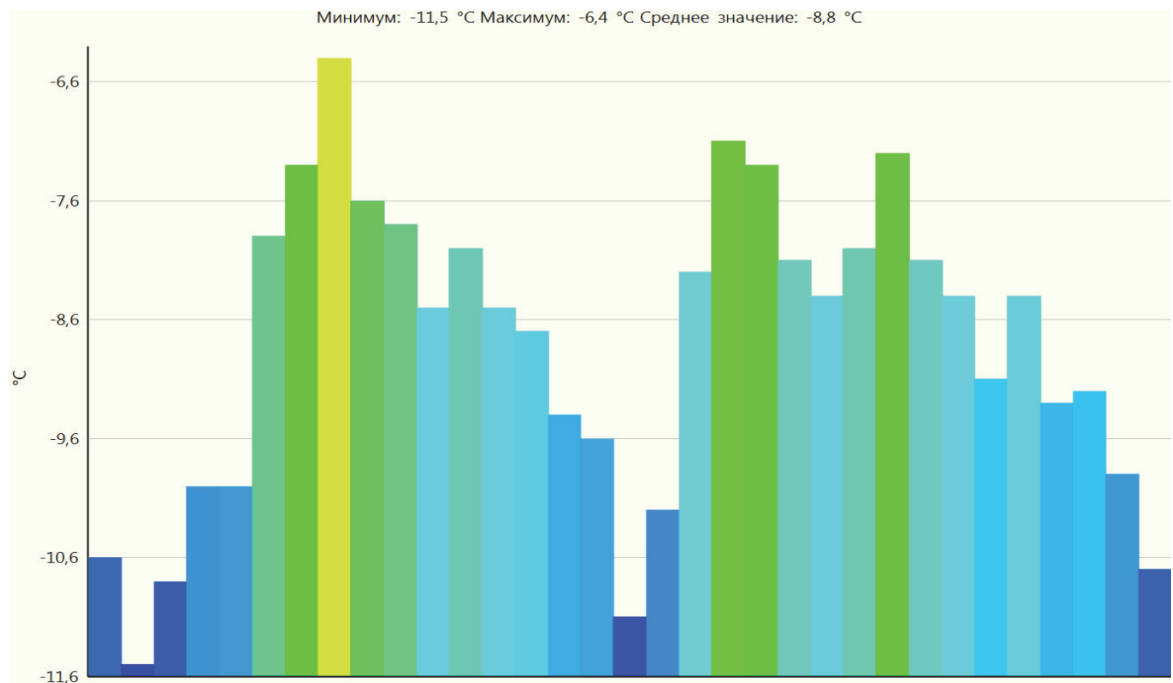
**Рисунок 8.** Диаграмма распределения температурного поля по вертикали обшивки наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**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  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 11.** Диаграмма распределения температуры по длине связи наиболее теплой карты при температуре  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Распределение технологических нагрузок и воздействий в зимний период времени на прямую зависит от эпюры ветрового воздействия на сооружения. В зимний период времени температурные перепады по высоте и окружности сооружения ниже температуры окружающей среды в среднем на 75 %. 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. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.0785\* ; введ. 2017-06-04. – М. : Минстрой России, 2016. – 104 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.0785 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
3. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия [Текст] : введен в первые ; введ. 2018-02-04. – М. : Минстрой России, 2017. – 23 с.
4. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) [Текст] : Утверждено приказом ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР от 20.03.1985 № 27. – М. : ЦИТП Госстроя СССР. – 133 с.
5. Тепловизор Testo 868 [Электронный ресурс] : Руководство по эксплуатации. – Germany : Testo SE&Co. KGaG. 54 с. – Режим доступа : [https://msk.averus-pribor.ru/upload/instructions/IM\\_testo\\_868\\_ru.pdf](https://msk.averus-pribor.ru/upload/instructions/IM_testo_868_ru.pdf).
6. Металлические конструкции. Специальные конструкции и сооружения [Текст] : учеб. для строит. вузов в 3 т. Т. 3 / под ред. В. В. Горева. – 2-е изд. испр. – М. : Высшая школа, 2002. – 544 с.
7. Гордеев, В. Н. О выборе оптимальных очертаний башни [Текст] / В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг, М. П. Кондра // Строительная механика и расчет сооружений. 1969. № 6. С. 59–61.
8. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие [Текст] / под. общ. ред. В. С. Пономаренко. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
9. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование башенной градирни ОАО «ДМЗ» при ее реконструкции [Текст] / Е. В. Шевченко, С. А. Удахин, М. Н. Иващенко // Вісник ДонДАБА : зб. наук. праць. 2003. Том 1, Вип. 2(39). С. 156–158.
10. Ушков, Ф. В. Применение тепловидения в строительстве [Текст] / Ф. В. Ушков, В. И. Сухарев,

