



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2021, ТОМ 27, НОМЕР 4, 217–225  
УДК 624.01.001.53

(21)-0433-1

## **МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СТАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА И БЕТОНА ПО ПОВЕРХНОСТИ ИХ СОПРИКОСНОВЕНИЯ**

**В. Н. Васильев<sup>1</sup>, В. М. Анищенко<sup>2</sup>, М. М. Бойко<sup>3</sup>**

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

*E-mail: <sup>1</sup> wn1951@mail.ru, <sup>2</sup> vove.ne@mail.ru, <sup>3</sup> irina-b64@list.ru*

*Получена 28 октября 2021; принята 26 ноября 2021.*

**Аннотация.** В статье приводится методика проведения статических испытаний бетонной призмы из бетона класса В15 для исследования сцепления бетона по плоской поверхности стального элемента. Для проведения экспериментальных исследований была создана установка, состоящая из двух металлических пластин с размерами 500×100×10 мм. Между данными пластинами помещаются бетонные призмы, которые обжимаются гидравлическим прессом. Бетонный образец устанавливается на металлический квадратный сляб с размерами 100×100 мм. Нагрузка на данную конструкцию передается через металлическую накладку круглого сечения диаметром  $\varnothing 200$  мм на металлический цилиндр с размерами 135×50 мм гидравлическим домкратом ГД-20, грузоподъемностью 20 т. Горизонтальные деформации бетонной призмы вдоль ее длины фиксируются индикатором часового типа ИЧ-10 с записью в журнал испытаний. Целью проведения испытаний являлось исследование продольных горизонтальных сдвиговых деформаций по контакту бетон-сталь в зависимости от уровня обжатия бетонной призмы и уровня приложенной нагрузки к поперечному сечению.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние (НДС), экспериментальная модель, трубобетонный (ТБ) элемент, гидравлический пресс, бетонные призмы, фаска под цилиндр, сцепление бетона, стальная оболочка, коэффициент поперечной деформации.

## **МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ СТАЛЕВОГО ЕЛЕМЕНТА І БЕТОНУ ПО ПОВЕРХНІ ЇХ ЗІТКНЕННЯ**

**В. М. Василев<sup>1</sup>, В. М. Аніщенко<sup>2</sup>, М. М. Бойко<sup>3</sup>**

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

*E-mail: <sup>1</sup> wn1951@mail.ru, <sup>2</sup> vove.ne@mail.ru, <sup>3</sup> irina-b64@list.ru*

*Отримана 28 жовтня 2021; прийнята 26 листопада 2021.*

**Анотація.** У статті наводиться методика проведення статичних випробувань бетонної призми з бетону класу В15 для дослідження зчеплення бетону по плоскій поверхні сталевого елемента. Для проведення експериментальних досліджень була створена установка, що складається з двох металевих пластин з розмірами 500×100×10 мм. між даними пластинами поміщаються бетонні призми, які обтискаються гідравлічним пресом. Бетонний зразок встановлюється на металевий квадратний сляб з розмірами 100×100 мм. Навантаження на дану конструкцію передається через металеву накладку круглого перерізу діаметром  $\varnothing 200$  мм на металевий циліндр із розмірами 135×50 мм гідравлічним домкратом ГД-20, вантажопідйомністю 20 т. Горизонтальні деформації бетонної призми вздовж її довжини фіксуються

індикатором годинникового типу ІЧ-10 з записом у журнал випробувань. Метою проведення випробувань було дослідження поздовжніх горизонтальних зсувних деформацій по контакту бетон-сталь в залежності від рівня обтиску бетонної призми і рівня прикладеного навантаження до поперечного перерізу.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан (НДС), експериментальна модель, труботонний (ТБ) елемент, гідравлічний прес, бетонні призми, фаска під циліндр, зчеплення бетону, сталева оболонка, коефіцієнт поперечної деформації.

## METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF STEEL ELEMENT AND CONCRETE WORKING TOGETHER ON THE SURFACE OF THEIR CONTACT

Vladimir Vasylev<sup>1</sup>, Vladimir Anishchenkov<sup>2</sup>, Mikhail Boyko<sup>3</sup>

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

*E-mail: <sup>1</sup> wn1951@mail.ru, <sup>2</sup> vove.ne@mail.ru, <sup>3</sup> irina-b64@list.ru*

*Received 28 October 2021; accepted 26 November 2021.*

**Abstract.** The article presents a methodology for conducting static tests of a concrete prism made of concrete of class B15 to study the adhesion of concrete on a flat surface of a steel element. To conduct experimental studies, an installation consisting of two metal plates with dimensions of 500×100×10 mm was created. Concrete prisms are placed between these plates, which are compressed by a hydraulic press. The concrete sample is installed on a metal square slab with dimensions of 100×100 mm. The load on this structure is transmitted through a circular metal plate with a diameter of  $\varnothing 200$  mm to a metal cylinder with dimensions of 135×50 mm hydraulic jack GD-20, with a load capacity of 20 t. Horizontal deformations of the concrete prism along its length are recorded by an ICH-10 clock type indicator with an entry in the test log. The purpose of the tests was to study longitudinal horizontal shear deformations along the concrete-steel contact, depending on the level of compression of concrete.

**Keywords:** stress-strain state (VAT), experimental model, pipe-concrete (TB) element, hydraulic press, concrete prisms, chamfer for cylinder, concrete adhesion, steel shell, coefficient of transverse deformation.

### Введение

В настоящее время при проектировании комбинированных монолитных конструкций используются в основном статические и конструктивные расчёты, основанные, как правило, на двух упрощённых подходах и различных способах приведения расчётного сечения к квазисплошному. Зачастую рассматриваются составные конструкции с использованием линейно-упругих систем или простейших нелинейных законов деформирования материалов. Это далеко не в полной мере отражает поведение сталебетонной конструкции под нагрузкой и для большинства

случаев требует экспериментальных исследований [1, 2].

### 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. Трулль, В. Ф. Пенц, Д. А. Ермоленко, А. В. Семко, А. П. Воскобойник [1].

Основным моментом при возведении объектов с применением ТБ элементов является обеспечение совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках, что является существенным конструктивным недостатком данных конструкций. Ввиду разности начальных коэффициентов поперечной деформации бетона и стали ( $\nu_b \approx 0,18$ ,  $\nu_s \approx 0,3$ ), в процессе постепенного нагружения, ядро и обойма работают совместно только в начальный период загрузки [1, 3, 5]. Затем, из-за указанной разницы в деформационных свойствах и низкой прочности сцепления бетона со сталью, внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений, что приводит к нарушению сцепления. В этот момент, естественно, никакого поперечного обжатия бетона в трубе происходить не может, и бетон работает в условиях одноосного сжатия, а труба – как продольная арматура [7].

### Основная часть

#### Объект исследования

Для моделирования совместной работы стальной трубы и бетона по поверхности соприкосновения применялась призма из бетона класса В15. Бетон выдерживался 30 суток при средней температуре 18 °С и постоянном увлажнении (рис. 1). Количество бетонных призм – 6 со следующими основными размерами:

- поперечное сечение  $b \times h = 100 \times 100$  мм;
- длина призм  $l = 200$  мм.

Величины прикладываемых ступенями нагрузок для одного образца призмы приведены в таблице.

#### Подготовка и проведение эксперимента

Экспериментальные исследования проводятся на базе ГОУ ВПО «ДОННАСА».



Рисунок 1. Испытуемая призма из бетона класса В15.

