



org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1999)125:1(1)].

14. Sfer D., Carol I., Gettu R., Etse G. Study of the behavior of concrete under triaxial compression. *J. Eng. Mech.* – 2002. – Vol. 128, № 2. – P. 156–163.

15. Warren T. L., Fossum A. F., Frew D. J. Penetration into low-strength (23 MPa) concrete: target characterization and simulations. *International Journal of Impact Engineering*, 2004, № 30. P. 477–503.

16. Gabet T., Vu X. H., Malecot Y., Daudeville L. A new experimental technique for the analysis of concrete under high triaxial loading. *J. Phys. IV France.* – 2006. – № 134. – P. 635–640.

17. Lu X., Hsu C.-T. T. Behavior of high strength concrete with and without steel fiber reinforcement in triaxial compression. *Cement and Concrete Research.* – 2006. – № 36. – P. 1679–1685.

18. Vu X. H., Malecot Y., Daudeville L., Buzaud E. Experimental analysis of concrete behavior under high confinement: Effect of the saturation ratio. *International Journal of Solids and Structures.* – 2009. – № 46. – P. 1105–1120.

19. Malecot Y., Vu X. H., Daudeville L. Unconfined compressive strength is a poor indicator of the high-pressure mechanical response of concrete. *DYMAT. 2009 (2009).* P. 1325–1331.

20. He Z., Song Y. Triaxial strength and failure criterion of plain high-strength and high-performance concrete before and after high temperatures. *Cement and Concrete Research.* – 2010. – № 40. – P. 171–178.

21. Sovjak R., Vogel F., Beckmann B. Triaxial compressive strength of ultra high performance concrete. *Acta Polytechnica.* – 2013. – № 53 (6). – P. 901–905.

22. Javanmardi P. Experimental Study of Triaxial Behavior of Concrete under Lateral Confining Stress. *The Open Civil Engineering Journal.* – 2017. – № 11. – P. 281–291. – DOI: 10.2174/1874149501711010281.

23. Vy X. N., Daudeville L., Malecot Y. Effect of coarse aggregate size and cement paste volume on concrete behavior under high triaxial compression loading. *Construction and Building materials.* – 2011. – № 25. – P. 3941–3949.

24. Xie J., Elwi A. E., MacGregor J. G. Mechanical properties of three high-strength concretes containing silica fume. *Mater. J.* – 1995. – Vol. 92, № 2. – P. 135–145.

25. Lee S., Song Y., Han S. Biaxial behavior of plain concrete of nuclear containment building. *Nuclear Engineering and Design.* – 2004. – № 227. – C. 143–153.

26. Ren X., Yang W., Zhou Y. Behavior of High-Performance Concrete under Uniaxial and Biaxial Loading. *ACI Materials Journal.* – 2008. – Title № 105-M62. – P. 548–557.

27. Hussein A., Marzouk H. Behavior of High-Strength Concrete under Biaxial Stresses. *ACI Materials Journal.* – V. 97, № 1. – P. 27–36.

© Н. И. Карпенко, В. И. Корсун, С. Н. Карпенко, А. М. Анущенко, 2022

Получено: 10.09.2022 г.

УДК 624.046

**П. А. ХАЗОВ<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **В. И. ЕРОФЕЕВ<sup>2</sup>**, д-р физ.-мат. наук, профессор, директор; **Д. М. ЛОБОВ<sup>1</sup>**, ст. преподаватель кафедры строительных конструкций; **А. П. ПОМАЗОВ**, ассистент кафедры строительных конструкций<sup>1</sup>, инженер<sup>3</sup>; **А. К. СИТНИКОВА<sup>1</sup>**, студент

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ДЛИН  
И КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА КОМПОЗИТНЫХ  
ТРУБОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ**



<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-96, (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

<sup>2</sup>Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85.

Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: eprof.vi@yandex.ru

<sup>3</sup>АО «НИЖЕГОРОДТИСИЗ»

Россия, 603096, г. Н. Новгород, ул. Яблонева, 26. Тел.: (915) 947 36 25;

эл. почта: romazov.a.p@yandex.ru

*Ключевые слова:* трубобетон, продольный изгиб, расчетная длина, напряженно-деформированное состояние, малогабаритные сечения, эффективность трубобетона, устойчивость.

---

*Приведены результаты испытаний трубобетонных образцов различных длин и условий опирания на центральное сжатие. В результате потери устойчивости определены критические силы. Приведены результаты второстепенных испытаний стальной трубы, бетона и арматуры, входящих в состав композитного трубобетонного сечения. Выполнена оценка расчетной длины при условиях опирания «заделка – шарнир» для частично податливой заделки. Соотношения критических сил позволили оценить значения коэффициентов продольного изгиба, что может быть использовано при создании единой методики расчета центрально сжатых трубобетонных конструкций.*

---

## **Введение**

В настоящее время активно ведутся экспериментальные и численные исследования, касающиеся напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций различных сечений [1–10]. Трубобетонный стержень представляет собой круглую или прямоугольную трубу, в которую размещается и уплотняется бетонная смесь, образующая впоследствии единую систему, объединяющую преимущества «классических» стальных и железобетонных элементов, при этом нивелируя их недостатки [10].

