



(20)-0415-1

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАМНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ УЗЛОВ СО СТОЙКАМИ ИЗ КРУГЛОЙ ТРУБЫ И РИГЕЛЯМИ ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ

В. М. Анищенко¹, А. Н. Миронов², Д. В. Алексеев³*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ vove.ne@mail.ru, ² andreypexp@mail.ru, ³ aleks@mail.ru**Получена 13 октября 2020; принята 27 ноября 2020.*

Аннотация. В статье приводится методика проведения статических испытаний трубобетонного узла. В виде колонны применялась труба круглого сечения с диаметром 220 мм и толщиной стенки 7 мм, длина фрагмента колонны 1 050 мм. Труба заполнена бетоном класса В15. В качестве ригелей применяется стальная балка двутаврового сечения № 20с консольным вылетом 1 100 мм. Примыкание ригелей к колонне обеспечивается двумя горизонтальными и четырьмя вертикальными накладками толщиной 5 мм при помощи сварки. Нагрузка на трубу узла передавалась прессом ПММ-250. Нагрузка на ригели передавалась автомобильными гидравлическими домкратами грузоподъемностью 20 т через динамометр сжатия. Шаг приложения нагрузки для экспериментальной модели на стойки составляет 20 т, на ригели – по 0,5 т (всего 10 ступеней нагружения). Длительность выдержки каждой ступени составляет 3 минуты (для восприятия и распределения нагрузки в конструкции). Фиксация показаний с тензорезисторов производилась с помощью измерительной тензометрической системы СИИТ-3 с записью в журнал испытаний. Результаты экспериментальных исследований позволяют определить сходимость параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) с результатами численных исследований.

Ключевые слова: рамный узел, тензорезистор, гидравлический пресс, измерительная тензометрическая система, динамометр сжатия, тарировочная балка, компенсационный тензорезистор, экспериментальная модель.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РАМНИХ ТРУБОБЕТОННИХ ВУЗЛІВ ЗІ СТІЙКАМИ З КРУГЛОЇ ТРУБИ І РИГЕЛЯМИ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ

В. М. Аніщенко¹, А. М. Миронов², Д. В. Алексєєв³*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ vove.ne@mail.ru, ² andreypexp@mail.ru, ³ aleks@mail.ru**Отримана 13 жовтня 2020; прийнята 27 листопада 2020.*

Анотація. У статті наводиться методика проведення статичних випробувань трубобетонного вузла. У вигляді колони застосовувалася труба круглого перерізу з діаметром 220 мм і товщиною стінки 7 мм, довжина фрагмента колони 1 050 мм. Труба заповнена бетоном класу В15. Як ригелі застосовується сталева балка двотаврового перерізу № 20 з консольним вильотом 1 100 мм. Примикання ригелів до колони забезпечується двома горизонтальними і чотирма вертикальними накладками товщиною 5 мм за допомогою зварювання. Навантаження на трубу вузла передавалося пресом ПММ-250. Навантаження на ригелі передавалося автомобільними гідравлічними домкратами вантажопідйомністю 20 т

через динамометр стиснення. Крок прикладання навантаження для експериментальної моделі на стійки становить 20 т, на ригелі – по 0,5 т (всього 10 ступенів навантаження). Тривалість витримки кожного ступеня становить 3 хвилини (для сприйняття і розподілу навантаження в конструкції). Фіксація показань з тензорезисторів проводилася за допомогою вимірювальної тензометричної системи СИИТ-3 із записом в журнал випробувань. Результати експериментальних досліджень дозволять визначити збіжність параметрів напружено-деформованого стану (НДС) з результатами чисельних досліджень.

Ключові слова: рамний вузол, тензорезистор, гідравлічний прес, вимірювальна тензометрична система, динамометр стиснення, тарувальна балка, компенсаційний тензорезистор, експериментальна модель.