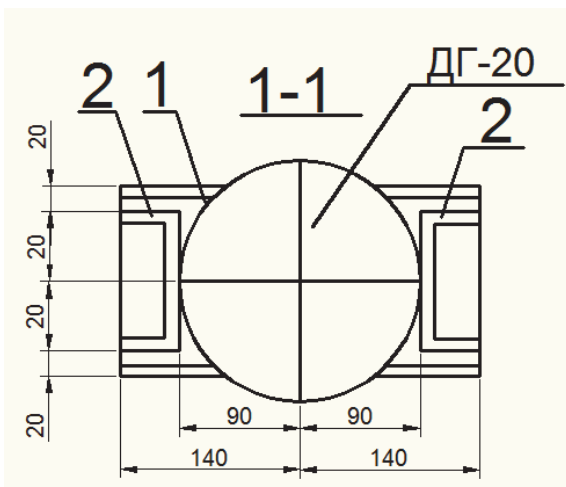
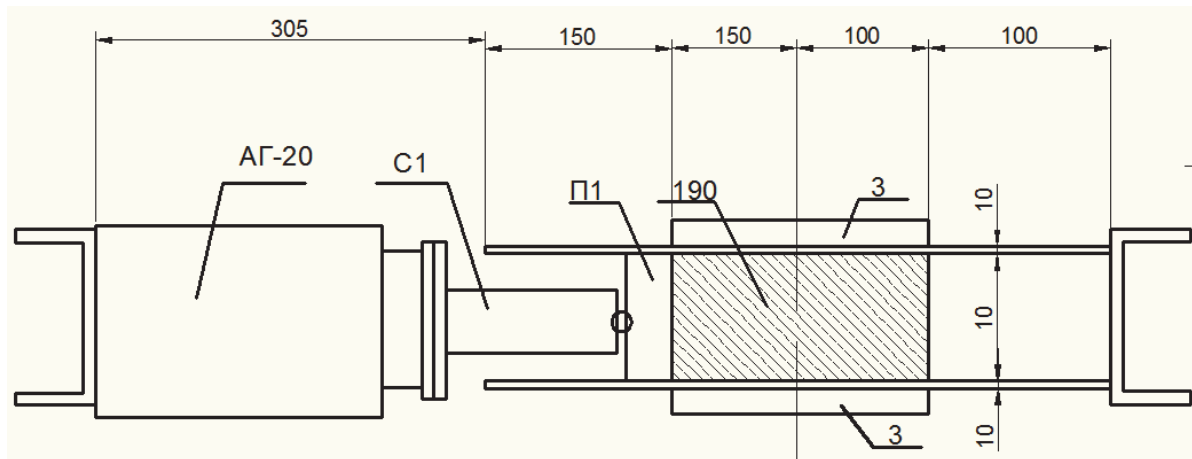
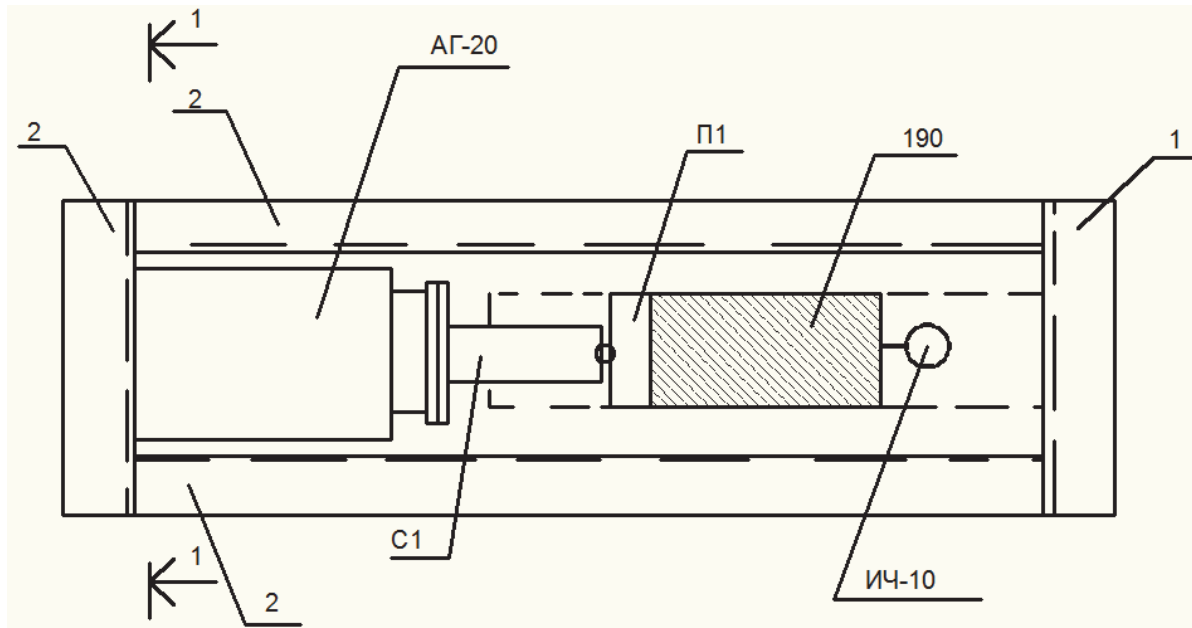
Таблица. Величины прикладываемых ступенями нагрузок для одного образца призмы

№ ступени нагрузки	N1, кН	N2, кН
1	100	20
2	200	40
3	300	60
4	400	80
5	500	100
6	600	120
7	700	140
8	800	160
9	900	180
10	1 000	200

