



(21)-0423-1

## **ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ ПЛОЩАДЬЮ ОРОШЕНИЯ 1 600 М<sup>2</sup> С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**К. С. Кутайцев<sup>1</sup>, С. О. Титков<sup>2</sup>, А. В. Танасогло<sup>3</sup>, Р. И. Игнатенко<sup>4</sup>**

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

*E-mail: <sup>1</sup>kutaytsev.k.s-pgs-69a@donnasa.ru, <sup>2</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>3</sup>a.v.tanasoglo@donnasa.ru,  
<sup>4</sup>ignatenkori777@mail.ru*

*Получена 27 апреля 2021; принята 28 мая 2021.*

**Аннотация.** В данной статье выполнен обзор современного состояния темы исследования, а также анализ особенностей сбора нагрузок и расчета стальных градирен по отечественным нормам. Приведены основные сочетания нагрузок с учетом срока их воздействия на градирню. Выполнено исследование динамических свойств стальной градирни с помощью моделирования методом конечных элементов с учетом изменчивости параметров конструктивной формы. Приведены особенности динамического воздействия ветра с учетом вынужденных (пульсационных) и собственных колебаний для недопустимости резонанса. Оптимальное проектирование решетчатой градирни площадью орошения 1 600 м<sup>2</sup> с учетом особенностей ветрового воздействия. Произведено математическое определение модели оптимизации в виде задачи и указание цели, при которой она будет выполняться. Задача оптимизации вынесена в блок-схему на основании программного комплекса, созданного в ДонНАСА. После выполнения оптимизационного расчета и с учетом реальной модели выполнено твердотельное моделирование в ПК Текла, а также приведены показания по результатам оптимизации.

**Ключевые слова:** анализ особенностей сбора нагрузок, исследование динамических свойств стальной градирни, оптимальное проектирование решетчатой градирни.

## **ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ БАШТОВОЇ ГРАДИРНИ ПЛОЩЕЮ ЗРОШЕННЯ 1 600 М<sup>2</sup> З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ**

**К. С. Кутайцев<sup>1</sup>, С. О. Тітков<sup>2</sup>, А. В. Танасогло<sup>3</sup>, Р. І. Ігнатенко<sup>4</sup>**

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

*E-mail: <sup>1</sup>kutaytsev.k.s-pgs-69a@donnasa.ru, <sup>2</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>3</sup>a.v.tanasoglo@donnasa.ru,  
<sup>4</sup>ignatenkori777@mail.ru*

*Отримана 27 квітня 2021; прийнята 28 травня 2021.*

**Анотація.** У даній статті виконано огляд сучасного стану теми дослідження; а також аналіз особливостей збору навантажень і розрахунку сталевих градирень за вітчизняними нормами. Наведено основні поєднання навантажень з урахуванням терміну їх впливу на градирню. Виконано дослідження динамічних властивостей сталеві градирні за допомогою моделювання методом кінцевих елементів з урахуванням мінливості параметрів конструктивної форми. Наведено особливості динамічного впливу вітру з урахуванням вимушених (пульсаційних) і власних коливань для неприпустимості резонансу. Оптимальне проектування ґратчастої градирні площею зрошення 1 600 м<sup>2</sup> з урахуванням особливостей вітрового впливу. Вироблено математичне визначення моделі оптимізації у вигляді задачі і вказівка мети, за якої вона

буде виконуватися. Завдання оптимізації винесено в блок-схему на підставі програмного комплексу, створеного в ДонНАБА. Після виконання оптимізаційного розрахунку і з урахуванням реальної моделі виконано твердотільне моделювання в ПК, а також наведені показання за результатами оптимізації.

**Ключові слова:** аналіз особливостей збору навантажень, дослідження динамічних властивостей сталеві гратирні, оптимальне проектування гратчастої гратирні.

## OPTIMAL DESIGN OF A CHIMNEY-TYPE COOLING TOWER WITH AN IRRIGATION AREA OF 1 600 M<sup>2</sup> TAKING INTO ACCOUNT THE PECULIARITIES OF WIND EXPOSURE

Kirill Kutaitsev<sup>1</sup>, Sergey Titkov<sup>2</sup>, Anton Tanasoglo<sup>3</sup>, Roman Ignatenko<sup>4</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

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

*E-mail: <sup>1</sup>kutaytsev.k.s-pgs-69a@donnasa.ru, <sup>2</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>3</sup>a.v.tanasoglo@donnasa.ru,*

*<sup>4</sup>ignatenkori777@mail.ru*

*Received 27 April 2021; accepted 28 May 2021.*

**Abstract.** This article provides an overview of the current state of the research topic; analysis of the features of collecting loads and calculating steel cooling towers according to domestic standards. The main combinations of loads are given, taking into account the duration of their impact on the cooling tower. The study of the dynamic properties of a steel cooling tower is carried out using finite element modeling, taking into account the variability of the parameters of the structural shape. The features of the dynamic effect of the wind are given, taking into account forced (pulsation) and natural vibrations for the inadmissibility of resonance. Optimal design of a grid cooling tower with an irrigation area of 1 600 m<sup>2</sup>, taking into account the peculiarities of wind exposure. The mathematical definition of the optimization model in the form of a task and an indication of the goal at which it will be performed is made. The optimization problem is presented in the block diagram on the basis of the software package created in DNACEA. After performing the optimization calculation and taking into account the real model, solid-state modeling was performed in the Tecla PC, as well as indications for the optimization results were given.

**Keywords:** analysis of load collection features, study of the dynamic properties of a steel cooling tower, optimal design of a lattice cooling tower.

### Актуальность темы

При реконструкции зданий и сооружений на территории действующих производств приходится решать ряд вопросов: проектирование конструкций надежных в эксплуатации и монтаже, выдача проекта в кратчайшие сроки, организация строительно-монтажных работ в стесненных условиях. Применение современных методов расчета и конструирования с применением компьютерной техники (рис. 1) позволяет объединить все вопросы в общий процесс нового проектирования и реконструкции. Поэтому тема

статьи по оптимальному проектированию является актуальной на сегодняшний день.

### Особенности расчета гратирни

Расчет гратирни производится на основные сочетания нагрузок. Основные сочетания нагрузок состоят из постоянных, длительных и кратковременных [2, 3, 4].