Несмотря на существующие нормативные методики [11], не всегда удается грамотно спрогнозировать поведение трубобетонных конструкций в критическом состоянии, возникающем в момент потери устойчивости. Современные конечно-элементные комплексы позволяют смоделировать процесс потери устойчивости [4, 8, 10], однако, проведение численных расчетов должно опираться на экспериментальную базу.

## **Материалы и методы**

Для изучения устойчивости трубобетонных элементов были изготовлены круглые трубобетонные армированные образцы диаметром 76 мм с длинами 100 и 700 мм (рис. 1). Для определения коэффициентов продольного изгиба образцы доводились до разрушения с помощью прессы П-125 с максимальной сжимающей нагрузкой 1200 кН. Для определения расчетных характеристик трубы, бетона и арматуры были испытаны соответствующие образцы.

Механические характеристики бетона определены с помощью прессы ИП-100. На образец длиной 300 мм были установлены 2 тензорезистора, соединенных через мост Уитстона с восьмиканальной тензометрической станцией ЗЕТ 017-Т8, позволяющей определить относительную деформацию (рис. 3).

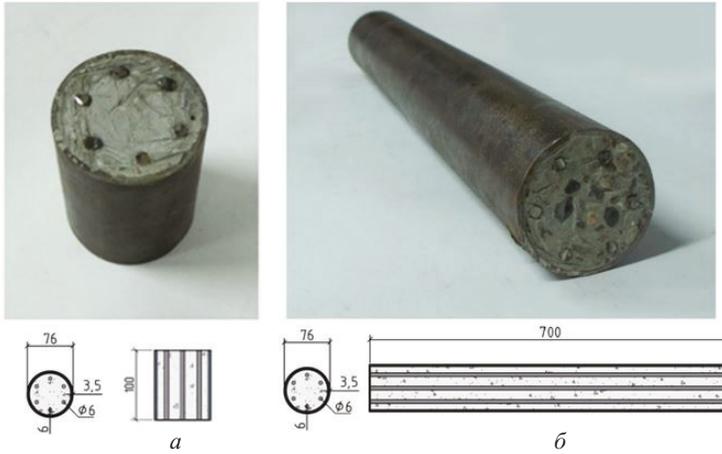


Рис. 1. Изготовленные труботонные образцы длиной 100 мм (а) и 700 мм (б)

Марка стали трубы определена с помощью разрушения образца (рис. 2) с помощью прессы [10]. Класс арматуры (А400) определен с помощью разрывной машины Р-5 [10].

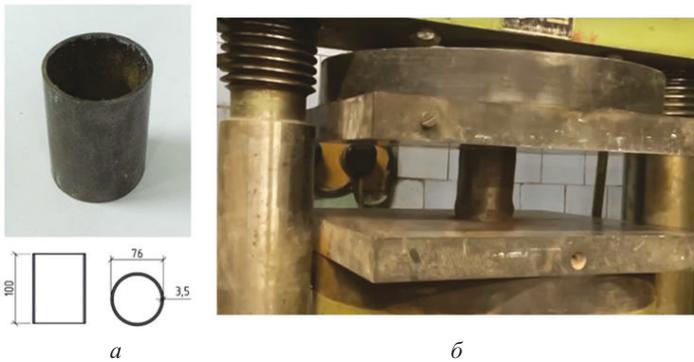


Рис. 2. Образец трубы: а – до испытания; б – в процессе испытания



Рис. 3. Установка для тензометрических испытаний бетона: а – бетонный образец до испытаний; б – разрушенный бетонный образец после испытаний

На рис. 4 представлены экспериментальные установки для испытаний изготовленных трубобетонных образцов (рис. 1). Всего было проведено 3 эксперимента: испытание короткого образца длиной 100 мм для определения несущей способности без потери устойчивости (рис. 4а), испытания длинного образца длиной 700 мм при условиях закрепления «шарнир-шарнир» (рис. 4б) и «заделка – шарнир» (рис. 4в). Следует отметить, что в эксперименте с закреплением «заделка – шарнир» заделка является частично податливой, в результате чего реальная расчетная длина определялась непосредственно после проведения испытаний с помощью измерения расстояния между точками перегиба.



