

УДК 621.315.1:624.014

**А. В. ТАНАСОГЛО, С. Н. БАКАЕВ, С. А. ФОМЕНКО, К. С. КУТАЙЦЕВ, Л. В. КОЗЛОВА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ  
БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ ПЛОЩАДЬЮ ОРОШЕНИЯ 1 600 М<sup>2</sup>**

**Аннотация.** В данной статье выполнен обзор современного состояния темы исследования; 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. 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.

**ВВЕДЕНИЕ**

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 ГРАДИРНИ**

Расчет градирни производится на основные сочетания нагрузок: основные сочетания нагрузок состоят из постоянных, длительных и кратковременных.

К постоянным нагрузкам относятся:

- вес сооружения (вес несущих и ограждающих конструкций);
- 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.

© А. В. Танасогло, С. Н. Бакаев, С. А. Фоменко, К. С. Кутайцев, Л. В. Козлова, 2021

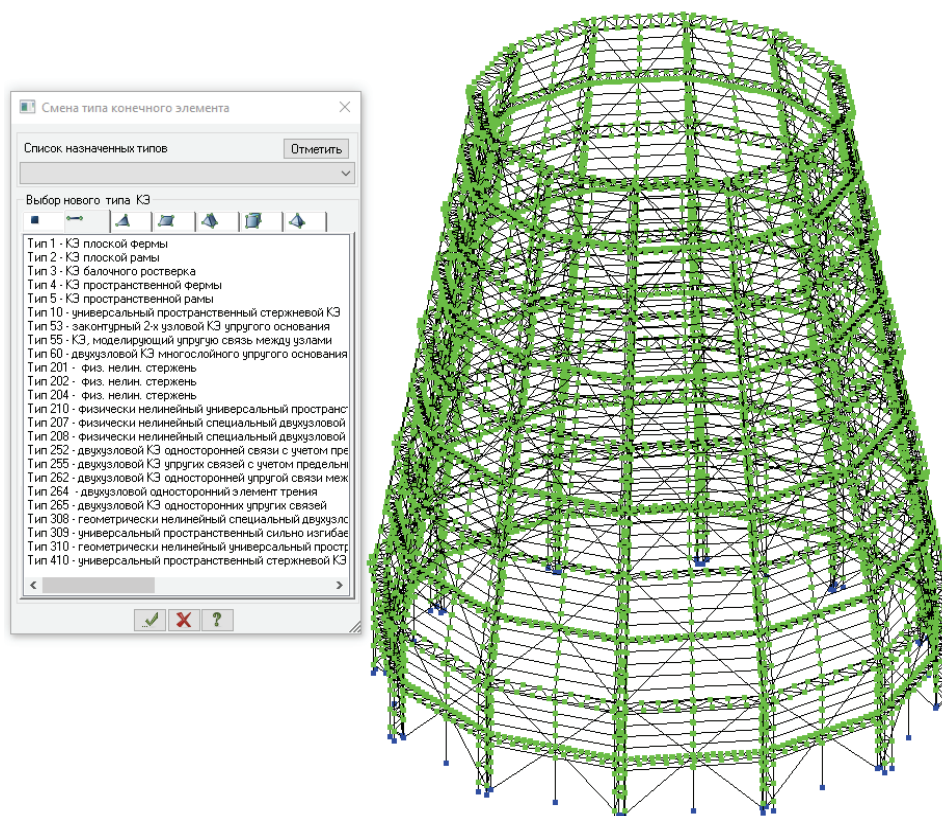


Рисунок 1 – Расчет и конструирование с применением компьютерной техники.

### ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА

Целью динамического расчета на ветровое воздействие является анализ установившихся колебаний сооружения в ветровом потоке. При этом вероятностные характеристики узловых перемещений, внутренних сил или напряжений определяются в конечных элементах отдельно от действия средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки.

Нормативное значение динамической составляющей ветровой нагрузки определяется для каждой формы колебаний опоры в виде системы инерционных сил, приложенных к сосредоточенным массам по направлениям их возможных колебаний.

