



(21)-0431-1

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РАМНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ УЗЛОВ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

А. Н. Миронов¹, Д. В. Бельий²*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹andreyexpr@mail.ru, ²nyxassassin@ukr.net**Получена 14 октября 2021; принята 26 ноября 2021.*

Аннотация. В статье приведен анализ работы рамных трубобетонных (ТБ) узлов из гнутосварных замкнутых профилей (ГСП). Выполнен подбор необходимых сечений ГСП и характеристик бетона с учетом существующих методик расчета трубобетона, действующих нормативных документов и будущих экспериментальных исследований реальных моделей ТБ узлов. Создана конечно-элементная (КЭ) модель рамного узла многоэтажного каркасного здания в ПК «ЛИРА-САПР» с применением ГСП. Методом конечных элементов (МКЭ) выполнен численный расчет ТБ узла с целью выявления закономерностей работы рамной сталежелезобетонной конструкции под нагрузкой. Сделаны выводы по несущим и деформационным возможностям исследуемой конструкции в месте примыкания ригелей (консолей) к ТБ стойке. Определена несущая способность рамного ТБ узла из ГСП по первой группе предельных состояний.

Ключевые слова: трубобетонный узел, гнутосварной замкнутый профиль, метод конечных элементов, численный расчет, нагрузка, напряженно-деформированное состояние (НДС), несущая способность.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН РАМНИХ ТРУБОБЕТОННИХ ВУЗЛІВ ІЗ ГНУТОЗВАРНИХ ПРОФІЛІВ

А. М. Миронов¹, Д. В. Бельий²*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹andreyexpr@mail.ru, ²nyxassassin@ukr.net**Отримана 14 жовтня 2021; прийнята 26 листопада 2021.*

Анотація. У статті наведено аналіз роботи рамних трубобетонних (ТБ) вузлів із замкнених гнутозварних профілів (ГСП). Виконано підбір необхідних перерізів ГСП та характеристик бетону з урахуванням існуючих методик розрахунку трубобетону, чинних нормативних документів та майбутніх експериментальних досліджень реальних моделей ТБ вузлів. Створено кінцево-елементну (КЕ) модель рамного вузла багатоповерхової каркасної будівлі у ПК «ЛІРА-САПР» із застосуванням ДСП. Методом кінцевих елементів (МКЕ) виконано чисельний розрахунок ТБ вузла з метою виявлення закономірностей роботи рамної сталезалізобетонної конструкції під навантаженням. Зроблено висновки щодо несучих та деформаційних можливостей досліджуваної конструкції у місці примикання ригелів (консолей) до ТБ стійки. Визначено несучу здатність рамного ТБ вузла з ДСП за першою групою граничних станів.

Ключові слова: трубобетонний вузол, гнутозварний замкнутий профіль, метод кінцевих елементів, чисельний розрахунок, навантаження, напружено-деформований стан (ПДВ), несуча здатність.

STRESS-STRAIN STATE OF FRAMED PIPE-CONCRETE ASSEMBLIES OF BENT-WELDED PROFILES

Andrey Mironov¹, Dmitro Belyy²

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: ¹andreyexp@mail.ru, ²nyxassassin@ukr.net

Received 14 October 2021; accepted 26 November 2021.

Abstract. The article provides an analysis of the work of frame pipe-concrete (TB) units from bent-welded closed profiles (GSP). The selection of the required sections of the GSP and the characteristics of concrete was carried out, taking into account the existing methods for calculating pipe concrete, the current regulatory documents and future experimental studies of real models of TB nodes. A finite element (FE) model of a frame node of a multi-storey frame building was created in the LIRA-SAPR software package using GSP. The finite element method (FEM) was used to numerically calculate the TB of a node in order to identify the patterns of operation of a steel-reinforced concrete frame structure under load. The conclusions on the bearing and deformation capacity of the investigated structure in the place of joining the ledgers (cantilevers) to the TB post have been made. The bearing capacity of the frame TB unit made of GSP according to the first group of limiting conditions is determined.

Keywords: pipe-concrete unit, bent-welded closed profile, finite element method, numerical calculation, load, stress-strain state (SSS), load-bearing capacity.

Введение

С каждым годом мировая строительная отрасль получает все новые витки развития, в особенности в области проектирования высотных зданий и сооружений. С учетом роста спроса на разработку таких объектов растет и спрос на предъявляемые требования к их составляющим элементам с целью удешевления, ускорения монтажа и повышения несущих характеристик.

Одним из важных вопросов при проектировании высотных зданий и сооружений является выбор материалов каркаса и узловых соединений, которые смогли бы справиться с восприятием значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Работа непосредственно узловых конструкций под нагрузкой, в особенности из повсеместно набирающего популярность сталежелезобетона и трубобетона, является актуальной темой для исследований, так как совместная работа стали и бетона в таких элементах обеспечивает наилучшие показатели долговечности и прочности при вертикальной сжимающей нагрузке от вышележащих конструкций.

В подтверждение этому, ТБ элементы в отличие от стальных эффективно работают только на сжатие, а при работе на растяжение обладают значительно меньшей несущей способностью аналогичным железобетонным элементам. Поэтому ТБ конструкции должны содержать в основном сжатые элементы, а растянутые элементы предпочтительно выполнять стальными [1].

В мировом опыте ведутся разработки, которые направлены на использование ТБ конструкций в массовом строительстве, несмотря на существование ряда факторов, которые сдерживают широкое применение ТБ: недостаточно развитая нормативная база, отсутствие эффективной методики расчета, недостаток научных исследований в области технологии возведения каркасов зданий [2], что и обуславливает актуальность данных исследований.

Объект исследований

Объектом исследования является рамный ТБ узел высотой 1,0 м из ГСП с применением стойки, заполненной бетоном класса В15 (рис. 1).