а



б



в

Рис. 4. Экспериментальные установки для испытаний изготовленных трубобетонных образцов: а – образец длиной 100 мм; б – образец длиной 700 мм, закрепление «шарнир – шарнир», верхняя нагружающая пластина закреплена от поворота; в – образец длиной 700 мм, закрепление «заделка – шарнир», верхняя нагружающая пластина переведена в состояние «шарнир»

### Результаты исследования

На рис. 5 приведена диаграмма деформирования образца. По диаграмме видно, что разрушение произошло при нормальных напряжениях 11 МПа, относительной деформации 2,24 %, что соответствует классу В12,5. По ссылке [12] приведена видеозапись исследования. В статье [10] отражены результаты испытания

короткого образца (100 мм), изготовленного из той же партии бетонной смеси. Расчетное сопротивление образца составило 15 МПа. Таким образом, коэффициент перехода от «кубиковой» к «призмной» прочности составил 0,73.

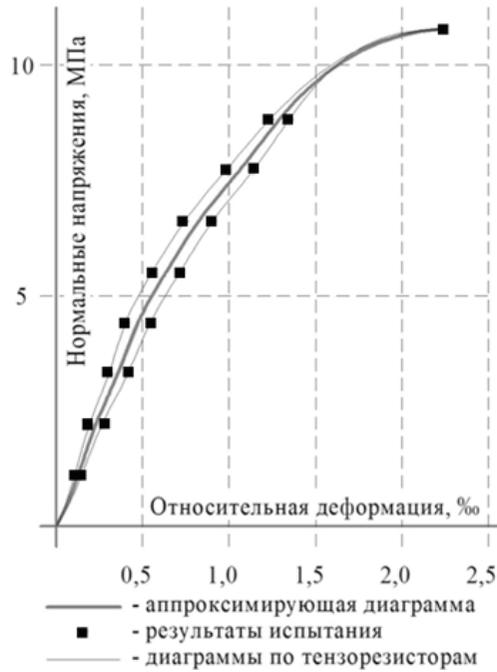


Рис. 5. Диаграмма деформирования бетонного образца

Разрушение образца трубы произошло в результате раскрытия шва трубы (рис. 6), максимальная нагрузка составила 313 кН. При этом нормальные напряжения составили 390 МПа, что соответствует марке 09Г2С с условным пределом текучести 350 МПа [10]. Результаты испытаний арматуры подтвердили класс А400, предел текучести соответствовал нагрузке 14,5 кН (513 МПа), а предел прочности – 17,2 кН (608 МПа) [10].



Рис. 6. Образец трубы после испытания

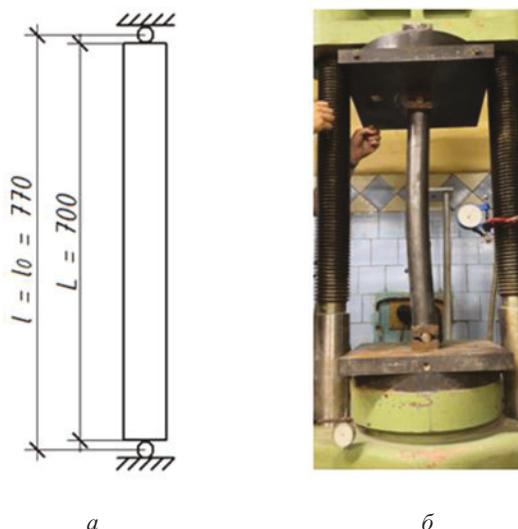


Рис. 7. Расчетная схема трубобетонного образца длиной 700 мм при закреплении «шарнир – шарнир» (а) и деформированный образец в экспериментальной установке (б) после потери устойчивости (горизонтальный масштаб искажен)

При испытании трубобетонного образца длиной 700 мм с шарнирным закреплении потеря устойчивости произошла при осевой сжимающей нагрузке 370 кН. По сравнению с разрушающей нагрузкой для короткого образца того же сечения, критическая сила составила 59,7 %, что соответствует коэффициенту продольного изгиба  $\varphi = 0,597$ .