К постоянным нагрузкам относятся:

- вес сооружения, а именно вес несущих и ограждающих конструкций (рис. 2);
- вес и давление грунтов (насыпка и засыпка).

К длительным относятся нагрузки:

- от водораспределительной системы;
- от оросителей и веса водяной пленки;
- от водоуловителей;
- от веса вентилятора, электродвигателя, конфузора и диффузора;
- от пыли;
- от снега.

К кратковременным нагрузкам относятся:

- снеговая нагрузка;
- от наледей;
- аэродинамическая;
- вес людей и материалов.

Расчет стальных конструкций башенной металлической градирни выполнен по методу предельных состояний в соответствии с требованиями ДБН В.1.2-2: 2006, ДБН В.2.6-198: 2014.

По деформативности в горизонтальной и вертикальной плоскостях башенная металлическая градирня удовлетворяет требованиям нормальной эксплуатации в районе ее установки [5, 12, 14].

Расчетным сочетанием нагрузок для подбора сечений стойки опоры являются: собственная масса опоры и максимальное давление ветра, их сочетание для наиболее неблагоприятных случаев [1].

Расчетная схема определена как система с признаком 5 (пространственная система). Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей. Расчетная схема стальных

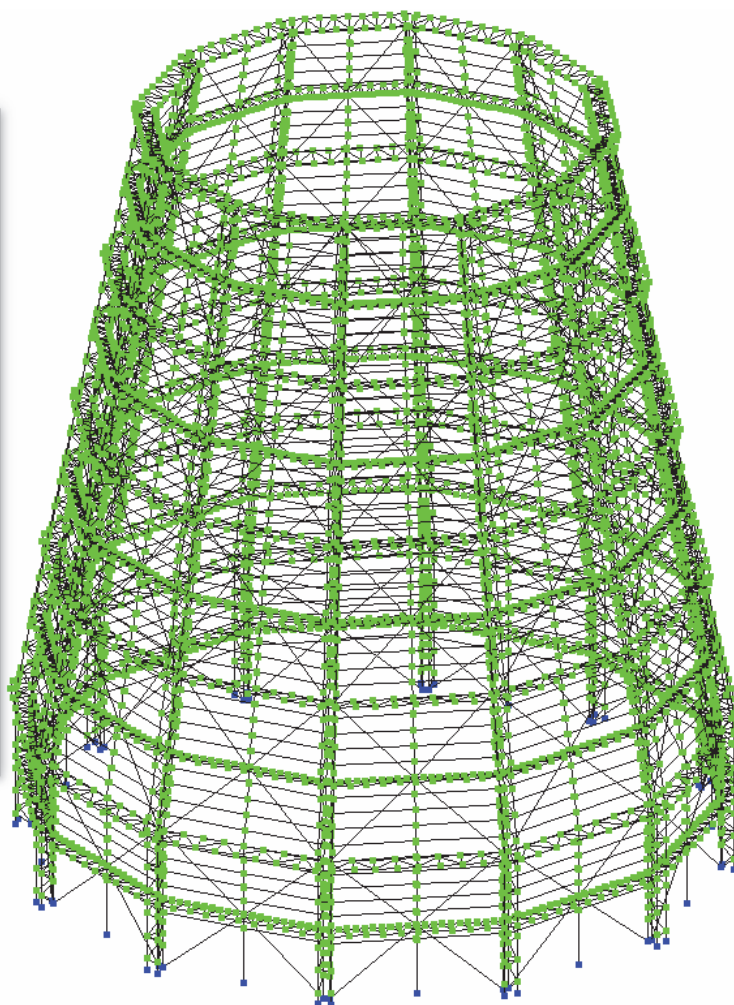
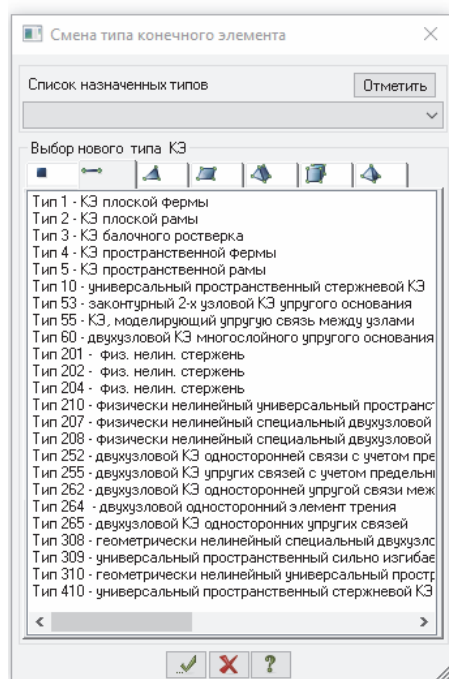


Рисунок 1. Типы конечных элементов градирни.

конструкций башенной металлической гирдини Лира САПР 2013 приведена на рис. 4. Для оценки всех параметров напряженно-деформированного состояния конструкций башенной металлической гирдини разработана стержневая конечно-элементная модель (рис. 1).

### Особенности динамического воздействия ветра

При расчете особенностей ветровой нагрузки учитываем собственные и вынужденные колебания [6, 8, 10].

Ветер представляет собою нерегулярное, турбулентное движение воздуха, и в связи с этим при решении большинства прикладных задач, в

том числе и проблем строительной динамики, скорость ветра рассматривается как случайный векторный процесс, который, как обычно, описывается своими пространственными и временными статистическими характеристиками: средней величиной, дисперсией, авто- и взаимными спектральными и корреляционными функциями [7, 11, 20].

Целью динамического расчета на ветровое воздействие (рис. 3) является анализ установившихся колебаний сооружения в ветровом потоке. При этом вероятностные характеристики узловых перемещений, внутренних сил или напряжений определяются в конечных элементах раздельно от действия средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки [16, 18].