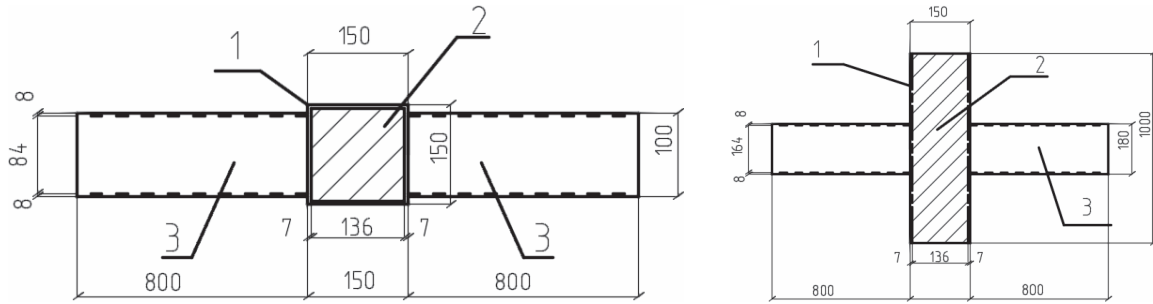


Рисунок 1. Схема исследуемого ТБ узла из гнутосварного замкнутого профиля: 1) металлическая оболочка (стойка); 2) бетонное ядро; 3) примыкающие к стойке ригели (консоли).

Цели исследования

1. Подбор поперечного сечения элементов узла с учетом параметров дальнейших экспериментальных исследований.
2. Создание КЭ модели ТБ узла из гнутосварного замкнутого профиля в ПК «Лира САПР».
3. Анализ НДС узла.
4. Анализ НДС локальной зоны узла в месте примыкания ригелей (консолей) к ТБ стойке.

Расчет и определение размеров сечений исследуемого узла [3, 4]

Для расчета и моделирования узла подбираются габариты трубы круглого сечения, а затем эквивалентного из ГСП.

Принятый класс бетона и марка стали трубы: класс бетона – В15, марка стали – С255.

Расчетное сопротивление бетона внутри трубы:

$$R_b^* = 0,65 \cdot B \cdot (1 + 16,1 + \mu_{pb} \cdot \beta), \quad (1)$$

$$R_b^* = 0,65 \cdot 15 \cdot (1 + 16,1 + 0,025 \cdot 0,77) = 12,77 \text{ МПа.}$$

Коэффициент $\beta = 0,77$.

Внутренний диаметр трубы (диаметр бетонного ядра):

$$d = \sqrt{\frac{1,273 \cdot N}{\gamma_{bs} \cdot (R_b + \gamma_{s2} \cdot \mu_{pb} \cdot R_y)}}, \quad (2)$$

$$d = \sqrt{\frac{1,273 \cdot 1500 \cdot 10^3}{1 \cdot (12,77 \cdot 10^3 + 0,9 \cdot 0,025 \cdot 225 \cdot 10^3)}} = 10,16 \text{ см.}$$

Расчетное сопротивление стали С255 – $R_y = 240 \text{ МПа}$;

Толщина стенки трубы:

$$t = 0,5 \cdot d \cdot (\sqrt{1 + \mu_{pb}} - 1), \quad (3)$$

$$t = 0,5 \cdot 10,16 \cdot (\sqrt{1 + 0,025} - 1) = 0,6 \text{ см.}$$

Наружный диаметр трубы:

$$D = d + 2 \cdot t, \quad (4)$$

$$D = 10,16 + 2 \cdot 0,6 = 11,36 \text{ см.}$$

Коэффициент армирования трубобетона – $\mu_{pb} = 0,025$.

Несущей способности ТБ стойки с учетом условий прессового оборудования (до 1 500 кН):

$$N \leq N_{stb} = \gamma_{bs} \cdot (R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st}), \quad (5)$$

где $\gamma_{bs} = 1$; $\gamma_{s2} = 0,9$.

Общая площадь сечения:

$$S = \pi d^2 / 4, \quad (6)$$

$$S = 3,14 \cdot 11,36^2 / 4 = 101,3 \text{ см}^2.$$

Отсюда – внешний диаметр круглой трубы – 159 мм, толщина стенки 7 мм, $A_0 = 33,43 \text{ см}^2$, чему соответствует элемент из ГСП 150×150 мм, толщиной 7 мм, с площадью сечения $A = 38,36 \text{ см}^2$ [5].

Определение размеров сечения ригелей (консолей узла) (рис. 2) [6, 7]:

Вылет консоли – $l = 800 \text{ мм}$; марка стали – С235.

Создаваемые домкратом усилия на концах ригелей, $P = 5 \text{ т}$ (50 кН).

Изгибающий момент, действующий в заделке ригеля:

$$M = p \cdot l, \quad (7)$$

$$M = p \cdot l = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Нормальные напряжения в сечении ригеля:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \quad (8)$$

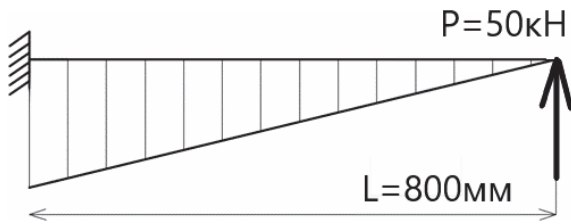


Рисунок 2. Расчетная схема ригеля в виде стержневой модели.

Требуемый момент сопротивления сечения ригеля:

$$W_x = \frac{M}{R_y}, \quad (9)$$

$$W_x = \frac{40 \cdot 10^3}{235} = 170 \text{ см}^3.$$

Откуда сечение ГСП ригеля из сортамента для профильных труб – 180×100×8,0 мм, с фактическим моментом сопротивления $W = 177,6 \text{ см}^3$.