METHOD OF EXPERIMENTAL STUDIES OF FRAME PIPE-CONCRETE UNITS WITH ROUND-TUBE STRUTS AND I-BEAM CROSSBARS

Vladimir Anishchenkov¹, Andrey Mironov², Dmitry Alekseyev³

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

E-mail: ¹ vove.ne@mail.ru, ² andreyexp@mail.ru, ³ aleks@mail.ru

Received 13 October 2020; accepted 27 November 2020.

Abstract. The article provides a method for conducting static tests of a pipe-concrete unit. In the form of a column, a circular pipe with a diameter of 220 mm and a wall thickness of 7 mm was used, the length of a column fragment was 1 050 mm. The pipe is filled with concrete of class B15. As crossbars, a steel I-beam № 20 with a cantilever overhang of 1 100 mm is used. The joining of the crossbars to the column is ensured by two horizontal and four vertical plates 5 mm thick by welding. The load on the tube of the unit was transferred by a PMM-250 press. The load on the girders was transferred by hydraulic vehicle jacks with a lifting capacity of 20 tons through a compression dynamometer. The step of applying the load for the experimental model on the struts is 20 tons, on the crossbars – 0,5 tons each (a total of 10 loading steps). The holding time of each stage is 3 minutes (for the perception and distribution of the load in the structure). The readings from the strain gages were recorded using the SIIT-3 measuring strain gauge system with a record in the test log. The results of experimental studies will make it possible to determine the convergence of the parameters of the stress-strain state (SSS) with the results of numerical studies.

Keywords: frame assembly, strain gauge, hydraulic press, strain gauge system, compression dynamometer, calibration beam, compensation strain gauge, experimental model.

Введение

Широкому применению трубобетонных конструкций (ТБ) в отечественной практике строительства препятствует отсутствие нормативных документов по их расчету и проектированию. Прочность и деформации ТБ изучались многими исследователями на протяжении десятков лет, однако существующие методы их расчета существенно отличаются друг от друга [1]. В них не учитывается сочетание свойств материалов, неполно отражаются основные осо-

бенности и специфика сопротивления ТБ деформированию в зависимости от характера действующей нагрузки. Кроме того, многочисленные теоретические и экспериментальные исследования проводились на линейных элементах в виде фрагментов центрально-сжатых и сжато-изгибаемых ТБ колонн и стоек с различными параметрами труб [2, 3]. Жёсткие и шарнирные узловые соединения балочных элементов с ТБ стойками исследовались мало, и вследствие этого недостаточно освещена их работа под нагрузкой в составе каркасов зданий и

сооружений, а также их надёжность. Поэтому экспериментальные исследования различных типов узлов с применением ТБ в настоящее время являются актуальными.

Анализ исследования

Достаточно точную оценку НДС в узловых соединениях вертикальных и горизонтальных элементов, а также общей и местной устойчивости конструкции можно получить с использованием экспериментального метода на моделях, выполненных в натуральную величину. Большой объём экспериментальных исследований НДС для линейных элементов в виде ТБ стоек и колонн с разными параметрами труб и характеристиками бетонов проводились следующими учёными: О. Я. Бергом, О. О. Гвоздевым, Г. А. Гениевым, О. А. Долженко, В. И. Ефименко, А. И. Кикиным, Р. С. Санжаровским, Л. И. Строженко, В. М. Сурдиным, В. А. Труль, В. Ф. Пенц, Д. А. Ермоленко, А. В. Семко, А. П. Воскобойник.

По результатам численных исследований моделей узлов [1, 3, 4] были определены основные геометрические параметры испытуемых узлов, испытательная нагрузка, места установки тензо-

резисторов для определения НДС на трубчатом элементе узла. Узлы были изготовлены в соответствии с назначенными геометрическими параметрами как фрагмент рамной системы в натуральную величину.

Целью экспериментальных исследований является определение нормальных и касательных напряжений в зоне примыкания ригелей к ТБ колонне для проверки сходимости параметров НДС с результатами численных исследований.

Основная часть

1. Объект исследования

Для оценки НДС были проведены экспериментальные исследования рамных узлов со стойками из ТБ и ригелями двутаврового сечения.