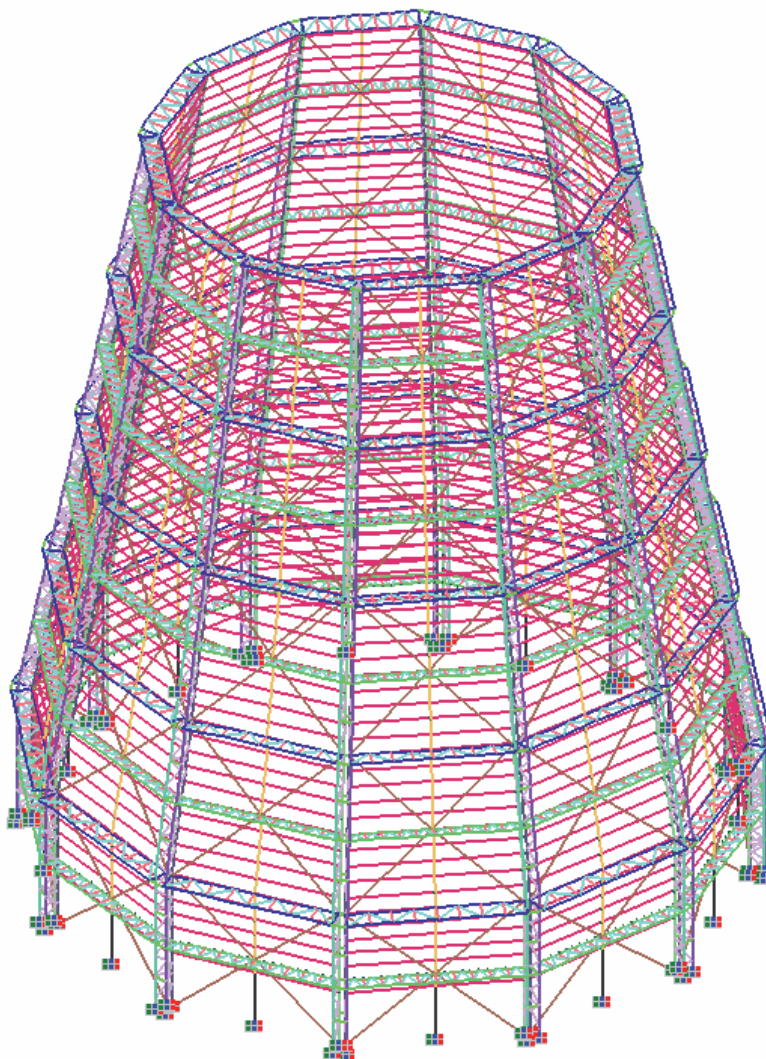


Рисунок 2. Цветовая индикация элементов жесткости.

Нормативное значение динамической составляющей ветровой нагрузки определяется для каждой формы колебаний опоры в виде системы инерционных сил (рис. 4), приложенных к сосредоточенным массам по направлениям их возможных колебаний [13, 17, 18].

Инерционная сила (кН), приложенная к сосредоточенной массе с номером  $j$  при колебаниях сооружения по  $i$ -ой собственной форме, определяется по формуле:

$$W_p^{ij} = M_j \cdot \xi_i \cdot \eta_{ij} \cdot \nu, \quad (1)$$

где  $M_j$  – сосредоточенная масса, т;

$\xi_i$  – коэффициент динамичности  $i$ -й формы колебаний;

$\eta_{ij}$  – приведенное ускорение, м/с<sup>2</sup>, массы  $M_j$ ;

$\nu$  – коэффициент, учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте опоры.

Приведенное ускорение  $\eta_{ij}$  (м/с<sup>2</sup>) определяется по формуле:

$$\eta_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot \sum_{k=1}^r a_{ik} \cdot W_{mk} \cdot \varphi_k}{\sum_{k=1}^r a_{ik}^2 \cdot M_k}, \quad (2)$$

где  $M_k$  –  $k$ -я сосредоточенная масса;

$a_{ij}$ ,  $a_{ik}$  – относительные ординаты, взятые из собственного вектора  $i$ -й формы колебаний;

$W_{mk}$  – нормативная ветровая нагрузка, действующая на  $k$ -ю массу;

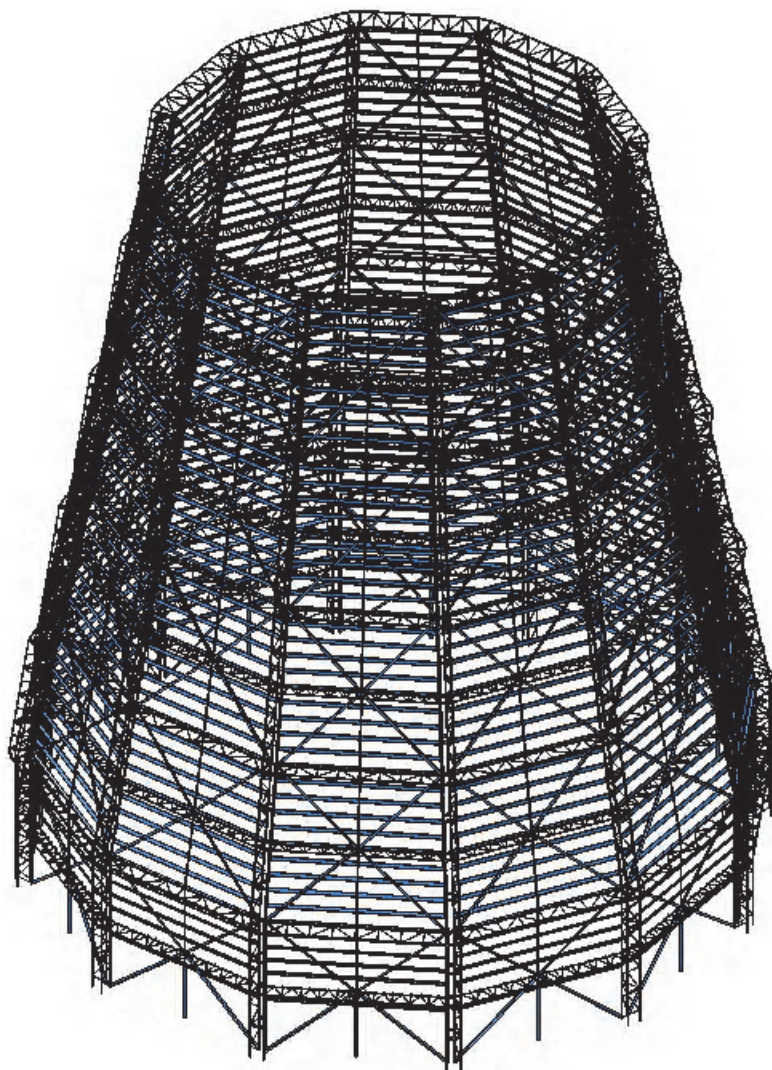


Рисунок 3. 3D вид стержневой схемы градирни в ПК Лира САПР 2013.