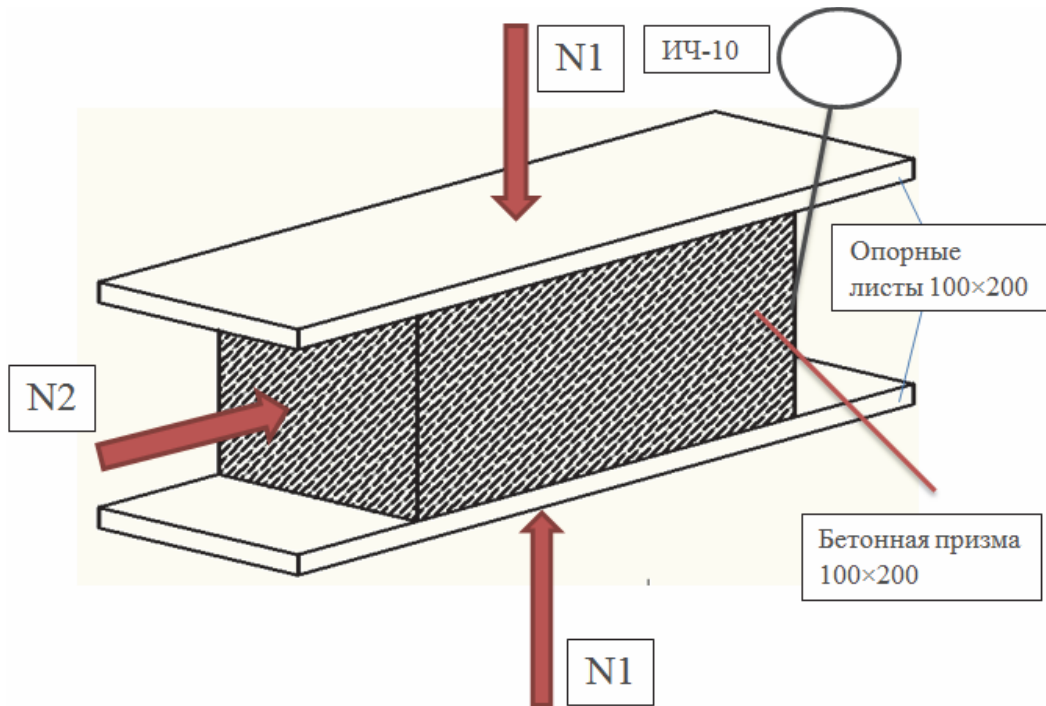
Данная испытательная установка была помещена под 120-тонный гидравлический пресс ПММ-120 в горизонтальном положении.

Нагрузка на испытываемую бетонную призму сечением 100×100 мм прикладывается гидравлическим домкратом ДГ-20, который подключён к маслостанции (рис. 4).

Далее нагрузка передается через металлическую накладку  $\varnothing 200$  мм и толщиной 10 мм. Для центрирования передачи нагрузки в накладке была выточена фаска под цилиндр с размерами 135×50 мм (рис. 5).



**Рисунок 2.** Общая схема экспериментальной установки с применяемыми геометрическими параметрами: 1 – швеллер № 14; 2 – уголок 50×5; 3 – стальная пластина 200×100×10; С1 – стальной цилиндр; П1 – стальная пластина 100×100; ДГ-20 – домкрат гидравлический 20 т; ИЧ-10 – индикатор часового типа.



**Рисунок 3.** Бетонная призма с силами давления, создаваемые ГД и прессом с опорными листами, где происходит трение-проскальзывание: N1 – нагрузка, создаваемая прессом; N2 – нагрузка, создаваемая гидравлическим домкратом; ИЧ-10 – индикатор часового типа для определения сдвига бетонной призмы при нагрузке.



**Рисунок 4.** Домкрат гидравлический ДГ-20.

а)



б)



**Рисунок 5.** Цилиндр с размерами 135×50 мм: а) вид сбоку; б) вид сверху.

В цилиндр укладывается металлический шарик который передаёт нагрузку на металлический квадратный образец с размерами 100×100 мм, на который устанавливается испытуемый образец (бетонная призма).

Призма обжимается с двух сторон металлическими пластинами через давление пресса (рис. 2).

Горизонтальные деформации бетонной призмы вдоль ее длины фиксируются индикатором часового типа ИЧ-10 с записью в журнал испытаний.

### Заключение

1. По данным экспериментальных исследований с применением вышеописанной установки будут получены:
  - зависимость сдвиговых деформаций (горизонтальных деформаций) по контакту поверхностей бетон-сталь от соотношения нормальных напряжений на площадках приложения нагрузки;
  - момент появления значительных сдвиговых деформаций (проскальзывания) в зависимости от уровня давления на торец призмы от домкрата.
2. Данные, полученные в результате экспериментальных исследований, позволят уточнить граничные условия в численных моделях рамных ТБ узлов в ПК Лира-САПР 2013.