Прочность ригеля (нормальные напряжения в заделке ригеля) по формуле (8):

$$\sigma = \frac{40 \cdot 10^3}{177,6} = 225,2 \text{ МПа.}$$

Моделирование трубобетонного узла из шнуросварного профиля в ПК «Лира САПР» [8]

Задача моделирования решалась в линейной постановке, при работе всех элементов в упругой стадии работы материалов. Модель состоит из

двух видов конечных элементов: КЭ № 41 – элементы пластин и тонких оболочек (сечение стойки и ригеля) и КЭ № 31 – объемные КЭ для моделирования бетонного ядра. Размер ячейки сетки КЭ в плане составил 0,016×0,015 м, а по высоте вдоль вертикальной оси ТБ стойки – 0,014 м.

Принятые жесткости и граничные условия закрепления узлов основания показаны на рис. 3, 4 (запрещены все степени свободы). Сварные швы крепления ригеля к стойке при моделировании не учитывались.

Нагрузка на стойку, равная 1 500 кН от пресового оборудования, прикладывалась распределенной по всей площади на верхние узлы стойки бетонного ядра (рис. 5).

Нагрузка на ригель, равная 50 кН от домкратов, прикладывалась распределенной по площади четырех элементов нижней грани ГСП (рис. 6).

Распределение нормальных меридиональных, кольцевых и приведенных (эквивалентных по 4-й теории прочности) напряжений приведены на рис. 9–19.

Максимальные нормальные кольцевые напряжения в сечениях ригеля составляют 174 МПа.

Максимальные меридиональные напряжения в сечениях ригеля составили 202 МПа.

Максимальные эквивалентные напряжения в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания к стойке составили 207 МПа.

Максимальные кольцевые и меридиональные напряжения соответственно в сечениях ТБ стойки составили 200 и 181 МПа.

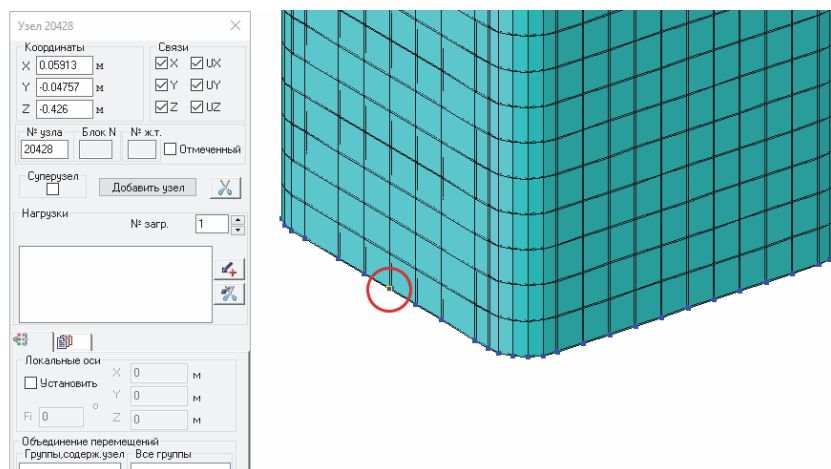


Рисунок 3. Принятые граничные условия закрепления узлов основания узла.

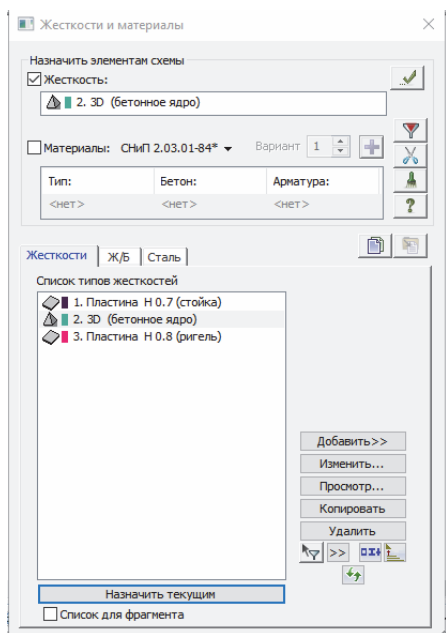


Рисунок 4. Принятые жесткости узла.

Выводы

1. Максимальные нормальные кольцевые напряжения в сечениях ригеля достигают значений в 174 МПа, что не превышает расчетного сопротивления стали.
2. Максимальные нормальные меридиональные напряжения в сечениях ригеля и в локальной зоне примыканий к стойке составляют 202 МПа, что не превышает расчетного сопротивления стали. Расхождение между теоретическими и численными нормальными напряжениями составляет 10,3 %, что показывает на достаточную адекватность принятой модели исследований.
3. Максимальные эквивалентные напряжения в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания к стойке составляют 207 МПа, что не превышает расчетного сопротивления стали, работа стальных элементов находится в упругой стадии.

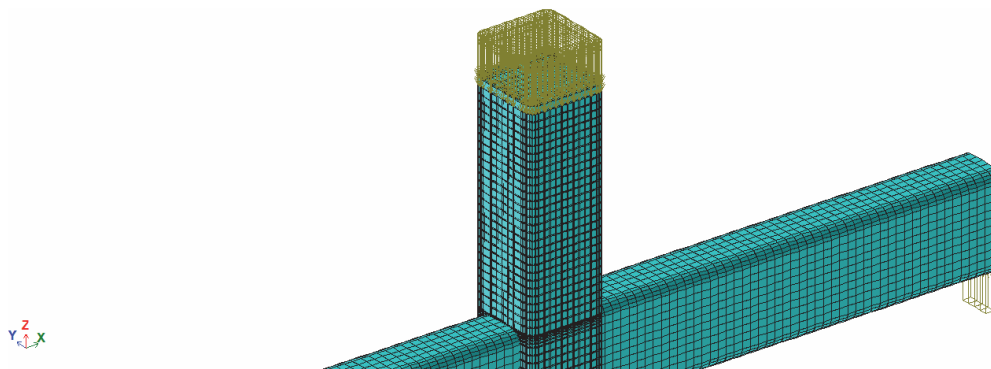


Рисунок 5. Ввод нагрузок на ТБ стойку.