$\varphi_k$  – коэффициент пульсаций скоростного напора ветра на уровне массы  $M_k$ ;  
 $r$  – число участков, на которые разбита опора.

В расчетах учитываются только  $S$  первых форм собственных колебаний. Число  $S$  определяется из условия

$$f_s < f_l < f_{s+1}, \quad (3)$$

где  $f_s$  – техническая частота собственных колебаний сооружения, Гц;  
 $f_l$  – исходя из расчета.

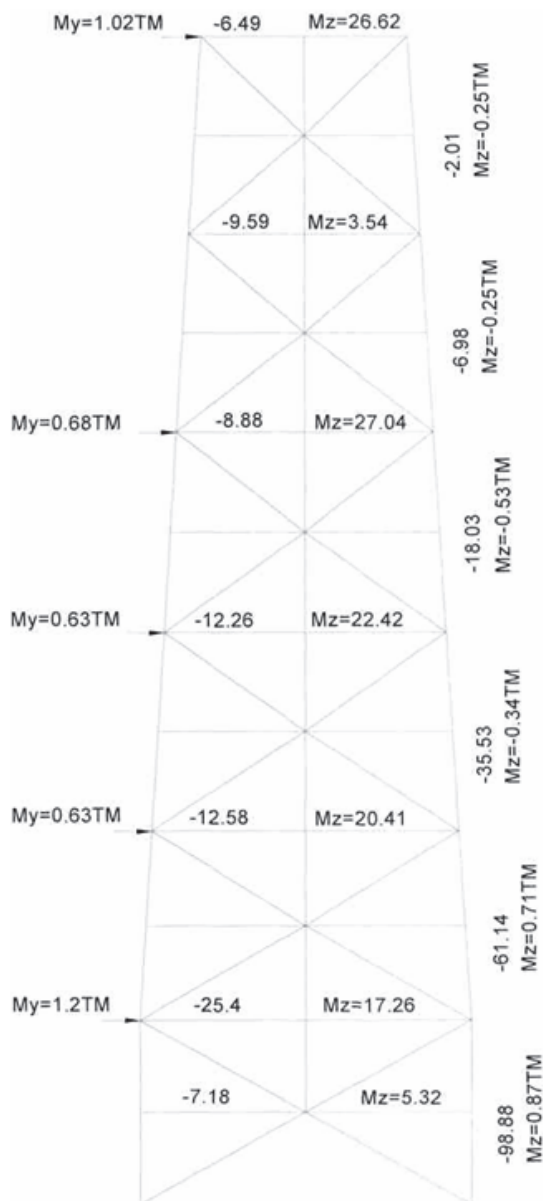


Рисунок 4. Усилия в элементах конструкции.

Таким образом, цель нашего расчета – сравнение собственных и вынужденных колебаний с проверкой на резонанс (рис. 5).

### Оптимизация башенной градирни

На кафедре металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработан программный комплекс по расчету и конструированию стальных решетчатых конструкций (рис. 6), который представляет собой систему автоматизированного проектирования оптимальных опор. Комплекс применяется для оптимизации опор ЛЭП, башен мобильной связи, решетчатых градирен. Проектирование конструкций башенных градирен определяется большим числом разнообразных параметров и требований: площадью орошения, габаритами тамбура, высотой башни, районом строительства, материалом конструктивных элементов, возможностями завода-изготовителя, сортаментом и др. При проектировании башенных градирен часть параметров является однозначно заданной: геометрические размеры, назначаемые из условия площади орошения и необходимой высоты башни для обеспечения воздушной тяги, а также нагрузки (величина скоростного напора ветра, толщина гололедных отложений на внутренней стороне обшивки башни) [9, 10]. Варьируемыми параметрами, от которых зависит эффективность башни, являются: конструктивная форма градирни, форма отдельных конструктивных элементов (тамбур, вытяжная башня), тип связей по колоннам и типы соединения элементов в узлах, количество ярусов, размеры карт ярусов, количество и шаг прогонов обшивки башни. Учесть все эти параметры в рамках одного метода оптимизации теоретически очень трудно, а практически – невозможно. Поэтому задачу оптимизации целесообразно решать поэтапно, используя на каждом этапе свой рациональный метод оптимизации.

Математическая задача выглядит так: минимизировать целевую функцию

$$W = f(X) \rightarrow \min \quad (4)$$

$$b_j \leq X_j \leq B_j, \quad j = 1, 2 \quad (5)$$

Варьируемые параметры  $X$  являются как непрерывно изменяющимися, так и дискретными.

Неравенство (4) задает пределы изменения переменных проектирования, где  $b_3$  и  $B$  – соответственно нижний и верхний пределы,  $t$  – число переменных проектирования.

Уравнение состояния стержневой системы записывается в форме МКЭ:

$$K(X) \cdot Z - P(X) = 0, \quad (6)$$

где  $K(X)$  – матрица жесткости системы;

$Z$  – вектор узловых перемещений;

$P(X)$  – вектор внешних нагрузок.

Задача оптимизации сводится к нахождению вектора варьируемых параметров  $X$ , который

минимизирует целевую функцию (5) и удовлетворяет ограничениям (5) и уравнениям связи (6). Эффективное решение поставленной задачи зависит от выполнения экономических, конструктивных, технологических, эксплуатационных и других требований.

### Результаты расчета и визуализации в програмных комплексах

1. Конструкции (рис. 2) рассчитаны в соответствии с заданием на расчет, а также действующими нормативными документами.

