



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

2011, ТОМ17, НОМЕР 3, 177–184

УДК 624.074.43

(11)-0243-1

ВПЛИВ ЛОКАЛЬНОЇ ВВІГНУТОСТІ НА РОБОТУ НЕСУЧОЇ ОБОЛОНКИ ВИСОТНИХ СПОРУД

В. В. Губанов, О. В. Голіков, А. М. Кульчицький

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: vadvy@donnasa.edu.ua*

Отримана 6 червня 2011; прийнята 24 червня 2011.

Анотація. В даній статті дається характеристика одного з видів геометричного відхилення – ввігнутості, а також визначаються параметри, якими вона характеризується. Поряд з цим представлені результати чисельних досліджень впливу локальної ввігнутості на напружено-деформований стан оболонок висотних споруд. Показані поля розподілу кільцевих і меридіональних напружень у досліджуваній зоні. Визначено зони впливу ввігнутості на несучу оболонку висотних споруд. Так само визначена несуча здатність ділянок стовбура висотних споруд з різною геометрією ввігнутості і різними параметрами досліджуваної оболонки. За отриманими даними побудовані графіки залежності зниження несучої здатності оболонки від розмірів ввігнутості, діаметрів і товщини оболонок висотних споруд.

Ключові слова: оболонка, ввігнутість, несуча здатність, зона впливу.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ВОГНУТОСТИ НА РАБОТУ НЕСУЩЕЙ ОБОЛОЧКИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. В. Губанов, А. В. Голиков, А. Н. Кульчицкий

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: vadvy@donnasa.edu.ua*

Получена 6 июня 2011; принята 24 июня 2011.

Аннотация. В данной статье даётся характеристика одному из видов геометрического отклонения – вогнутости, а так же определяются параметры, которыми она характеризуется. Наряду с этим представлены результаты численных исследований влияния локальной вогнутости на напряжённо-деформированное состояние оболочек высотных сооружений. Показаны поля распределения кольцевых и меридиональных напряжений в исследуемой зоне. Определены зоны влияния вогнутости на несущую оболочку высотных сооружений. Также определена несущая способность участков ствола высотных сооружений с различной геометрией вогнутости и различными параметрами исследуемой оболочки. По полученным данным построены графики зависимости снижения несущей способности оболочки от размеров вогнутости, диаметров и толщин оболочек высотных сооружений.

Ключевые слова: оболочка, вогнутость, несущая способность, зона влияния.

EFFECT OF LOCAL CONCAVITY UPON BEARING SHELL OF HIGH BUILDINGS

Gubanov Vadim, Golikov Alexandr, Kulchitskiy Artem

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: vadvy@donnasa.edu.ua

Received 6 June 2011; accepted 24 June 2011.

Abstract. This article describes one of the types of geometric deviations – concavity. Also the parameters that characterize it are defined. In addition, the results of numerical studies of the effect on the local concavity of the stress-strain state of shells of high buildings. The field of distribution of ring and meridian stresses in the investigated area is shown. The zones of influence on the concavity of the bearing shell of high buildings. It is also determined by carrying capacity of the barrel sections of high-rise structures with different geometries and different parameters of the concavity of the investigated membranes. The data obtained have been used to explore the dependence of reduction of the carrying capacity of the concave size, diameter and thickness of shells of high buildings.

Keywords: shell, concave, bearing capacity, the zone of influence.

Формулировка проблемы

Все промышленные дымовые трубы и газоотводящие стволы эксплуатируются с геометрическими отклонениями формы. В работах зарубежных авторов [8] рассматриваются вопросы потери устойчивости цилиндрических идеальных оболочек, а также потеря устойчивости при осевом сжатии идеальных оболочек [11, 12] и оболочек с локальными повреждениями [9]. В нормативной литературе [1, 2, 3, 4] нет указаний на способ оценки влияния геометрических отклонений на напряжённо-деформированное состояние конструкций, но есть указания на необходимость такого учёта при проектировании такого рода сооружений. Одним из видов геометрического отклонения является вогнутость цилиндрической оболочки.