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

$$W_p^{ij} = M_j \cdot \xi_i \cdot \eta_{ij} \cdot v,$$

- где  $M_j$  – сосредоточенная масса, т;  
 $\xi_i$  – коэффициент динамичности  $i$ -й формы колебаний, принимаемый в соответствии с п. 6.76 [4];  
 $\eta_{ij}$  – приведенное ускорение,  $m/c^2$ , массы  $M_j$ ;  
 $v$  – коэффициент, учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте опоры, принимаемый в соответствии с п. 6.9 [4].

Приведенное ускорение  $\eta_{ij}$  ( $m/c^2$ ) определяется по формуле:

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

- 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;  
 $\varphi_k$  – 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

$$f_s < f_l < f_s + 1,$$

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

1. Конструкции БГМ рассчитаны в соответствии с заданием на расчет, а также действующими нормативными документами.
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 БГМ находятся в нормативно допустимом диапазоне 1/100 рис. 2 (550 мм).

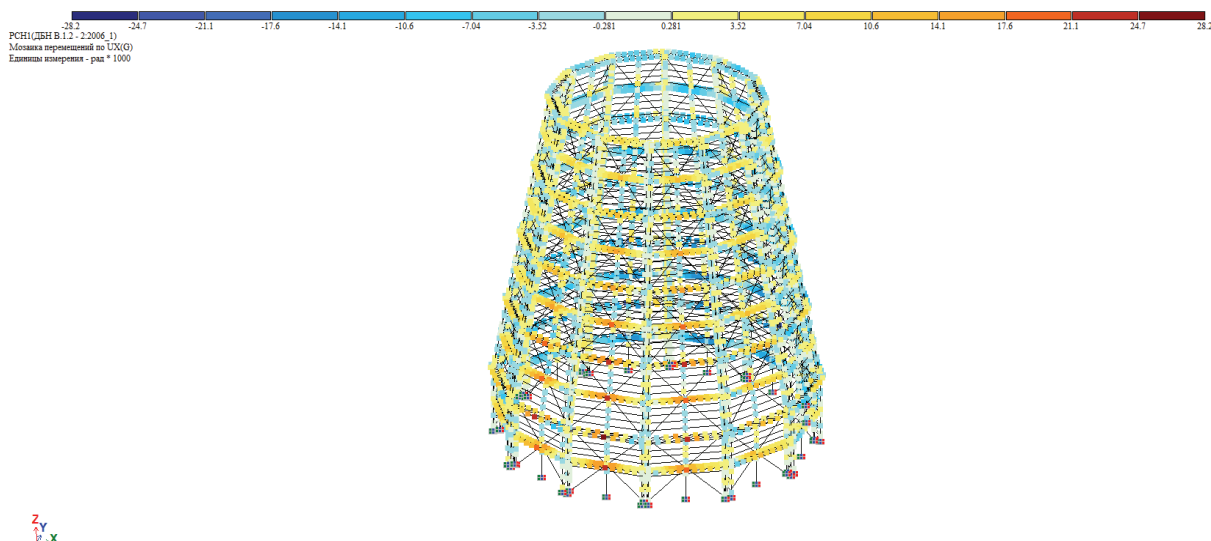


Рисунок 2 – Перемещения по оси Z.

Выполнен расчет оптимальной конструкции, экономия металла составила 28,5 %, с 263 304 до 188 280 кг. На основе расчета было выполнено твердотельное моделирование в ПК «Текла» (рис. 3).

## ВЫВОДЫ

1. На основании реальной модели и расчета в ПК «Лира» создается модель в ПК «Текла» для детального моделирования.
2. Цель нашего расчета – сравнение собственных и вынужденных колебаний с проверкой на резонанс.
3. Задача оптимизации сводится к нахождению вектора варьируемых параметров, который минимизирует целевую функцию.
4. В данной работе произведенный расчет дал результат экономии металла с 263 304 до 188 280 кг, что составляет 28,5 %.