Модальный анализ  
 Форма колебаний в л. с. 1  
 Массы собраны из нагрузжений: 1

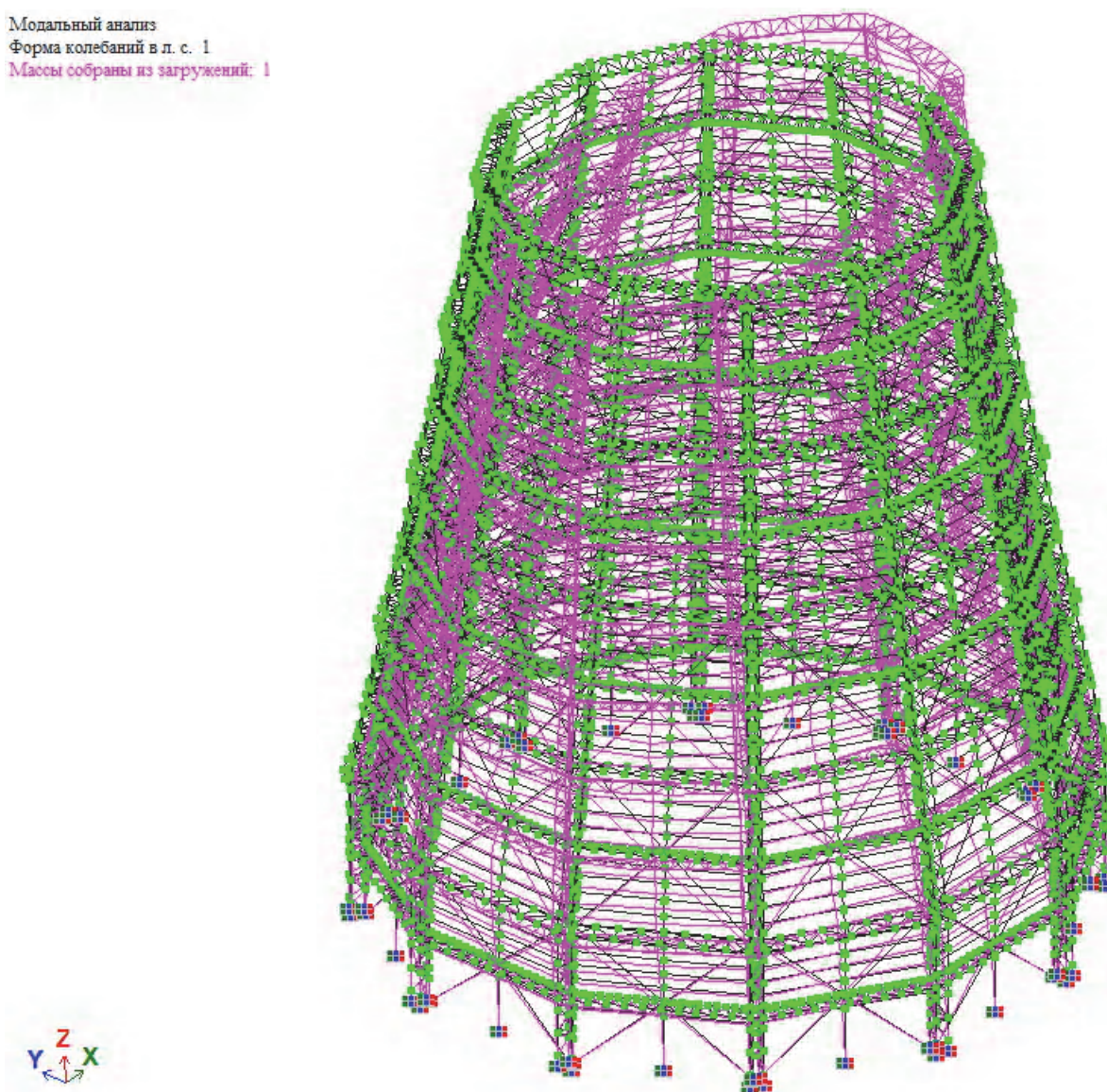


Рисунок 5. Первая форма колебаний.

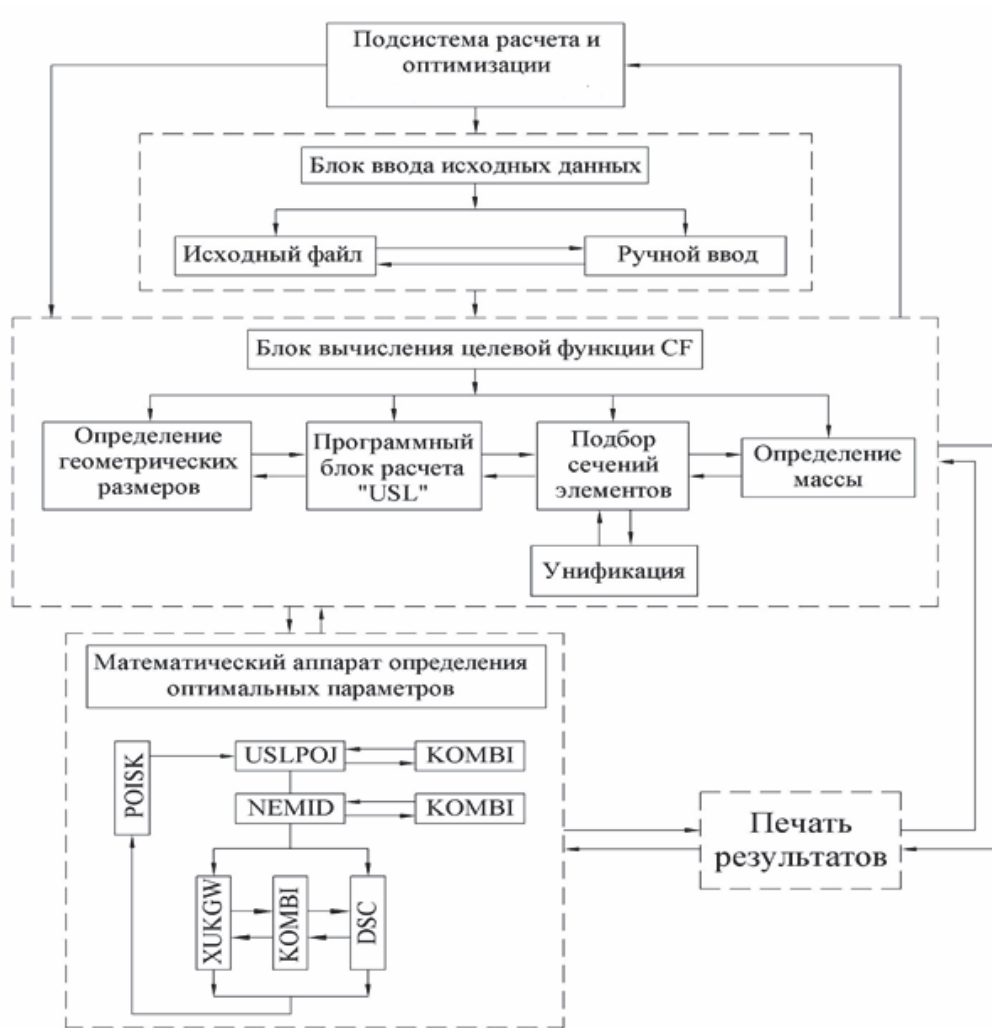


Рисунок 6. Блок-схема оптимизационного расчета.