## References

1. SP 20.13330.2016 Loads and Impacts [Text]. M. : Ministry of Construction of Russia, 2016. 104 p. (in Russian)
2. DBN V.1.2-2:2006. State building regulations. A system for ensuring the reliability and safety of construction sites. Loads and impacts. Design Standards [Text]. K. : Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukraine)
3. SP 296.1325800.2017 Buildings and constructions. Special Impacts [Text]. M. : Ministry of Construction of Russia, 2017. 23 p. (in Russian)
4. Cooling Tower Design Guide (to SNiP 2.04.02-84) [Text] : Approved by order VNII VODGEO of State Committee of the USSR dated back to 20.03.1985 № 27. M. : CISD USSR. 133 p. (in Russian)
5. Thermal imager Testo 868 [Electronic resource] : Operating Instructions. Germany: Testo SE&Co. KGaG. 54 p. Access mode : [https://msk.averus-pribor.ru/upload/instructions/IM\\_testo\\_868\\_ru.pdf](https://msk.averus-pribor.ru/upload/instructions/IM_testo_868_ru.pdf). (in Russian)
6. Metal constructions. Special constructions and structures [Text] : textbook for builds universities in 3 parts. P. 3 / edited by. V. V. Gorev. 2-nd edit. corrected. M. : Higher school, 2002. 544 p. (in Russian)
7. Gordeyev, V. N.; Grinberg, M. L.; Kondra, M. P. About choosing the optimal shape of the tower [Text]. In: *Structural mechanics and structural analysis*. 1969. № 6. P. 59-61. (in Russian)
8. Cooling towers of industrial and energy enterprises: handbook [Text] / edited by V. S. Ponomarenko. M. : Energoatom publishing house, 1998. 376 p. (in Russian)
9. Shevchenko, Ye. V.; Udakhin, S. A. Ivashchenko, M. N. Optimal tower design PC «DMP» during its reconstruction [Text]. In: *Proceedings of the DNACA : collection of scientific papers*. 2003. Vol. 1, Issue 2(39). P. 156–158. (in Russian)
10. Ushkov, F. V.; Sukharev, V. I.; Novgorodov, V. G. Thermal imaging in construction [Text]. Thermal imaging, MIREA. 1978. Vol. 2. P. 155–158. (in Russian)

- В. Г. Новгородов // Тепловидение, МИРЭА. 1978. Вып. 2. С. 155–158.
11. Сухарев, В. И. Определение излучательной способности поверхности ограждающих конструкций на основе тепловизионных измерений. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [Текст] / В. И. Сухарев, А. В. Золотов, В. Б. Дорохов. – М. : Стройиздат, 1980. – 81 с.
  12. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен [Текст] : монография / А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева. – Казань : КГЭУ, 2004. – 180 с.
  13. Kröger, D. G. Air-cooled Heat Exchangers and Cooling Towers [Текст] // Thermal power plants. 1998. Vol. 3. P. 1–7.
  14. Spangemacher, K. Lösungsmöglichkeiten der Merckelschen Hauptgleichung zur Berechnung von Kühltürmen und Einspritzkühlern [Текст] // BWK. 1961. № 6. S. 273–275.
  15. Markatos, N. C. Mathematical modelling of single and two-phase flow problems in the process industries [Текст] // Revue de l'Institut Français du Pétrole. 1993. Vol. 48, № 6. P. 631–662.
  11. Sukhorev, V. I.; Zolotov, A. V.; Dorokhov, V. B. Determination of the emissivity of the surface of walling based on thermal imaging measurements. Thermal protective properties of building envelopes [Text]. M.: Stroizdat, 1980. 81 p. (in Russian)
  12. Laptev, A. G.; Vedgayeva, I. A. Design and calculation of industrial cooling towers [Text]: monograph. Kazan: KSEU, 2004. 180 p. (in Russian)
  13. Kröger, D. G. Air-cooled Heat Exchangers and Cooling Towers [Text]. In: *Thermal power plants*. 1998. Vol. 3. P. 1–7. (in German)
  14. Spangemacher, K. Lösungsmöglichkeiten der Merckelschen Hauptgleichung zur Berechnung von Kühltürmen und Einspritzkühlern. In: *BWK*. 1961. № 6. S. 273–275. (in German)
  15. Markatos, N. C. Mathematical modelling of single and two-phase flow problems in the process industries [Text]. In: *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. 1993. Vol. 48, № 6. P. 631–662.

**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.

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

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технології і організації будівництва ДОУ 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.

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

**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, white building and reconstruction of buildings and structures.

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