В модели рамного узла была применена стальная круглая труба с наружным диаметром 220 мм и толщиной стенки 7 мм, с примыканием к ней ригелей из двутавра № 20. Для заполнения внутренней полости трубы применялся бетон класса В15 (рис. 1).

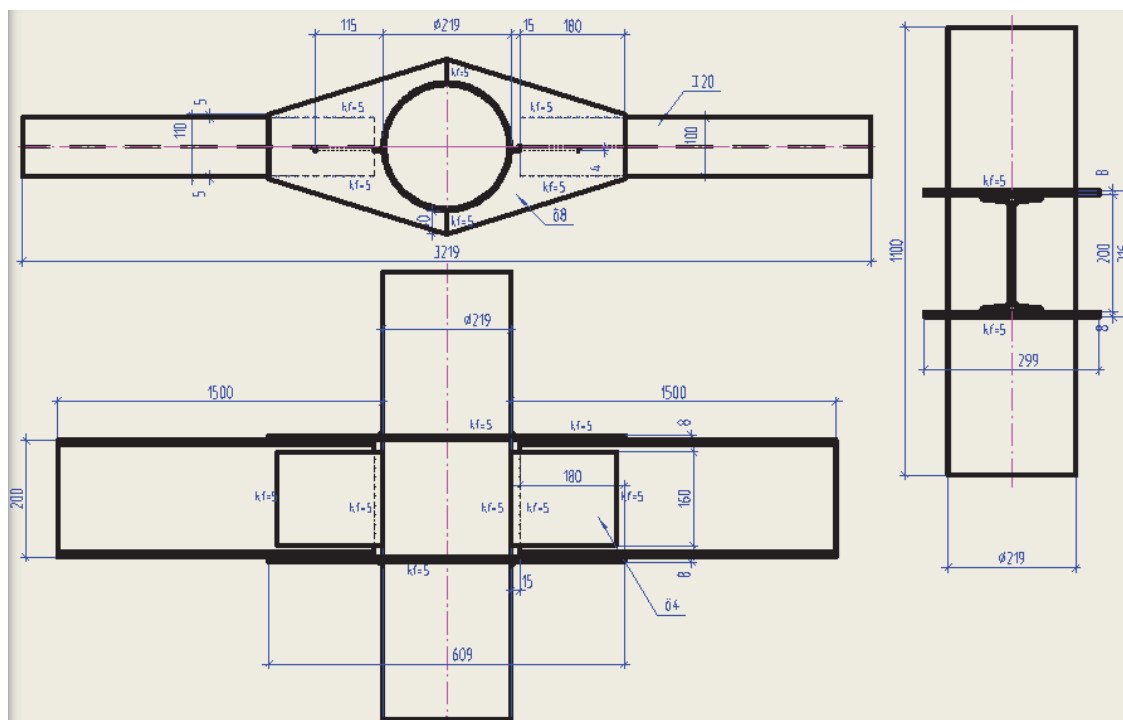


Рисунок 1. Общая схема экспериментального узла с применяемыми геометрическими параметрами.

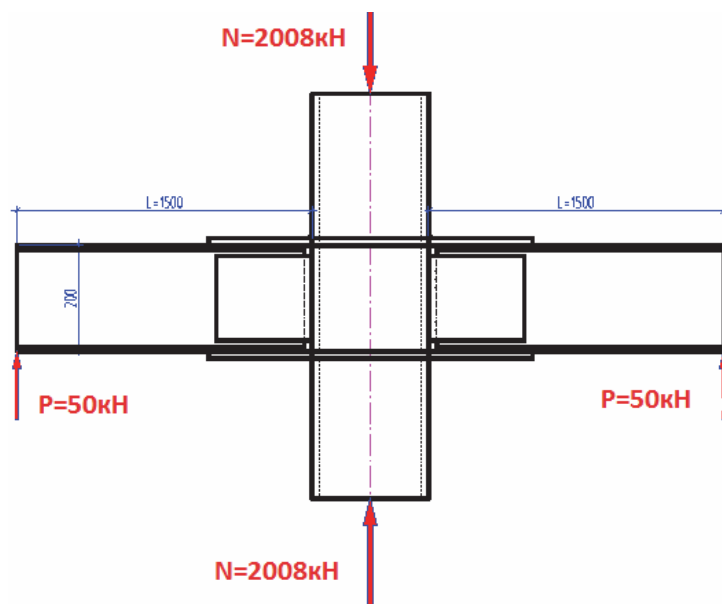


Рисунок 2. Схема загрузки рамного ТБ узла.