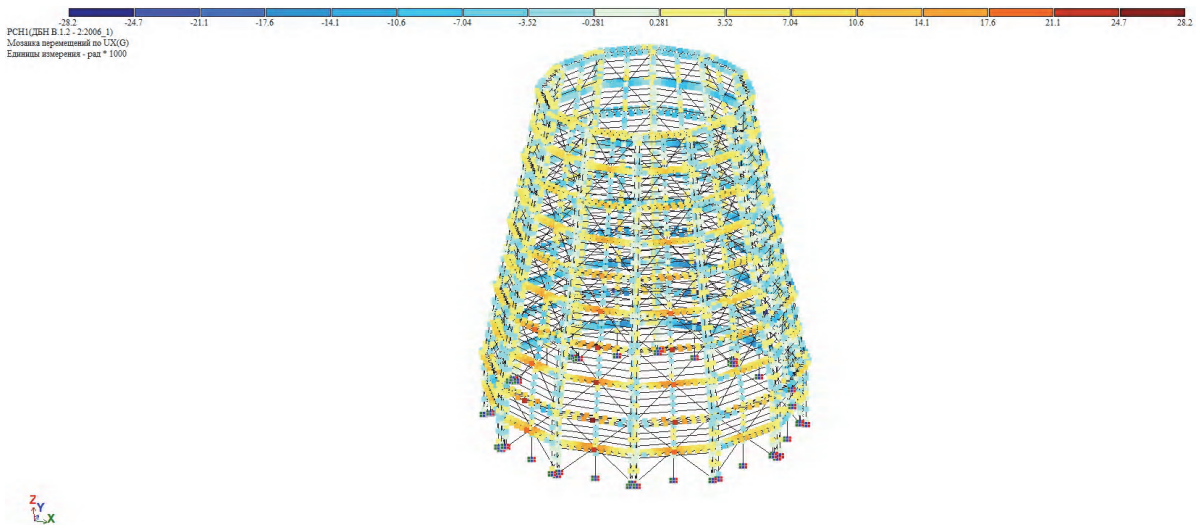
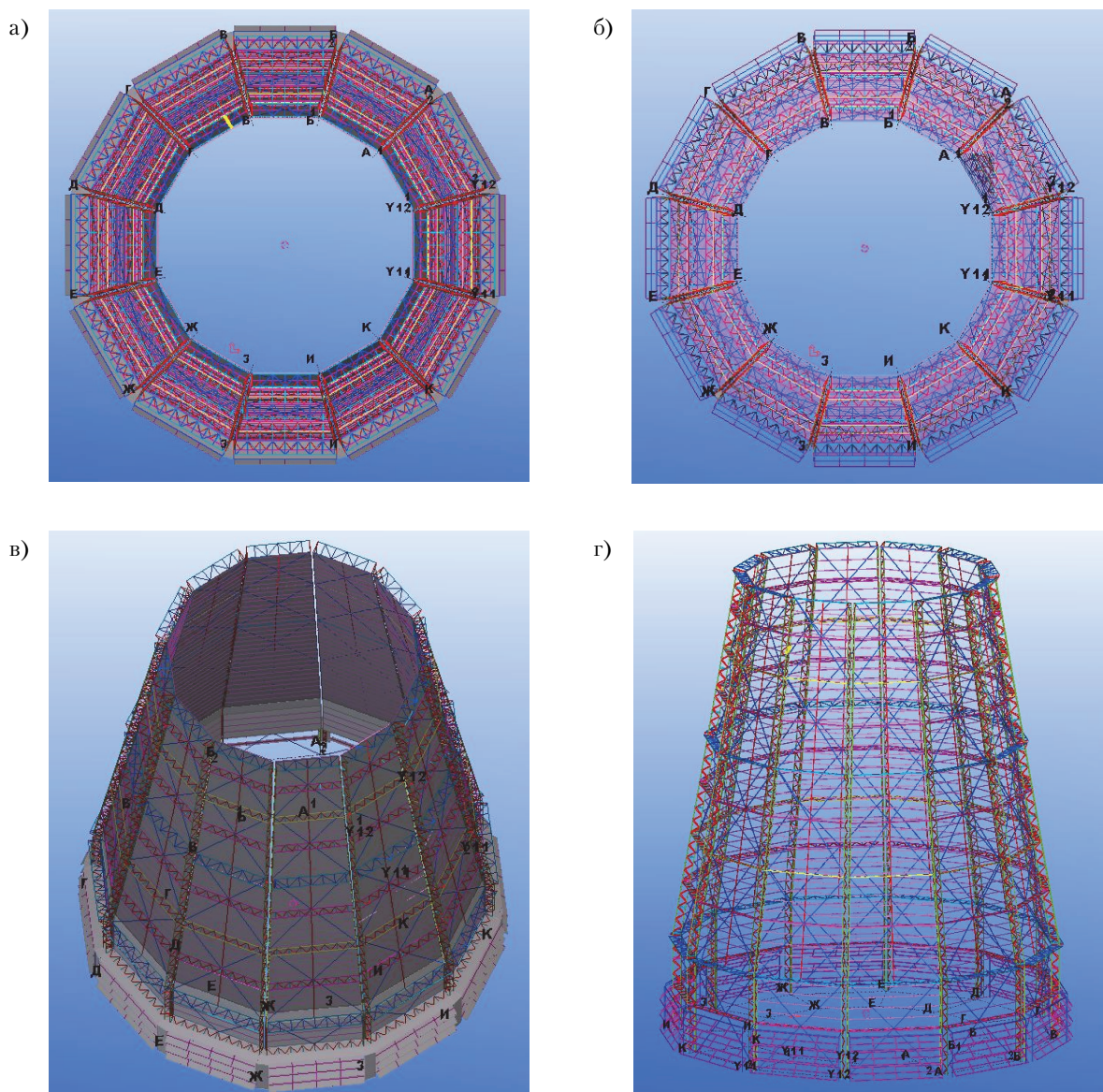


Рисунок 7. Перемещения узлов по оси Z.