Цель исследования

Определить влияние локальной вогнутости на НДС участков высотных сооружений.

Задачи работы

- охарактеризовать геометрические параметры вогнутости;
- определить влияние геометрии вогнутости на НДС оболочки;

– определить несущую способность участков ствола высотных сооружений с различной геометрией вогнутости, а также различными параметрами исследуемой оболочки.

Основной материал

Под *геометрическим отклонением* формы подразумевается отклонение действительной формы конструкции от идеальной. Одним из видов такого отклонения является *вогнутость*.

В данной работе рассматривается влияние вогнутости на высокие оболочки и оболочки средней длины, к которым, согласно [7] относятся дымовые трубы и газоотводящие стволы.

Под *вогнутостью* для оболочечных конструкций подразумевается отклонение реального профиля от идеального, при котором удаление точек реального профиля от прилегающего к нему сегмента увеличивается от краев к середине (рис. 1).

Вогнутость характеризуется следующими параметрами: угол охвата вогнутости (α°), – шириной раскрытия вогнутости (b), – глубиной поражения (f).

Особенности распределения напряжений в зоне с вогнутостью

В процессе численного исследования влияния вогнутости на НДС дымовых труб в программном комплексе «Лира» была получена качественная картина изменения напряжений на участке дымовой трубы с вогнутостью оболочки (рис. 2), а также распределение напряжений по кольцу оболочки (рис. 3) и по высоте расчётной модели оболочки (рис. 4).

Характеристика объекта: $D - 3 \text{ м}$, $N_{\text{экв}} - 716 \text{ т}$, $\alpha^\circ = 10^\circ$, $L_{\text{расч}} - 4,0 \text{ м}$ (высота модели).

На участках дымовых труб с вогнутостью оболочки возникают местные всплески напряжений.

Напряжённо-деформированное состояние участков дымовых труб с вогнутостью оболочки

Установление зависимостей влияния различных факторов на НДС участков высотных сооружений с вогнутостью оболочки

Матрица исследования (табл. 1).

1. Зависимость изменения напряжений $\sigma_{\text{пр}}$ от диаметра расчётной модели на участке с вогнутостью оболочки (рис. 5).

Начальные параметры расчета:

$D_{\text{об}} = 1,2 \div 4,2 \text{ м}$ с шагом $0,3 \text{ м}$;

$N_{\text{экв}} = 1\,000 \text{ кН}$;

$L_{\text{расч}} = 3,15 \text{ м}$, $t_{\text{об}} = 10 \text{ мм}$, $\alpha^\circ = 10^\circ$.

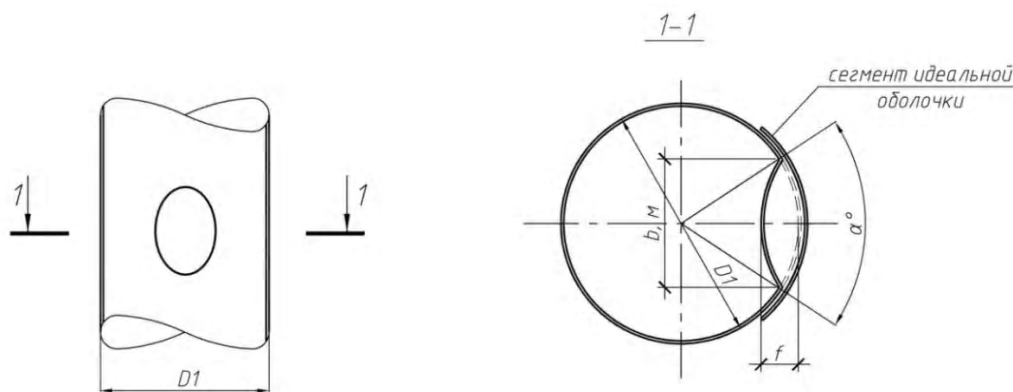


Рисунок 1. Общий вид участка с вогнутостью оболочки.