Рисунок 3. Фото экспериментальных рамных узлов без бетона внутри труб.



Рисунок 4. Фото экспериментальных рамных ТБ узлов с бетоном внутри труб.

Виды, схема загрузки и фото экспериментальных узлов приведены на рисунках 1–4.

Поверхность трубы в зонах с максимальными напряжениями (рис. 5) была обработана для наклейки тензорезисторов клеем «Цианопан». Всего было наклеено 67 тензорезисторов на бумажной основе с базой 10 мм и ценой деления $\sigma = 0,35$ МПа. Тензорезисторы располагались по 3 штуки в каждой зоне в виде розеток (рис. 5).

Распайка тензорезисторов в единую электрическую цепь производилась по схеме в 1/4 моста с использованием одного компенсационного датчика.

При тензометрических исследованиях применялась система СИИТ-3 (рис. 6, 7) на 100 каналов измерения.

2. Подготовка и проведение эксперимента

Перед началом проведения экспериментальных исследований на базе ГОУ ВПО «ДОННАСА» было проведено тарирование тензорезисторов. Для тарировки была принята консольная балка переменного сечения равного сопротивления изгибу (рис. 8).

В местах изменения сечения были установлены четыре активных тензорезистора, расположенных вдоль продольной оси балки. По результатам тарировки была получена цена деления тензорезисторов $\sigma = 0,35$ МПа (рис. 8).

На основании предварительных результатов расчета были принята следующая нагрузка на экспериментальную модель. Для данной модели

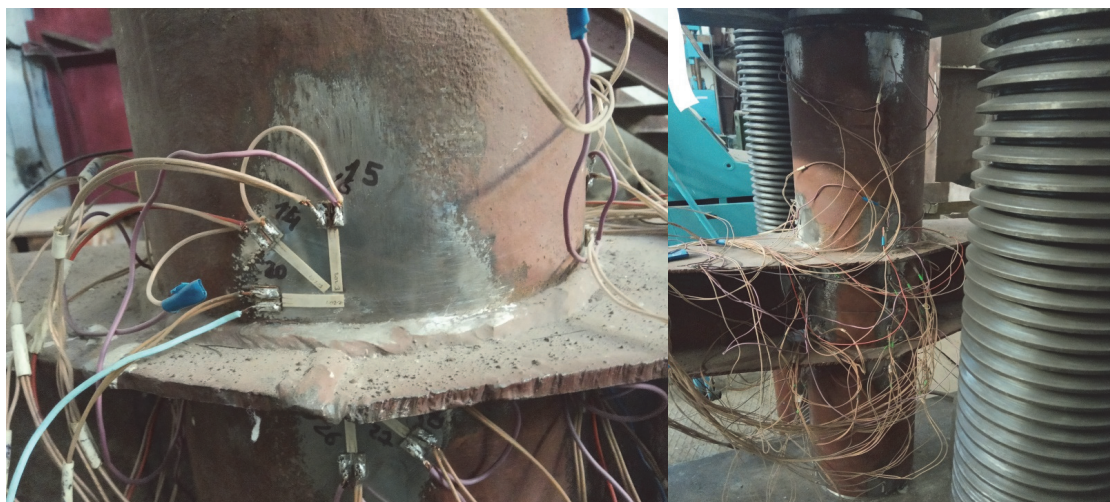


Рисунок 5. Зона наклейки датчиков в виде розетки на поверхность трубы.



Рисунок 6. Система измерительная тензометрическая СИИТ-3 на 100 каналов измерения.

максимальная расчётная нагрузка на бетонное ядро внутри трубы составила $N = 2008$ кН, а на ригели $P = 50$ кН [1–4].