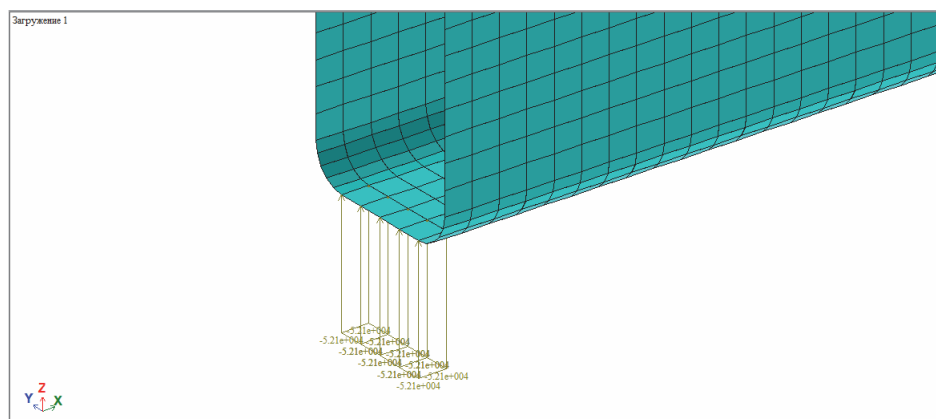


Рисунок 6. Ввод нагрузок на ригель.

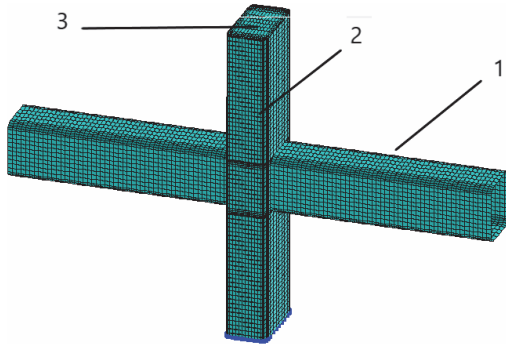


Рисунок 7. Общий вид ТБ узла в ПК «Лира САПР»: 1) ригель из КЭ пластин; 2) стойка из КЭ пластин; 3) бетонное ядро из объемных КЭ.

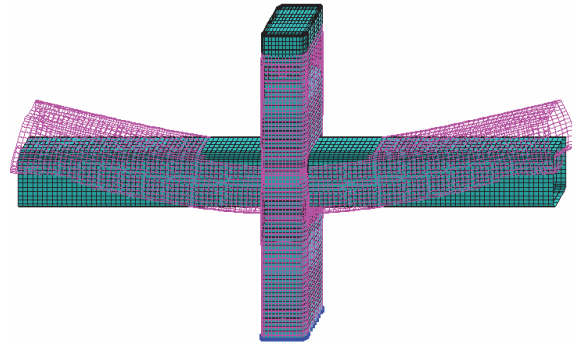


Рисунок 8. Исходная и деформированная схемы исследуемого ТБ узла.

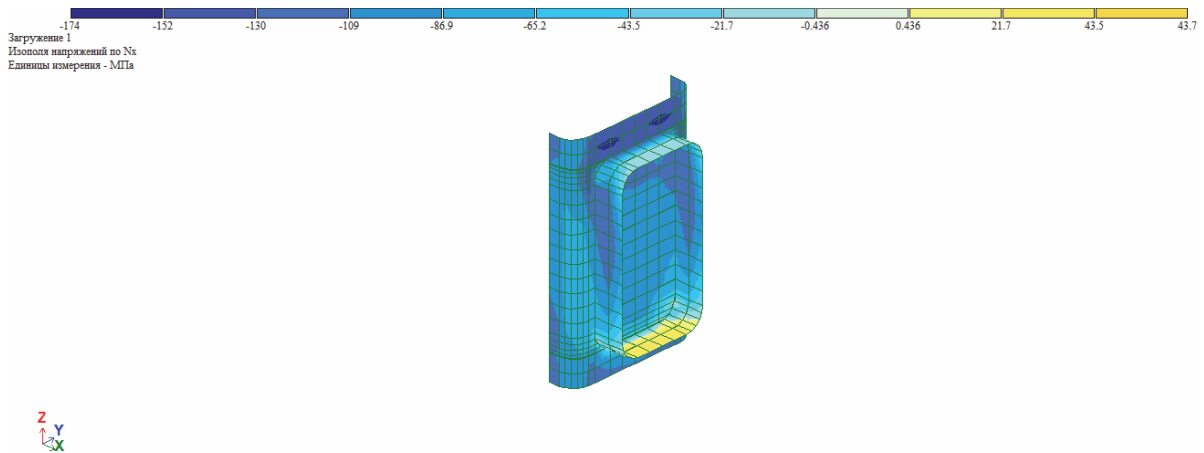


Рисунок 9. Распределение нормальных кольцевых напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригеля к ТБ стойке (вид 1).

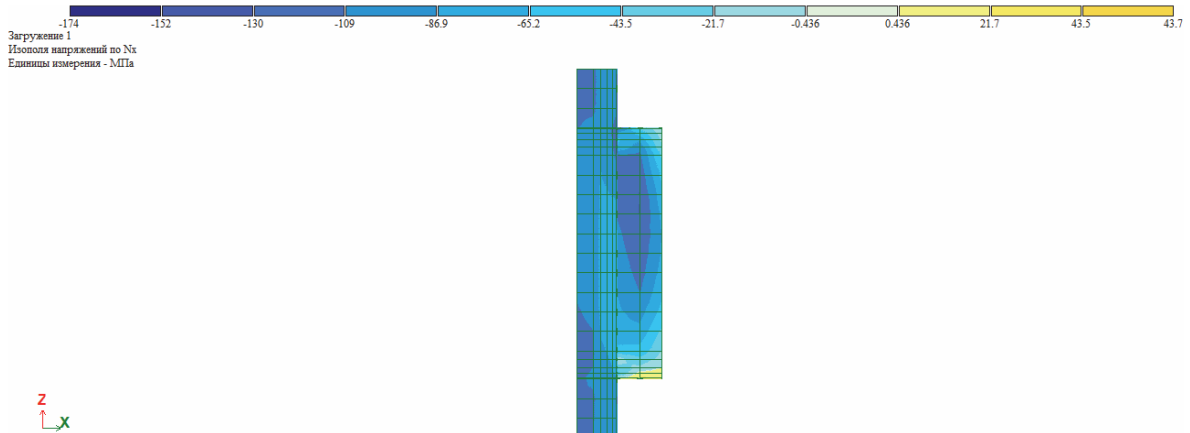


Рисунок 10. Распределение нормальных кольцевых напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригеля к ТБ стойке (вид 2).