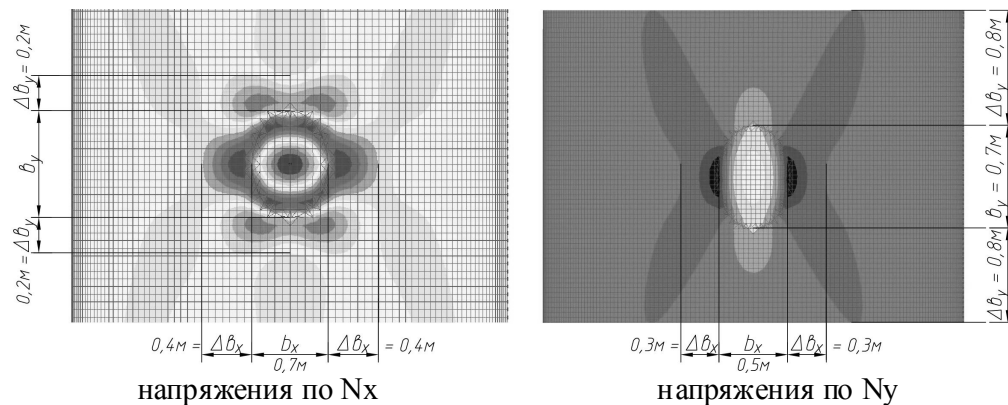


Рисунок 2. Изменения напряжений на участке с вогнутостью оболочки.

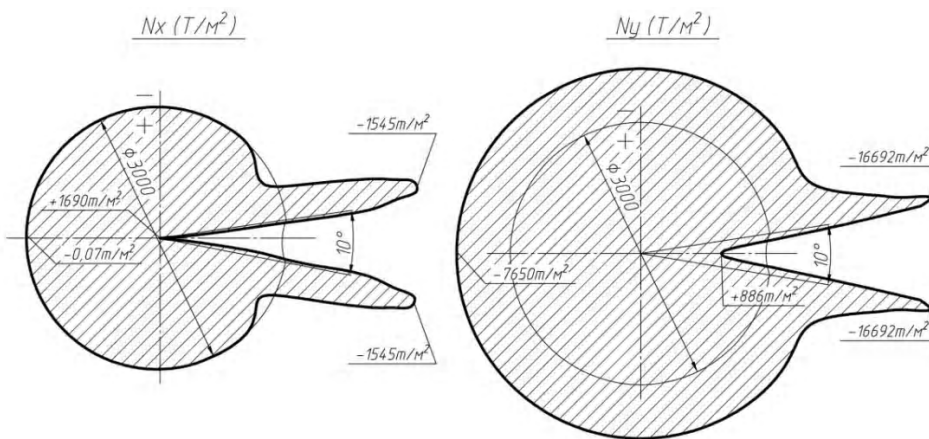


Рисунок 3. Распределение напряжений по кольцу оболочки.