Нагрузка на экспериментальную модель прикладывалась при помощи 250-тонного гидравлического пресса ПММ-250. На ригели нагрузка прикладывалась гидравлическими автомобильными домкратами грузоподъемностью 20 т через динамометры сжатия (рис. 9а, б).

Шаг приложения нагрузки для модели (стойки) составляет 20 т, для ригелей – 0,5 т (10 ступеней нагружения соответственно). Длительность выдержки каждой ступени составляет 3 минуты (для восприятия и распределения нагрузки в конструкции).



Рисунок 7. Коммутатор тензометрических сигналов и компенсационный датчик.

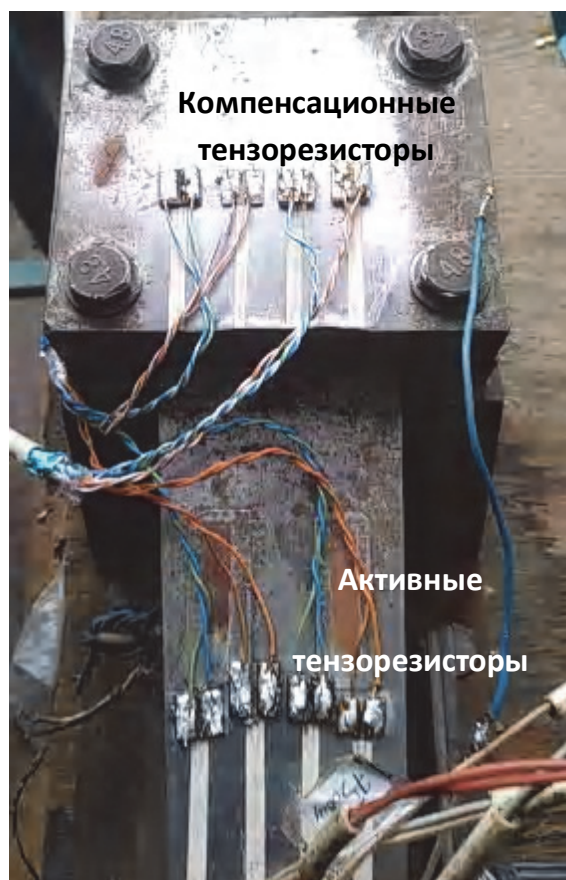


Рисунок 8. Расположение активных и компенсационных тензорезисторов.

Фиксация показаний с тензорезисторов записывалась с помощью СИИТ-3 и фиксировалась в журнал испытаний.

Заключение

1. По данным численных исследований определены места установки тензорезисторов.
2. Определена максимальная экспериментальная нагрузка на узел и программа испытаний.
3. Результаты экспериментальных исследований позволят определить сходимость параметров НДС с результатами численных исследований.