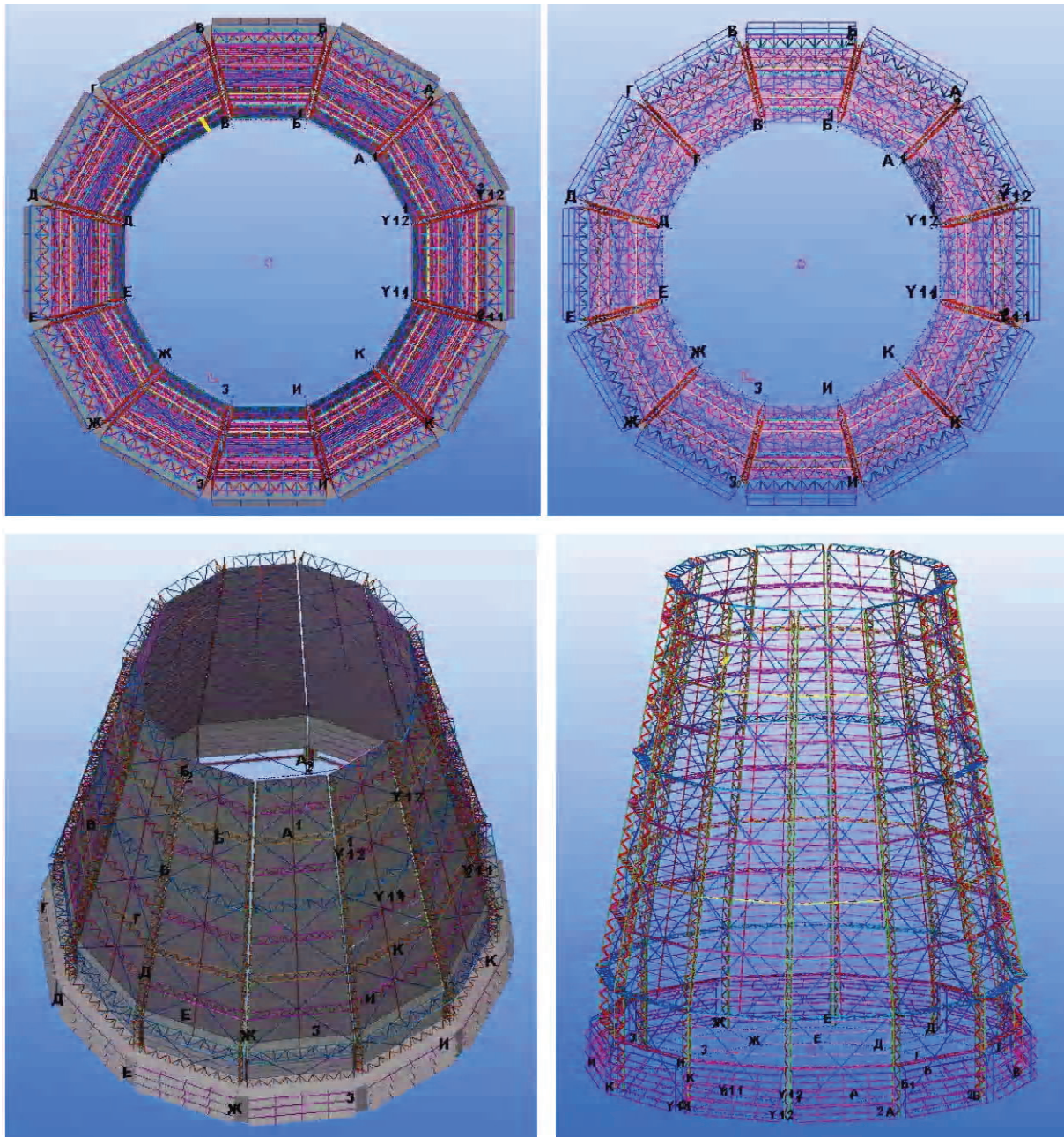


Рисунок 3 – Твердотельная модель.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программный комплекс ЛИРА-САПР / составители: Р. Ю. Водопьянов, Ю. В. Гензерский, В. П. Титок, А. Е. Артемонова. – Москва : Электронное издание, 2012. – 394 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. – Москва : Стройиздат, 1976. – 216 с. – Текст : непосредственный.
4. Лихтарников, Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. – Москва : Стройиздат, 1979. – 319 с. – Текст: непосредственный.
5. Серпик, И. Н. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования / И. Н. Серпик, А. В. Алексейцев. – Москва : Изд-во АСВ, 2012. – 239 с. – ISBN 978-5-93093-903-3. – Текст : непосредственный.
6. Левченко, Б. А. Тепло- и массообменные аппараты и установки промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому проектированию и самостоятельной работе студентов вузов, обучающихся по специальности «Теплоэнергетика» : [В 2 ч.]. Часть 1 / Министерство образования и науки Украины, Академия наук Высшей школы

Украины ; [Б. А. Левченко и др.] ; Под редакцией Б. А. Левченко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2000-2002. – 387 с. – Текст : непосредственный.

7. Ильченко, О. Т. Тепло- и массообменные аппараты ТЭС и АЭС : учебное пособие / О. Т. Ильченко, Б. А. Левченко. – Киев : Выща школа, 1992. – 207 с. – Текст : непосредственный.

Получена 19.05.2021

А. В. ТАНАСОГЛО, С. М. БАКАЄВ, С. О. ФОМЕНКО, К. С. КУТАЙЦЕВ,  
Л. В. КОЗЛОВА  
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ОПТИМАЛЬНОЇ БАШТОВОЇ  
ГРАДИРНІ ПЛОЩЕЮ ЗРОШЕННЯ 1 600 М<sup>2</sup>  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У даній статті виконано огляд сучасного стану теми дослідження; 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 сталевих 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 запобігання резонансу. Оптимальне проектування гратчастої градирні площею зрошення 1 600 м<sup>2</sup> з урахуванням особливостей вітрового впливу. Після виконання оптимізаційного розрахунку і з урахуванням реальної моделі виконано твердотільне моделювання в ПК «Текла», а також наведені показання за результатами оптимізації.

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

ANTON TANASOGLO, SERGII BAKAYEV, SERAFIM FOMENKO,  
KIRILL KUTAYTSEV, LYUDMILA KOZLOVA  
INVESTIGATION OF THE STRESS STATE OF AN OPTIMAL TOWER COOLING  
TOWER WITH AN IRRIGATION AREA OF 1 600 M<sup>2</sup>  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**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 the forced (pulsational) and natural oscillations 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. After performing the optimization calculation and taking into account the real model, solid-state modeling was performed in the PC «Tekla», as well as indications for the results of optimization are given.