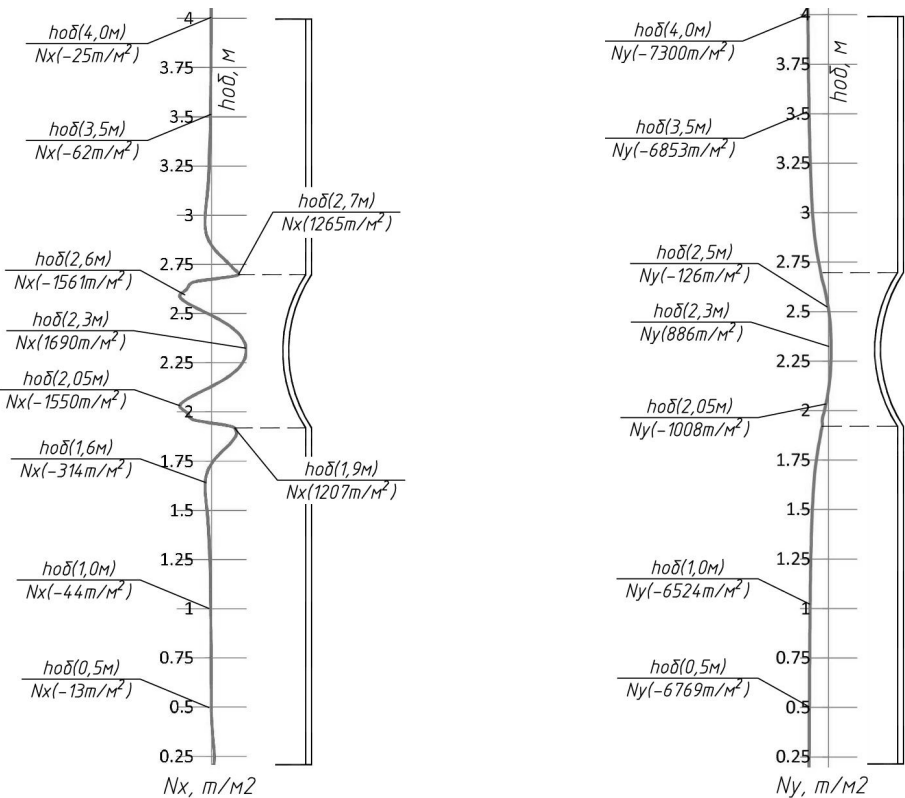


Рисунок 4. Распределение напряжений по высоте расчётной модели оболочки.

Таблица 1. Матрица исследования

$D, м$	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2
$t, мм$	4	6	8	10	12	14	16				
α°	10	20	30	40	50	60					

2. Зависимость изменения напряжений $\sigma_{пр}$ от толщины расчётной модели на участке с вогнутостью оболочки (рис. 6).

Начальные параметры расчета:

$$D_{об} = 2,1 \text{ м};$$

$$N_{экр} = 1\,000 \text{ кН};$$

$$L_{расч} = 3,15 \text{ м}, t_{об} = 4 \div 16 \text{ мм с шагом } 2 \text{ мм}.$$

3. Зависимость изменения напряжений от угла охвата вогнутости (рис. 7).

Начальные параметры расчета:

$$D_{об} = 2,1 \text{ м};$$

$$N_{экр} = 1\,000 \text{ кН};$$

$$L_{расч} = 3,15 \text{ м}, t_{об} = 10 \text{ мм}, \alpha^\circ = 10^\circ \div 60^\circ \text{ с шагом } 10^\circ.$$

В результате расчётов установлено, что:

1. Влияние вогнутости с увеличением диаметра расчетной модели уменьшается, аппроксимирующая кривая результатов имеет квадратическую зависимость, заданную формулой $y = a + bx + cx^2$, где $a = 81, b = -26, c = 3$.
2. Влияние вогнутости с увеличением толщины расчетной модели уменьшается, аппрок-

симирующая кривая результатов имеет зависимость $y = ax^b$, где $a = 587, b = -1,3$.

3. Местные напряжения в оболочке увеличиваются с увеличением угла охвата вогнутости, аппроксимирующая кривая результатов имеет зависимость $y = ax^b$, где $a = 16, b = 0,56$.

Выводы:

1. Определены параметры характеризующие вогнутость – угол охвата вогнутости (α°), ширина раскрытия вогнутости (b) и глубина поражения (f).
2. На основании численных исследований работы оболочек дымовых труб были получены зависимости изменения напряжений от размеров вогнутости, диаметров и толщин оболочек и установлено:
 - при вогнутости оболочки с углом охвата вогнутости от 10 до 60° приведенные напряжения в локальной зоне увеличиваются в 1,4–3,9 раза;

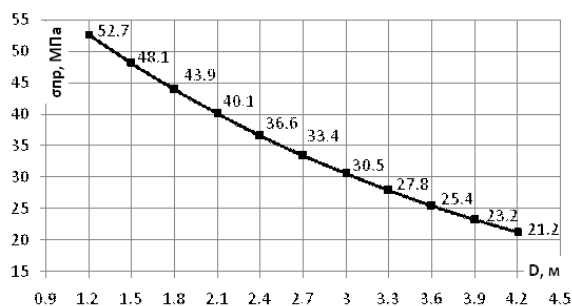


Рисунок 5. Изменение напряжения ($\sigma_{пр}$) от диаметра расчётной модели.