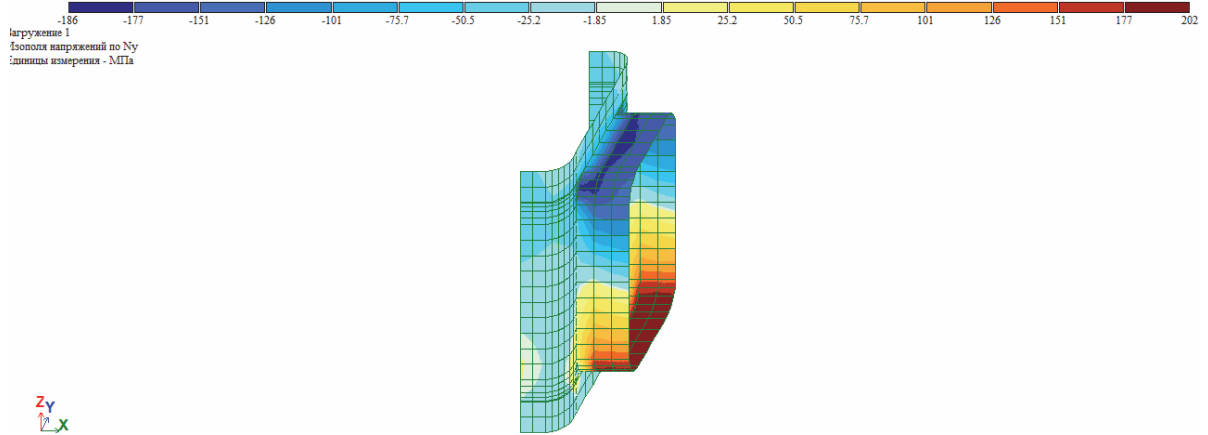


Рисунок 11. Распределение нормальных меридиональных напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригелей к ТБ стойке (вид 1).

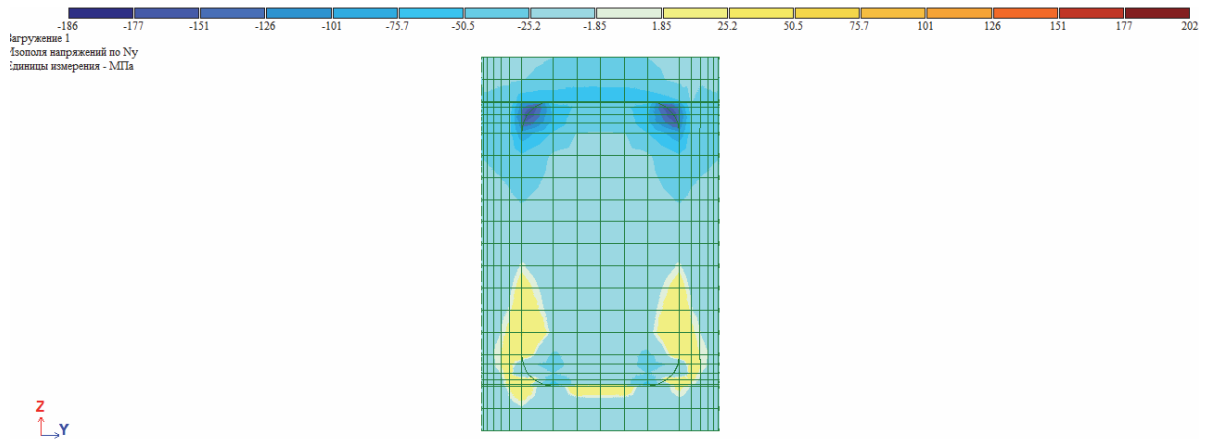


Рисунок 12. Распределение нормальных меридиональных напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригелей к ТБ стойке (вид 2).

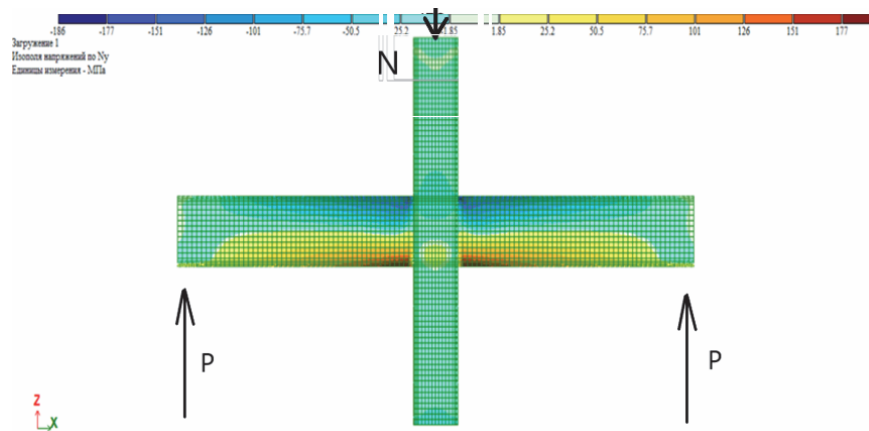


Рисунок 13. Распределение нормальных меридиональных напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригелей к ТБ стойке (вид 3).