### Литература

1. Миронов, А. Н. Напряжённо-деформированное состояние в трубобетонном элементе рамного узла с применением ригелей двугаврового сечения / А. Н. Миронов, В. М. Анищенко, А. Н. Волчков. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2019. – Том 25, № 3. –

### 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/](http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2019-3/)

- C. 127–135. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2019-3/04\\_mironov\\_anischenkov\\_volchkov.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2019-3/04_mironov_anischenkov_volchkov.pdf) (дата публикации: 14.10.2019)
- Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – Москва : Строиздат, 1974. – 144 с. – Текст : непосредственный.
  - ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : видання офіційне : затверджено та надано чинності Наказом Міністерства регіонального розвитку України від 24 грудня 2009 р. № 680 : замість СНіП 2.03.01-84\* : надано чинності 2011-06-01 / розроблено Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). – Київ : Міністерство регіонального розвитку України, 2011. – 75 с. – Текст : непосредственный.
  - Клименко, Ф. Є. Металеві конструкції : підручник / Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш, Л. І. Стороженко. – 2-ге видання, виправлене і доповнене. – Львів : Світ, 2002. – 312 с. – Текст : непосредственный.
  - EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. 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. – Текст : непосредственный.
  - EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules : Supersedes ENV 1992-1-1:1991 : This European Standard was approved by CEN on 16 April 2004. – Brussels : CEN, 2004. – 227 p. – Текст : непосредственный.
  - Бондаренко, В. М. Устойчивость гибких железобетонных стержней под действием нескольких сжимающих сил / В. М. Бондаренко, Э. Д. Чихладзе. – Текст : непосредственный // Прочность и деформативность железобетонных конструкций. – 1969. – Выпуск 5. – С. 22–26.
  - Лившиц, Я. Д. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности, деформативности и трещиностойкости центрально и внецентренно сжатых элементов брускового сечения с учетом влияния «обоймы» : отчет по НИР / Я. Д. Лившиц, В. Г. Жемчужников, В. Я. Бачинский. – Киев : КАДИ, 1969. – 112 с. – Текст : непосредственный.
  - Сурдин, В. М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сурдин Владимир Михайлович ; Одесский инженерно-строительный институт. – Одесса, 1970. – 21 с. – Текст : непосредственный.
  - Лукша, Л. К. Прочность трубобетона / Л. К. Лукша. – Минск : Высшая школа, 1977. – 96 с. – Текст : непосредственный.
  - Труль, В. А. Устойчивость центрально сжатых труб, заполненных бетоном / В. А. Труль, Р. С. Санжаровский. – Текст : непосредственный // 04\_mironov\_anischenkov\_volchkov.pdf (publication date: 14.10.2019). (in Russian)
  - Kikin, A. I.; Sanzharovsky, R. S.; Trull, V. A. Concrete-filled steel pipe structures. – Moscow : Stroizdat, 1974. – 144 p. – Text : direct. (in Russian)
  - DBN V.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. – Kiev : Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2011. – 75 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
  - Klimenko, F. Ye.; Barabash, V. M.; Storozhenko, L. I. Metal constructions : textbook. – 2nd edition, revised and enlarged. – Lviv : Svit, 2002. – 312 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
  - EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels : CEN, 2004. – 121 p. – Text : direct. (in English)
  - EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules. – Brussels : CEN, 2004. – 227 p. – Text : direct. (in English)
  - Bondarenko, V. M.; Chikhladze, E. D. Stability of flexible reinforced concrete bars under the action of several compressive forces. – Text : direct. – In: *Strength and deformability of reinforced concrete structures*. – 1969. – Issue 5. – P. 22–26. (in Russian)
  - 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 of a bar section, taking into account the influence of the «cage» : research report. – Kiev : KARI, 1969. – 112 p. – Text : direct. (in Russian)
  - Surdin, V. M. Investigation of the stress-strain state of concrete tubular elements under axial loading, taking into account rheological processes : abstract Thesis of Ph. D. in Engineering ; Odessa Civil Engineering Institute. – Odessa, 1970. – 21 p. – Text : direct. (in Russian)
  - Luksha, L. K. Strength of pipe concrete. – Minsk : High school, 1977. – 96 p. – Text : direct. (in Russian)
  - Trull, V. A.; Sanzharovsky, R. S. Stability of centrally compressed pipes filled with concrete. – Text : direct. – In: *Reports of XXV conference LCEI*. – Leningrad, 1968. – P. 28–40. (in Russian)
  - Storozhenko, L. I.; Surdin, V. M. Stress-strain state of centrally compressed pipe-concrete elements under the action of the operating load. – Text : direct. – In: *Building construction*. – 1971. – Issue XVIII. – P. 64–71. (in Russian)
  - Polkova, O. M. Pipe concrete columns of high-rise buildings made of high-strength concrete in the USA. – Text : direct. – In: *Concrete and reinforced concrete*. – 1992. – № 1. – P. 29–30. (in Russian)
  - Boyd, P. F.; Cofer, W. F.; McLean, D. I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading. – Text : direct. – In: *Journal of ACI*. – 1995. – Volume 92, № 3. – P. 353–364. (in English)