**Рисунок 8.** Трехмерная пространственная модель башенной градирни: а) вид сверху (пластинчатые элементы); б) вид сверху (конечные элементы); в) общий вид (пластинчатые элементы); г) общий вид (конечные элементы).

2. Коэффициент запаса по общей устойчивости сооружения при опасном рсн-1 составляет 1,6617 что больше требуемого 1,3. Так что общая устойчивость сооружения обеспечена.
3. Проценты использования сечений не превышают 100%, следовательно, прочность, устойчивость, гибкость элементов сооружения обеспечены.
4. Перемещение находится в нормативно допустимом диапазоне 1/100 рис. 2 (550 мм).

5. Выполнены расчет и визуализация узлов и связей градирни (рис. 9).

Выполнен расчет оптимальной конструкции, экономия металла составила 28,5 %, с 263 304 кг до 188 280 кг. На основе расчета было выполнено трехмерное моделирование в ПК Текла (рис. 8а, б, в, г).

#### **Выводы**

1. Выполнен обзор и анализ существующей нормативной базы по расчету и проектированию

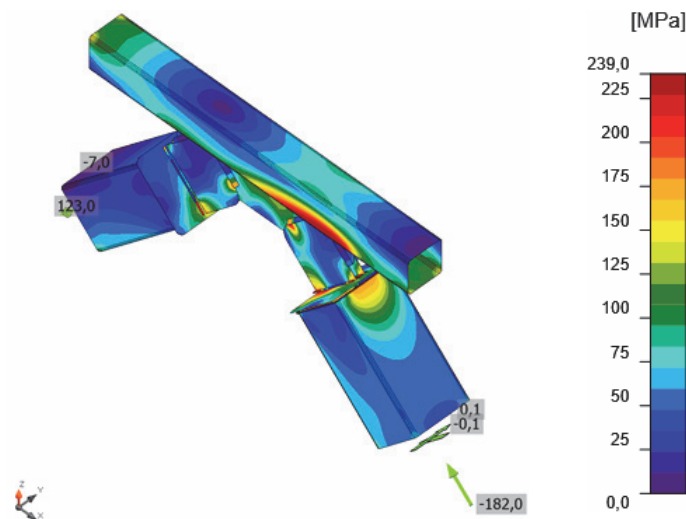


Рисунок 9. Эквивалентные напряжения в узле крестовой связи.

металлических решетчатых градирен, который показал недостаточность проработки вопросов, связанных с точным определением ветровых воздействий.

2. Проведен динамический анализ поведения конструкций решетчатой градирни. На основании модального анализа определены формы и частоты собственных колебаний стержневой пространственной модели градирни.
3. Выполнен динамический расчет башенной градирни на действие ветра. В результате установлено, что при действии воздушного

потока собственные частоты колебаний конструкции не совпадают с частотами вихревых потоков ветра (вихревыми дорожками Кармана). Следовательно, наступление резонанса или раскачивания конструкции градирни в поперечном направлении не произойдет.

4. Разработана новая конструктивная форма металлической решетчатой градирни площадью орошения 1 600 м<sup>2</sup> с учетом особенностей ветрового потока. Запроектированная оптимальная башенная градирня позволила по сравнению с типовой конструкцией снизить показатель массы до 28,5 %.

## Литература

1. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2012 : учебное пособие / Р. Ю. Водопьянов, Ю. В. Гензерский, В. П. Титок, А. Е. Артемонова. – Киев-Москва : Электронное издательство, 2012. – 249 с. – Текст : непосредственный.
2. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с. – Текст : непосредственный.
3. Гладков, В. А. Вентиляторные градирни / В. А. Гладков, Ю. И. Арефьев, В. С. Пономаренко ; под ред. В. А. Гладкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1976. – 216 с. – Текст : непосредственный.
4. Танасогло, А. В. Оптимальные конструктивные решения двухцепных анкерно-угловых опор линий

## References

1. Vodopyanov, R. Yu.; Genzersky, Yu. V.; Titok, V. P.; Artemonova, A. Ye. The program complex LIRA-SAPR 2012 : textbook. – Kiev-Moscow : Electronic publishing, 2012. – 249 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Ponomarenko, V. S.; Arefyev, Yu. I. Industrial and energy cooling towers. – Moscow : Energoatomizdat, 1998. – 376 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Gladkov, V. A.; Arefyev, Yu. I.; Ponomarenko, V. S. ; edited by V.A.Gladkov. Fan cooling towers. – 2nd ed., revised and supplemented. – Moscow : Stroizdat, 1976. – 216 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Tanasoglo, A. V. Optimal design solutions for double-circuit anchor-angle supports for 110 kV power lines. – Text : direct. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2015. – Volume 11, № 1. – P. 5–14. (in Russian)