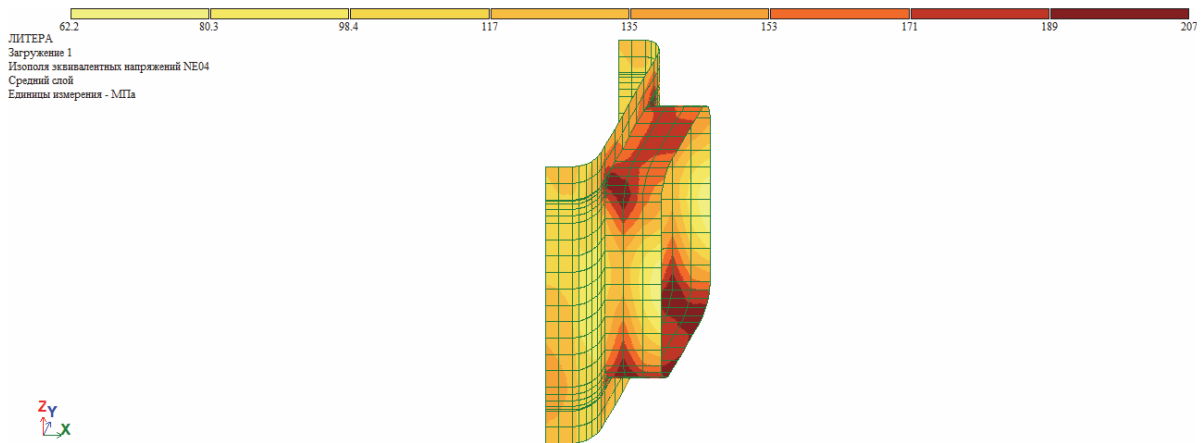


Рисунок 14. Распределение эквивалентных напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригелей к стойке (вид 1).

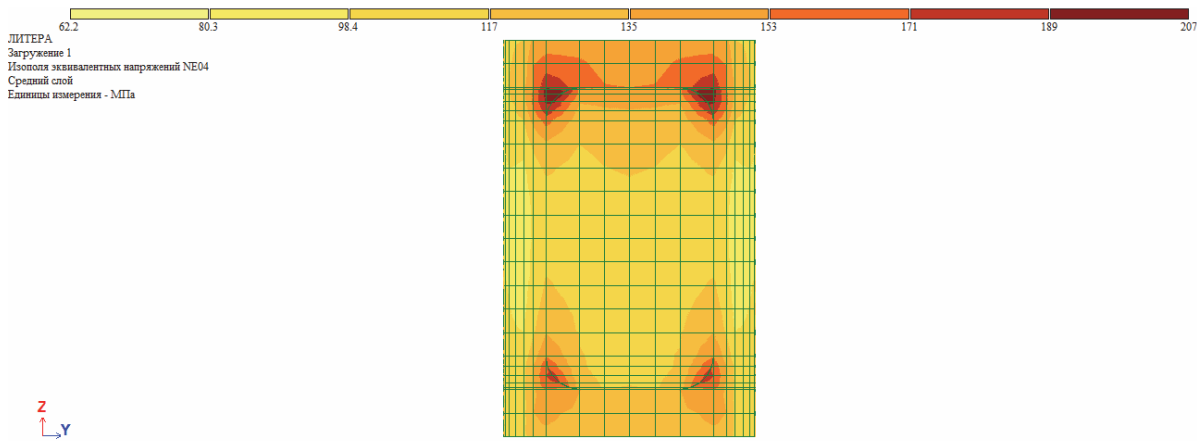


Рисунок 15. Распределение эквивалентных напряжений в сечениях ригеля и в локальной зоне примыкания ригелей к стойке (вид 2).

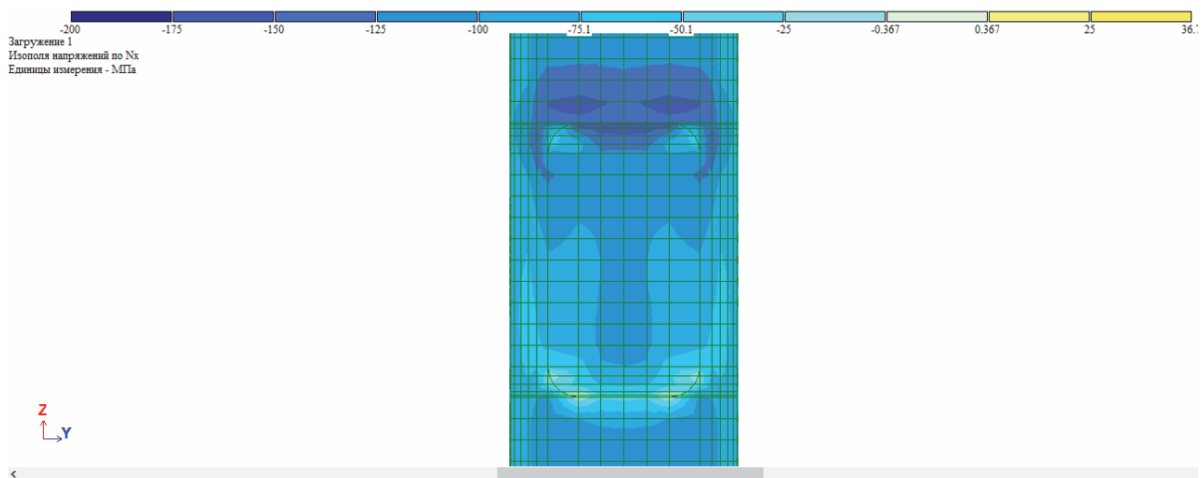


Рисунок 16. Распределение нормальных кольцевых напряжений в сечениях ТБ стойки.