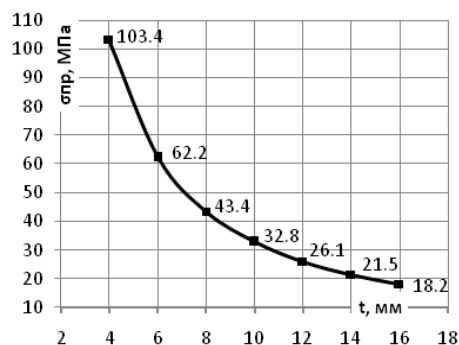


Рисунок 6. Изменение напряжения ($\sigma_{пр}$) от толщины расчётной модели.

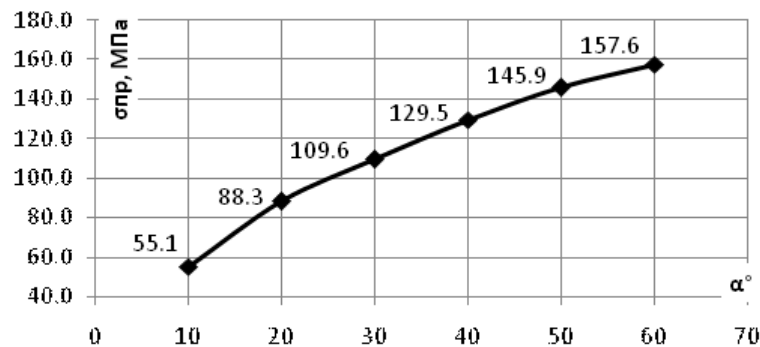


Рисунок 7. Изменение напряжения ($\sigma_{пр}$) от угла охвата вогнутости.

- при изменении диаметра расчётной модели от 1,2 до 4,2 м и угле охвата вогнутости $\alpha^\circ = 10^\circ$ приведенные напряжения в локальной зоне уменьшаются в 2,5 раза;
- при изменении толщины расчётной модели от 4 до 16 мм и угле охвата вогнутости $\alpha^\circ = 10^\circ$ приведенные напряжения в локальной зоне уменьшаются в 5,7 раза.

3. Для создания инженерной методики, позволяющей учитывать влияние вогнутости на НДС при обследовании высотных сооружений, необходимо еще проанализировать влияние вогнутости на устойчивость оболочки.

Литература

1. Строительные нормы и правила. Сооружения промышленных предприятий : СНиП 2.09.03-85. – Взамен СНиП II-91-77; СН 302-65; СН 471-75 ; введ. 1987–01–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
2. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции : СНиП 3.03.01-87. – Взамен СНиП III-15-76; СН 383-67; СНиП III-16-80; СН 420-71; СНиП III-18-75; СНиП III-17-78; СНиП III-19-76; СН 393-78 ; введ. 1988–07–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 99 с.
3. Строительные нормы и правила. Металлические конструкции : СНиП III-18-75. – Взамен главы СНиП III-8.5-62* ; введ. 1977–01–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1977. – 101 с.
4. Строительные нормы и правила. Промышленные печи и трубы : СНиП III-24-75. – Взамен СНиП III-Г.12-62 ; введ. 1976–07–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1976. – 17 с.
5. Голиков, А. В. Расчёт газоотводящих стволов с несовершенствами геометрической формы / А. В. Голиков // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – 2009. – Вип. 5(79) : Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів, студентів. Т 1. Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій. – С. 18–21.
6. Губанов, В. В. Расчёт и конструирование газоотводящих стволов с местными напряжениями / В. В. Губанов, А. В. Голиков // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – 2009. – Вип. 4(78) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 215–220.
7. Лессиг, Е. Н. Листовые металлические конструкции / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – М. : Изд-во лит. по строит., 1970. – 488 с.
8. Lanster, E. R. Paradoxical buckling behaviour of a thin cylindrical shell under axial compression / E. R. Lanster, C. R. Calladine // International Journal of Mechanical Sciences. – 2000. – Vol. 42. – P. 843–865.