- Доклады XXV конференции ЛИСИ. – Ленинград, 1968. – С. 28–40.
12. Стороженко, Л. И. Напряженно-деформированное состояние центрально сжатых трубобетонных элементов под действием эксплуатационной нагрузки / Л. И. Стороженко, В. М. Сурдин. – Текст : непосредственный // Строительные конструкции. – 1971. – Выпуск XVIII. – С. 64–71.
  13. Полкова, О. М. Трубобетонные колонны высотных зданий из высокопрочного бетона в США / О. М. Полкова. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1992. – № 1. – С. 29–30.
  14. Boyd, P. F. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading / P. F. Boyd, W. F. Cofer, D. I. McLean. – Текст : непосредственный // Journal of ACI. – 1995. – Volume 92, № 3. – P. 353–364.
  15. Hibbitt, Karlsson, Sorensen. ABAQUS User's Manual / Hibbitt, Karlsson, Sorensen. – USA, Rhode Island : Inc. Pawtucket, 1994. – 18 p. – Текст : непосредственный.
  16. Adrian, C. A. Creep and Shrinkage Analysis of Composite Systems under Axial Load and Biaxial Bending / C. A. Adrian, T. C. Triantafillou. – Текст : непосредственный // Materials and Structures. – 1992. – Volume 25, № 9. – P. 543–551.
  17. Ansurian, P. Connections to Concrete-Filled Tube Columns / P. Ansurian. – Текст : непосредственный // International Association of Bridge and Structural Engineers. – 1976. – Volume 36-1. – P. 1–22.
  15. Hibbitt; Karlsson; Sorensen. ABAQUS User's Manual. – USA, Rhode Island : Inc. Pawtucket, 1994. – 18 p. – Text : direct. (in English)
  16. Adrian, C. A.; Triantafillou, T. C. Creep and Shrinkage Analysis of Composite Systems under Axial Load and Biaxial Bending. – Text : direct. – In: *Materials and Structures*. – 1992. – Volume 25, № 9. – P. 543–551. (in English)
  17. Ansurian, P. Connections to Concrete-Filled Tube Columns. – Text : direct. – In: *International Association of Bridge and Structural Engineers*. – 1976. – Volume 36-1. – P. 1–22. (in English)

**Васылев Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи, строительных конструкций и сооружений, технология изготовления строительных конструкций.

**Анищенко Владимир Михайлович** – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: прочность и деформативность рамных узлов со стойками из трубобетона и ригелями двутаврового сечения.

**Бойко Михаил Михайлович** – лаборант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: испытание строительных конструкций на статические и динамические нагрузки.

**Василев Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, професор кафедри металевих конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження роботи опор ліній електропередавання, будівельних конструкцій і споруд, технологія виготовлення будівельних конструкцій.

**Анищенко Володимир Михайлович** – асистент кафедри металевих конструкцій і споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: міцність і деформативність рамних вузлів зі стійками з трубобетону і ригелями двотаврового перетину.

**Бойко Михайло Михайлович** – лаборант кафедри металевих конструкцій і споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: випробування будівельних конструкцій на статичні та динамічні навантаження.



**Vasylev Vladimir** – Ph. D. (Eng.), Professor, Metal Structures and Constructions Department Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: experimental and theoretical study of the operation of power line supports, building structures and construction; technology of building structures.

**Anishchenkov Vladimir** – Assistant, Metal Structures and Constructions Department Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: strength and deformability of frame assemblies with pipe-concrete columns and I-beam cross-section beams.

**Boyko Mikhail** – Laboratory Assistant, Metal Structures and Constructions Department Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: testing of building structures for static and dynamic loads.