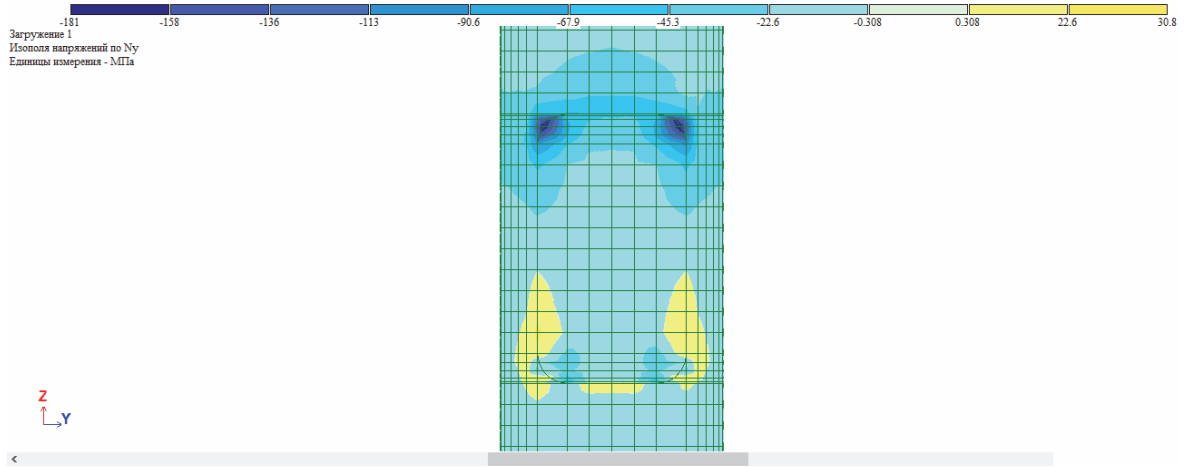


Рисунок 17. Распределение меридиональных напряжений в сечениях ТБ стойки.

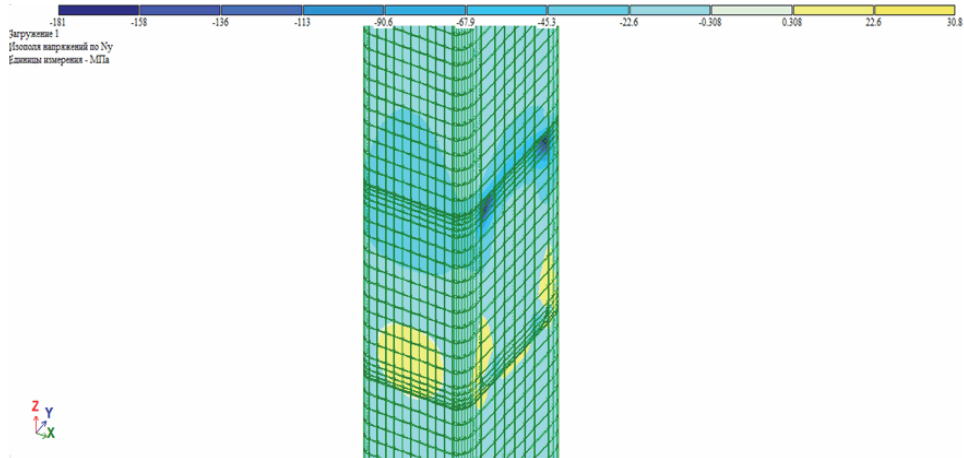


Рисунок 18. Распределение нормальных напряжений в бетоне вдоль оси стойки.

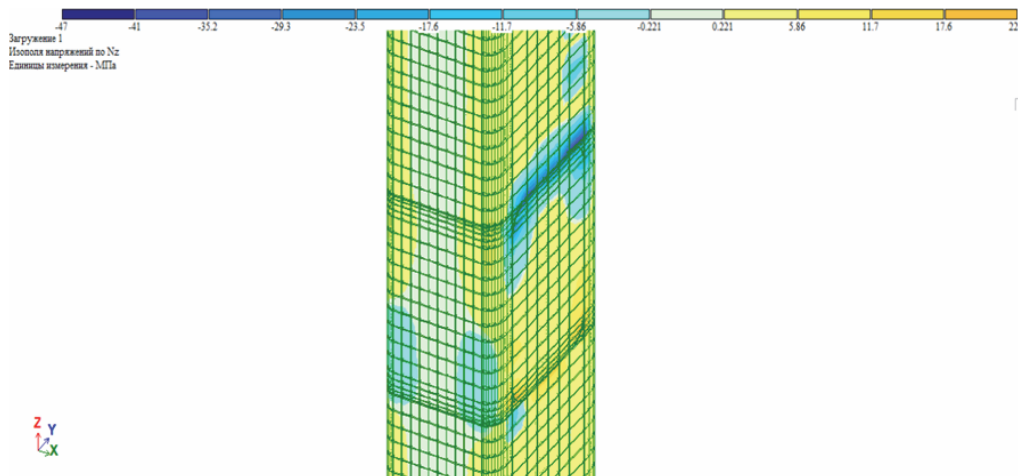


Рисунок 19. Распределение нормальных напряжений в бетоне в плоскости сечения бетонного ядра.

4. Максимальные нормальные кольцевые и меридиональные напряжения соответственно в сечениях стойки равны 200 и 181 МПа, что не превышает расчетного сопротивления стали.
5. В бетонном ядре, в зонах примыкания ригелей к ГСП стойки, возникают значительные сжимающие напряжения до 181 МПа и рас-

тягивающие до 31 МПа – что значительно превышает прочностные характеристики бетона внутри стальной оболочки [9].

6. В целом наибольший уровень нормальных и приведенных напряжений наблюдается в зонах у скруглений ГСП ригелей, в местах их заземления в ТБ стойке [10].