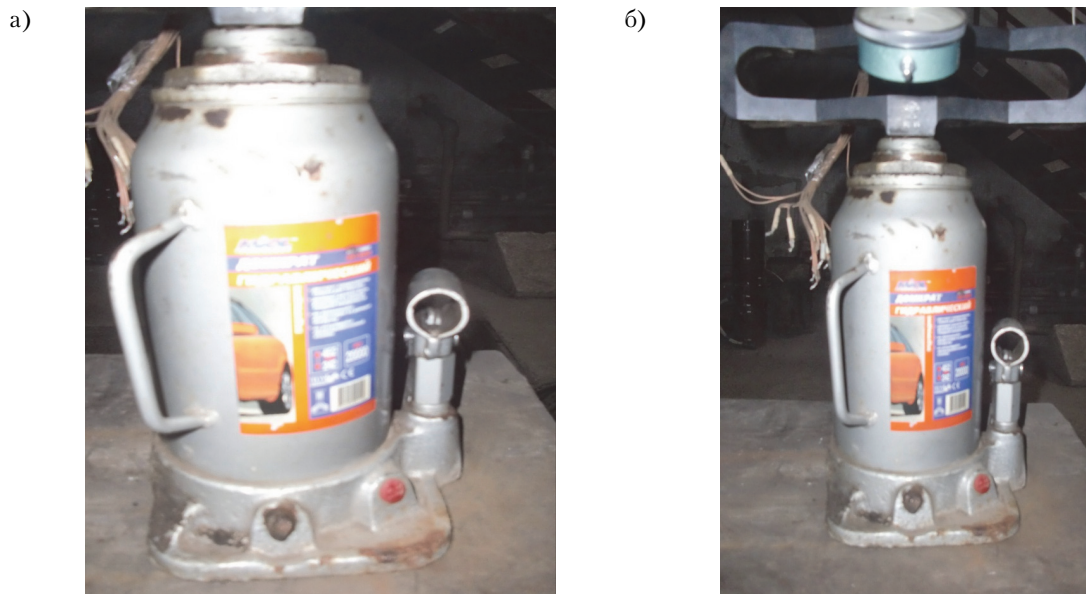


Рисунок 9. Испытательная оснастка для передачи нагрузки на ригель ТБ узла: а) домкрат автомобильный грузоподъемностью 20 тонн; б) динамометр сжатия.

Литература

1. Миронов, А. Н. Напряжённо-деформированное состояние в трубобетонном элементе рамного узла с применением ригелей двутаврового сечения [Электронный ресурс] / А. Н. Миронов, В. М. Анищенко, А. Н. Волчков / Металлические конструкции. 2019. Том 25, № 3. С. 127–135. – Режим доступа : http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/20193/04_mironov_anishchenkov_volchkov.pdf.
2. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном [Текст] / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – М.: Стройиздат, 1974. – 144 с.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – Замість СНиП 2.03.01-84*; надано чинності 2011-06-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 75 с.
4. Клименко, Ф. Є. Металеві конструкції [Текст]: підручник / Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш, Л. І. Стороженко; за ред. Ф. Є. Клименка. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.
5. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures [Text]. Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Supersedes ENV 1994-1-1:1992; This European Standard was approved by CEN on 27 May 2004. – Brussels: CEN, 2004. – 121 p.
6. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2. Design of concrete structures [Text]. Part 1-1: General rules and rules

References

1. Mironov, A. N.; Anishchenkov, V. M.; Volchkov, A. N. Stress-strain state in a pipe-concrete element of a frame unit using I-beam crossbars [Electronic resource]. In: *Metal constructions*. 2019. Volume 25, № 3. P. 127–135. Access mode : http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/20193/04_mironov_anishchenkov_volchkov.pdf. (in Russian)
2. Kikin, A. I.; Sanzharovsky, R. S.; Trull, V. A. Concrete-filled steel pipe structures [Text]. M.: Stroiizdat, 1974. 144 p. (in Russian)
3. DBN V.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2011. 75 p. (in Ukraine)
4. Klimenko, F. Ye.; Barabash, V. M.; Storozhenko, L. I. Metal constructions [Text]: textbook. Edited by F. Ye. Klimenko. – 2-nd ed., revised and supplemented. Lviv: Svit, 2002. 312 p. (in Ukraine)
5. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures [Text]. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 121 p. (in English)
6. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2. Design of concrete structures [Text]. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 227 p. (in English)
7. Livshits, Ya. D.; Zhemchuzhnikov, V. G.; Bachinsky, V. Ya. Experimental and theoretical study of the bearing capacity, deformability and crack resistance of centrally and eccentrically compressed elements