References

1. Structural Rules and Regulations. Construction of industrial enterprises: SNiP 2.09.03–85. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1986. 56 p. (in Russian).
2. Structural Rules and Regulations. Carrying and bordering structures: SNiP 3.03.01–87. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1988. 99 p. (in Russian).
3. Structural Rules and Regulations. Metal structures: SNiP III–18–75. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1977. 101 p. (in Russian).
4. Structural Rules and Regulations. Industrial furnances and pipes: SNiP III–24–75. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1976. 17 p. (in Russian).
5. Golikov, A. V. Calculation of gas flow tubes with the defects of geometrical form. *In compendium Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Vol. 5(79): Materials of VIII International conference of young scientists, post graduate students and students. Vol. 1. Buildings and structures made of new materials and technologies, p. 18–21. (in Russian).
6. Gubanov, V. V.; Golikov, O. V. Calculation and gas pipes with local stresses. *In compendium Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Vol. 4(78): Towers: building materials, structures, processes, p. 215–220. (in Russian).
7. Lessig, E. N.; Lileev, A. F.; Sokolov, A. G. Sheet metal structures. Moscow: Izd-vo lit. po stroit., 1970. 488 p. (in Russian).
8. Lanster, E. R.; Calladine, C. R. Paradoxical buckling behaviour of a thin cylindrical shell under axial compression. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2000, Vol. 42, p. 843–865.
9. Midani, M.; Jamal, M. Buckling under axial compression of logon cylindrical shells with localized imperfections. *Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14)*, 1997, p. 191–198.
10. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D – GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.
11. Prabu, B.; Rathinam, N. Finite Element Analysis of Buckling of Thin Cylindrical Shell Subjected to Uniform External Pressure. *Journal of Solid Mechanics*, 2009, Vol. 1, No. 2, p. 148–158.

9. Midani, M. Buckling under axial compression of logon cylindrical shells with localized imperfections / M. Midani, M. Jamal // Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14). – 1997. – P. 191–198.
10. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D – GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.
11. Prabu, B. Finite Element Analysis of Buckling of Thin Cylindrical Shell Subjected to Uniform External Pressure / B. Prabu, N. Rathinam // Journal of Solid Mechanics. – 2009. – Vol. 1, No. 2. – P. 148–158.
12. Schneider, W. Imperfection sensitivity of cylindrical shells subject to hoop compression – numerical buckling analyses versus experimental results / W. Schneider, G. Marco // 8th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) 5th. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008).
13. EUROCODE 3. pr EN 1993–3–2:1997 – Structural design rules for steel chimneys // B.W. Smith et al., 1997.

Губанов Вадим Вікторович – к.т.н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Інституту інженерів будівельників (The Institution of Civil Engineers, Великобританія). Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, розрахунків та проектування висотних споруд.

Голиков Олександр Володимирович – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вдосконалення конструктивних рішень та методів розрахунку висотних споруд.

Кульчицький Артем Миколайович – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: збільшення терміну експлуатації висотних споруд на основі вдосконалення конструктивних рішень і методів розрахунку.

Губанов Вадим Викторович – к.т.н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Института инженеров строителей (The Institution of Civil Engineers, Великобритания). Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, расчет и проектирование высотных сооружений.

Голиков Александр Владимирович – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: совершенствование конструктивных решений и методов расчета высотных сооружений.

Кульчицкий Артём Николаевич – аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: продление срока эксплуатации высотных сооружений на основе совершенствования конструктивных решений и методов расчёта.

Gubanov Vadim – Ph.D. (Eng.), associate professor of the department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Member of the Institute Civil Engineers, UK. Scientific interests: operational reliability of metal structures, calculation and design of high buildings.

Golikov Alexandr – assistant of the department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of design solutions and design methods of high buildings.

Kulchitskiy Artem – is post-graduate student of the department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: extending the high buildings operation by improving the design solutions and design methods.