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

**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.

**Бакаев Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

**Фоменко Серафим Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов гашения колебаний.

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

**Козлова Людмила Викторовна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, экспертизы и управления недвижимостью ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: мониторинг социально-экономического развития муниципальных образований. Экономическая и социальная среда функционирования объектов недвижимости.

**Танасогло Антон Володимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередавання та антенних опор. Вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

**Бакаєв Сергій Миколайович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів і стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах підвищення потужностей енергоспоживання та з урахуванням умов і відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

**Фоменко Серафим Олександрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретичної та прикладної механіки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій і пошук раціональних способів гасіння коливань.

**Кутайцев Кирило Сергійович** – магистрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність і оптимальне проектування ґратчастих конструкцій баштового типу.

**Козлова Людмила Вікторівна** – кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки, експертизи та управління нерухомістю ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: моніторинг соціально-економічного розвитку муніципальних утворень. Економічне і соціальне середовище функціонування об'єктів нерухомості.

**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.

**Bakayev Sergii** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, portal frames and pillars underneath the equipment of outdoor switchgears of electric substation in terms of the power consumption stepping up and with regards to the conditions and distinctions of their operation, structural designing work with the guarantee indices of durability.

**Fomenko Serafim** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.

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

**Kozlova Lyudmila** – Ph. D. (Econ.), Associate Professor, Economics, Expertise and Property Management Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: monitoring of socio-economic development of municipalities. Economic and social environment of real estate objects functioning.