- for buildings. – Supersedes ENV 1992-1-1:1991; This European Standard was approved by CEN on 16 April 2004. – Brussels : CEN, 2004. – 227 p.
7. Лившиц, Я. Д. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности, деформативности и трещиностойкости центрально и внецентренно сжатых элементов брускового сечения с учетом влияния «обоймы» [Текст] : отчет по НИР / Я. Д. Лившиц, В. Г. Жемчужников, В. Я. Бачинский. – Киев : КАДИ, 1969. – 112 с.
 8. Сурдин, В. М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук. / В. М. Сурдин. – Одесса, 1970. – 21 с.
 9. Лукша, Л. К. Прочность трубобетона [Текст] / Л. К. Лукша. – Минск : Высшая школа, 1977. – 96 с.
 10. Труль, В. А. Устойчивость центрально сжатых труб, заполненных бетоном [Текст] / В. А. Труль, Р. С. Санжаровский // Доклады XXV конференции ЛИСИ. – Л., 1968. С. 28–40.
 11. Стороженко, Л. И. Напряженно-деформированное состояние центрально сжатых трубобетонных элементов под действием эксплуатационной нагрузки [Текст] / Л. И. Стороженко, В. М. Сурдин // Строительные конструкции, 1971. Вып. XVIII. С. 64–71.
 12. Boyd, P. F. Seismic performance of steel encased concrete columns under flexural loading [Текст] / P. F. Boyd, W. F. Cofer, D. I. McLean // Journal of ACI. 1995. Vol. 92, № 3. P. 353–364.
 13. Hibbitt. ABAQUS User's Manual [Текст] / Hibbitt, Karlsson, Sorensen. – USA, Rhode Island : Inc. Pawtucket, 1994. – 18 p.
 14. Adrian, C. A. Creep and Shrinkage Analysis of Composite Systems under Axial Load and Biaxial Bending [Текст] / C. A. Adrian, T. C. Triantafillou // Materials and Structures, 1992. Vol. 25. P. 543–551.
 15. Ansourian, P. Connections to Concrete-Filled Tube Columns [Текст] / P. Ansourian // International Association of Bridge and Structural Engineers. 1976. Vol. 36-1. P. 1–22.
 - of a bar section, taking into account the influence of the «cage» [Text] : research report. Kiev : KARI, 1969. 112 p. (in Russian)
 8. Surdin, V. M. Investigation of the stress-strain state of concrete tubular elements under axial loading, taking into account rheological processes [Text] : abstract Thesis of Ph. D. in Engineering. Odessa, 1970. 21 p. (in Russian)
 9. Luksha, L. K. Strength of pipe concrete [Text]. Minsk : High school, 1977. 96 p. (in Russian)
 10. Trull, V. A.; Sanzharovsky, R. S. Stability of centrally compressed pipes filled with concrete [Text]. In: *Reports of XXV conference LCEI*. 1968. P. 28–40. (in Russian)
 11. Storozhenko, L. I.; Surdin, V. M. Stress-strain state of centrally compressed pipe-concrete elements under the action of the operating load [Text]. In: *Building structures*, 1971. Issue XVIII. P. 64–71. (in Russian)
 12. Boyd, P. F.; Cofer, W. F.; McLean, D. I. Seismic performance of steel encased concrete columns under flexural loading [Text]. In: *Journal of ACI*. 1995. Vol. 92, № 3. P. 353–364. (in English)
 13. Hibbitt; Karlsson; Sorensen. ABAQUS User's Manual [Text]. USA, Rhode Island : Inc. Pawtucket, 1994. 18 p. (in English)
 14. Adrian, C. A.; Triantafillou, T. C. Creep and Shrinkage Analysis of Composite Systems under Axial Load and Biaxial Bending [Text]. In: *Materials and Structures*, 1992. Vol. 25. P. 543–551. (in English)
 15. Ansourian, P. Connections to Concrete-Filled Tube Columns [Text]. In: *International Association of Bridge and Structural Engineers*. 1976. Vol. 36-1. P. 1–22. (in English)

Анищенко Владимир Михайлович – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

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.

Алексеев Дмитрий Викторович – соискатель кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование тензометрии для определения напряжённого состояния строительных конструкций.

Аніщенко Володимир Михайлович – асистент кафедри металевих конструкцій і споруд ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

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

Алексєєв Дмитро Вікторович – здобувач кафедри металевих конструкцій і споруд ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання тензометрії для визначення напруженого стану будівельних конструкцій.

Anishchenkov Vladimir – assistant, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: stressstrain state of composite structures including pipeconcrete structures.

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, stressstrain state of steel reinforced concrete structures including pipeconcrete structures.

Alekseyev Dmitry – External PhD student, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of strain gauges to determine the stress state of building structures.