- электрпередачи 110 кВ / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – Том 11, № 1. – С. 5–14.
5. Лихтарников, Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. – Москва : Стройиздат, 1979. – 319 с. – Текст : непосредственный.
  6. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа [и др.]. – Текст : непосредственный // MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 86. – P. 19–28.
  7. Аэродинамика электросетевых конструкций : монография / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, И. В. Назим ; под редакцией Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с. – Текст : непосредственный.
  8. Ильченко, О. Т. Тепло- и массообменные аппараты ТЭС и АЭС / О. Т. Ильченко, Б. А. Левченко. – Киев : Вища школа, 1992. – 207 с. – Текст : непосредственный.
  9. Gordeiev, V. Optimization of the shape of chord-free towers in connection with a wind load / V. Gordeiev, N. Shamanska. – Текст : непосредственный // Steel structures : culture & sustainability 2010 : proceedings of the international symposium, Istanbul, 21–23 September, 2010. – Istanbul : Turkish Constructional Steelwork Association, 2010. – P. 669–678.
  10. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p. – Текст : непосредственный.
  11. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV / Ye. Shevchenko, Ya. Nazim, A. Tanasoglo, I. Garanzha. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2015. – Volume 117. – P. 1033–1040.
  12. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование конструкций башенных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ / Е. В. Шевченко, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – Випуск 2013-3(101) Будівлі та конструкції з застосуванням нових матеріалів та технологій. – С. 114–116.
  13. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа [и др.]. – Текст : непосредственный // MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 86. – С. 19–28.
  14. Танасогло, А. В. Уточнение коэффициента динамичности анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2012. – Том 18, № 2. – С. 135–145.
  5. Likhtarnikov, Ya. M. Optional design and optimization of steel structures. – Moscow : Stroizdat, 1979. – 319 p. – Text : direct. (in Russian)
  6. Pustogvar, P. A.; Tanasoglo, A. V.; Garanzha, I. M. [et. al.]. Optimal design of lattice metal structures for overhead power lines. – Text : direct. – In: *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – № 86. – P. 19–28. (in Russian)
  7. Gorokhov, Ye. V.; Kazakevich, M. I.; Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V.; edited by Ye. V. Gorokhov, M. I. Kazakevich. Aerodynamics of power grid structures : monograph. – Donetsk : [s. n.], 2000. – 336 p. – Text : direct. (in Russian)
  8. Ilchenko, O. T.; Levchenko, B. A. Heat and mass transfer apparatus of TPP and NPP. – Kiev : High School, 1992. – 207 p. – Text : direct. (in Russian)
  9. Gordeiev, V.; Shamanska, N. Optimization of the shape of chord-free towers in connection with a wind load. – Text : direct. – In: *Steel structures : culture & sustainability 2010 : proceedings of the international symposium*. – Istanbul : Turkish Constructional Steelwork Association, 2010. – P. 669–678. (in English)
  10. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p. – Text : direct. (in English)
  11. Shevchenko, Ye.; Nazim, Ya.; Tanasoglo, A.; Garanzha I. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV. – Text : direct. – In: *Procedia Engineering*. – 2015. – Volume 117. – P. 1033–1040. (in English)
  12. Shevchenko, Ye. V.; Tanasoglo, A. V. Optimal design of structures of tower anchor-angle poles of 110 kV overhead lines. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2013. – Issue 2013-3 (101) Buildings and structures using new materials and technologies. – P. 114–116. (in Russian)
  13. Pustogvar, A. P.; Tanasoglo, A. V.; Garanzha, I. M. [et. al.]. Optimal design of lattice metal structures for overhead power lines. – Text : direct. – In: *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – № 86. – P. 19–28. (in Russian)
  14. Tanasoglo, A. V. Refinement of the dynamic factor of the anchor-angular support of 110 kV overhead lines under the action of the pulsating component of the wind load. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2012. – Volume 18, № 2. – P. 135–145. (in Russian)
  15. Prokhorov, Ye. I. Cooling tower design: results and perspectives. – Text : direct. – In: *Water supply and sanitary equipment*. – 2004. – № 2. – P. 21–24. (in Russian)
  16. Kroger, D. G. Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers: Thermal-Flow Performance Evaluation and Design. – New York : Begell House, 1998. – 900 p. – Text : direct. (in English)
  17. Merkel, F. Verdunstungskühlung. – Text : direct. – In: *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*

15. Прохоров, Е. И. Конструирование градирен: итоги и перспективы / Е. И. Прохоров. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 2. – С. 21–24.
16. Kroger, D. G. Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers: Thermal-Flow Performance Evaluation and Design / D. G. Kroger. – New York : Begell House, 1998. – 900 p. – Текст : непосредственный.
17. Merkel, F. Verdunstungskühlung / F. Merkel. – Текст : непосредственный // Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure (V.D.I.). – 1925. – Volume 70. – P. 123–128.
18. Box, M. J. Nonlinear optimization techniques : monograph / M. J. Box, D. Davies, W. H. Swann. – Edinburgh : Oliver and Boyd, 2012. – 60 p. – Текст : непосредственный.
19. Lichtenstein, J. Performance and Selection of Mechanical-Draft Cooling Towers / J. Lichtenstein. – Текст : непосредственный // ASME Transactions. – 1943. – Volume 65. – № 7. – P. 779–787.
20. Nottage, H. B. Merkel's Cooling Diagram as a Performance Correlation for air-water evaporative cooling systems / H. B. Nottage. – Текст : непосредственный // ASHRAE Transactions. – 1941. – Volume 47. – P. 429–448.
- (V.D.I.). – 1925. – Volume 70. – P. 123–128. (in German)
18. Box, M. J.; Davies, D.; Swann, W. H. Nonlinear optimization techniques : monograph. – Edinburgh : Oliver and Boyd, 2012. – 60 p. – Text : direct. (in English)
19. Lichtenstein, J. Performance and Selection of Mechanical-Draft Cooling Towers. – Text : direct. – In: *ASME Transactions*. – 1943. – Volume 65. – № 7. – P. 779–787. (in English)
20. Nottage, H. B. Merkel's Cooling Diagram as a Performance Correlation for air-water evaporative cooling systems. – Text : direct. – In: *ASHRAE Transactions*. – 1941. – Volume 47. – P. 429–448. (in English)

**Кутайцев Кирилл Сергеевич** – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование решетчатых конструкций башенного типа.

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

**Танасогло Антон Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

**Игнатенко Роман Иванович** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология монтажа металлических решетчатых башенных опор ЛЭП, экспериментально-теоретическое исследование работ опор линий электропередач.

**Кутайцев Кирило Сергійович** – магістрант кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність і оптимальне проектування ґратчастих конструкцій баштового типу.

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

**Танасогло Антон Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність і оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередавання та антенних опор, вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

**Ігнатенко Роман Іванович** – асистент кафедри технології і організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія монтажу металевих ґратчастих баштових опор ЛЕП, експериментально-теоретичне дослідження робіт опор ліній електропередавання.

**Kutaytsev Kirill** – Master’s student, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal design of tower-type lattice structures.

**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.

**Tanasoglo Anton** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures, studying of the valid work of metal lattice tower supports.

**Ignatenko Roman** – Assistant, Technology and Organization of Building Department, Donbas National academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology of installation of metal lattice towers for power transmission lines, experimental and theoretical research of the work of power transmission line supports.