Литература

1. Миронов, А. Н. Напряженно-деформированное состояние в трубобетонном элементе рамного узла с применением ригелей двутаврового сечения / А. Н. Миронов, В. М. Анищенко, А. Н. Волчков. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2019. – Том 25. – № 3. – С. 127–135. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2019-3/04_mironov_anischnkov_volchkov.pdf (дата публикации: 14.10.19).
2. Мансурова, А. Р. Расчет трубобетонных колонн высотного здания и их сравнение с железобетонными конструкциями / А. Р. Мансурова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 52. – С. 20–23.
3. Стороженко, Л. І. Трубобетон : монографія / Л. І. Стороженко, Д. А. Єрмоленко, О. І. Лапенко. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2010. – 306 с. – ISBN 978-966-182-060-8. – Текст : непосредственный.
4. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – Москва : Стройиздат, 1974. – 144 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 30245-2012. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия = Steel bent closed welded square and rectangular section for building. Specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 марта 2014 г. № 91-ст : взамен ГОСТ 30245-2003 : дата введения 2014-10-01 / разработан закрытым акционерным обществом «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова» (ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»). – Москва : Стандартинформ, 2017. – 38 с. – Текст : непосредственный.
6. Лихтарников, Я. М. Расчет стальных конструкций : справочное пособие / Я. М. Лихтарников, Д. В. Ладыженский, В. М. Клыков. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Киев : Будівельник, 1984. – 368 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Mironov, A. N.; Anishchenkov, V. M.; Volchkov, A. N. Method of Experimental Studies of Frame Pipe-Concrete Units with Round-Tube Struts and I-beam Crossbars. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2019. – Volume 25, № 3. – P. 127–135. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2019-3/04_mironov_anischnkov_volchkov.pdf (publication date: 14.10.2019). (in Russian)
2. Mansurova, A. R. Calculation of pipe-concrete columns of a high-rise building and their comparison with reinforced concrete structures. – Text : direct. – In: *Young scientist*. – 2018. – № 52. – P. 20–23. (in Russian)
3. Storozhenko, L. I.; Ermolenko, D. A.; Lapenko, O. I. Pipe concrete : monograph. – Poltava : LTD «ASMI», 2010. – 306 p. – ISBN 978-966-182-060-8. – Text : direct. (in Ukrainian)
4. Kikin, A. I.; Sanzharovsky, R. S.; Trull, V. A. Structures made of steel pipes filled with concrete. – Moscow : Stroiizdat, 1974. – 144 p. – Text : direct. (in Russian)
5. GOST 30245-2012. Steel bent closed welded square and rectangular section for building. Specifications. – Moscow : Standartinform, 2017. – 38 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Likhtarnikov, Ya. M.; Ladyzhensky, D. V.; Klykov, V. M. Calculation of steel structures : a reference guide. – 2nd ed., revised and enlarged. – Kiev : Budivelnik, 1984. – 368 p. – Text : direct. (in Russian)
7. DBN V 2.6-163:2010. Structures of buildings and structures. Steel structures. Design, manufacturing and installation standards. – Kiev : Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2010. – 201 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
8. Strelets-Streletsky, Ye. B.; Zhuravlev, A. V.; Vodopyanov, R. Yu.; edited by Academician RAABS A. S. Gorodetsky. LIRA-SAPR. Book I. The Basics. – Moscow : Publishing House LIRALAND, 2019. – 154 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Semko, O. V. Probabilistic aspects of the calculation of steel-reinforced concrete structures : monograph. – Kiev : Steel, 2004. – 316 p. – Text : direct. (in Ukrainian)

7. ДБН В 2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : затверджено Наказом Мінрегіонбуду України від 16.12. 2010 р. № 521 : на заміну СНиП П2381* : надано чинності 2010-12-30 / розроблено Товариством з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» (ТОВ Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського). – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 201 с. – Текст : непосредственный.
8. Стрелец-Стрелецкий, Е. Б. ЛИРА-САПР. Книга I. Основы / Е. Б. Стрелец-Стрелецкий, А. В. Журавлев, Р. Ю. Водопьянов ; под редакцией академика РААСН А. С. Городецкого. – Москва : Издательство LIRALAND, 2019. – 154 с. – Текст : непосредственный.
9. Семко, О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко. – Київ : Сталь, 2004. – 316 с. – Текст : непосредственный.
10. Ермоленко, Д. А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів : монографія / Д. А. Ермоленко. – Полтава : Видавець Шевченко Р. В., 2012. – 316 с. – Текст : непосредственный.
11. Sheikh, S. A. Analytical model for concrete confinement in tied columns / S. A. Sheikh, S. M. Urumeri. – Текст : непосредственный // Journal of the Structural Division. – 1982. – Volume 108. – Issue 12. – P. 2707–2722.
12. Ansourian, P. Connections to Concrete Filled Tube Columns / P. Ansourian. – Текст : непосредственный // International Association of Bridge and Structural Engineers. – 1976. – Volume 361. – P. 1–22.
13. Gardner, N. J. Structural behavior of concrete filled steel tubes / N. J. Gardner, E. R. Jacobson. – Текст : непосредственный // Journal of ACI. – 1967. – Volume 64. – Issue 7. – P. 404–413.
10. Ermolenko, D. A. Volumetric stress-strain state of pipe-concrete elements : monograph. – Poltava : Publisher R. V. Shevchenko, 2012. – 316 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
11. Sheikh, S. A.; Urumeri, S. M. Analytical model for concrete confinement in tied columns. – Text : direct. – In: *Journal of the Structural Division*. – 1982. – Volume 108. – Issue 12. – P. 2707–2722. (in English)
12. Ansourian, P. Connections to Concrete Filled Tube Columns. – Text : direct. – In: *International Association of Bridge and Structural Engineers*. – 1976. – Volume 361. – P. 1–22. (in English)
13. Gardner, N. J.; Jacobson, E. R. Structural behavior of concrete filled steel tubes. – Text : direct. – In: *Journal of ACI*. – 1967. – Volume 64. – Issue 7. – P. 404–413. (in English)

Миронов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

Белый Дмитрий Валерьевич – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: сталежелезобетонные конструкции.

Миронов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широко полчкових двотаврів та гнутозварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Бельй Дмитро Валерійович – асистент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: сталезалізобетонні конструкції.

Mironov Andrey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wideband Ibars and rollwelded closed profiles, stress-strain state of steel reinforced concrete structures including pipeconcrete structures.

Belyy Dmitro – Assistant, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: steel reinforced concrete constructions.