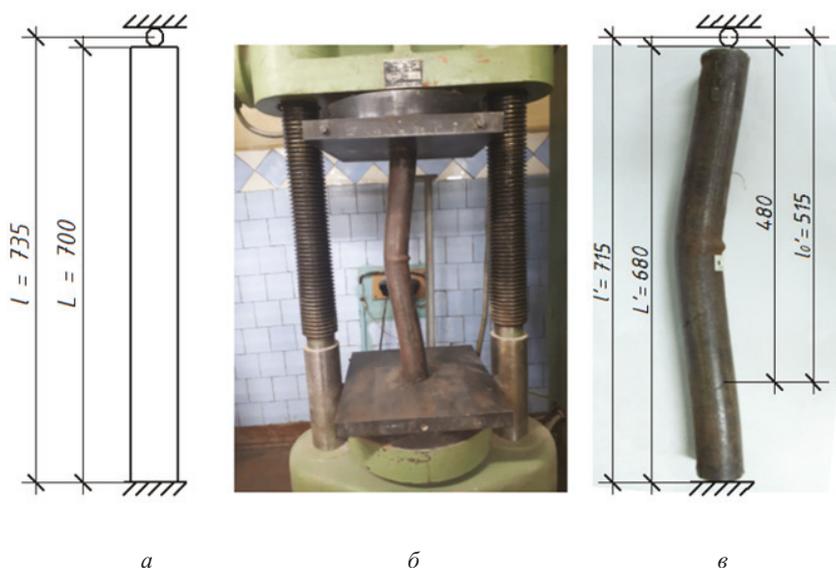


Рис. 8. Расчетная схема трубобетонного образца длиной 700 мм при закреплении «заделка – шарнир» (а); деформированный образец в экспериментальной установке (б) после потери устойчивости; геометрическая схема образца с расчетными длинами (в)

Трубобетонный образец длиной 700 мм при жестком закреплении «заделка – шарнир» потерял устойчивость при критической силе 460 кН. В этом случае коэффициент продольного изгиба составил  $\varphi = 0,742$ . Для определения расчетной длины были измерены расстояния между торцами и точками перегиба деформированного образца. Коэффициент расчетной длины составил  $\mu = 0,720$ . Отличие полученного в ходе эксперимента значения коэффициента расчетной длины от теоретического ( $\mu = 0,7$ ) объясняется частично податливой природой заделки, о чем говорилось выше.

Результаты вычислений коэффициентов продольного изгиба и расчетных длин сведены в таблицу.

**Определение коэффициентов продольного изгиба  
и расчетных длин композитных трубобетонных образцов**

Номер	Образец	Критическая сила, $R_{кр}$ , кН	Коэффициент продольного изгиба, $\varphi$	Расчетная длина, $l_0$ , мм	Коэффициент расчетной длины, $\mu$
1	Трубобетонный образец высотой 100 мм с закреплением «шарнир – шарнир»	620	$\varphi = 620/620 = 1$ (нет потери устойчивости)	—	—
2	Трубобетонный образец высотой 700 мм с закреплением «шарнир – шарнир»	370	$\varphi = 370/620 = 0,597$	$l_0 = 770$	$\mu = 770/770 = 1$
3	Трубобетонный образец высотой 700 мм с закреплением «заделка – шарнир»	460	$\varphi = 460/620 = 0,742$	$l_0 = 735 \cdot 0,720 = 529,4$	$\mu = 515/715 = 0,720$

Для дальнейших исследований выполнено сравнение полученных коэффициентов продольного изгиба с теоретическими характеристиками для полой стальной трубы, определенными по нормативным документам [13]:

Закрепление «шарнир – шарнир»:

$$\varphi_1 = f\left(\bar{\lambda} = \frac{l_0}{i_{\min}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{1 \cdot 770}{2,57} \sqrt{\frac{350}{206\,000}} = 1,237\right) = 0,951.$$

Закрепление «жесткая заделка – шарнир»:

$$\varphi_2 = f\left(\bar{\lambda} = \frac{l_0}{i_{\min}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{0,7 \cdot 73,5}{2,57} \sqrt{\frac{350}{206\,000}} = 0,826\right) = 0,979.$$

Из расчетов видно, что коэффициент продольного изгиба для трубобетона меньше, чем для стальной трубы: на 37,2 % – при шарнирном закреплении и на 24,2 % – при жестком закреплении на одном конце и шарнирном закреплении на другом.

Разница между полученным в результате эксперимента значением коэффици-



ента продольного изгиба трубобетонного образца (таблица) и теоретическим значением, определенным для полой стальной трубы, может быть обусловлена тем, что несущая способность короткого (100 мм) трубобетонного образца значительно превышает критическую нагрузку. Так, заполнение стальной трубы армированным бетоном позволило увеличить несущую способность сечения в 2,23 раза, а критическую силу, при которой происходит потеря устойчивости – лишь в 1,40 раза для шарнирно закрепленного стержня и в 1,69 раза – для стержня с закреплением «заделка – шарнир».

Стальная труба теряет устойчивость за счет местной потери устойчивости стенки. В случае трубобетонной конструкции бетон при работе в трубе находится в сложном трехосном напряженно-деформированном состоянии, и потеря устойчивости происходит за счет изгиба стержня (потеря устойчивости «по-Эйлеру»).

#### **Выводы:**

На основании проведенных исследований по вопросам изучения устойчивости трубобетонных образцов можно сделать следующие выводы:

1. Расчетные длины для трубобетонных образцов при различных закреплениях соответствуют ожидаемым, определенным с помощью коэффициента расчетной длины (для шарнирно закрепленного с обоих концов  $\mu = 1$ , для закрепления «заделка – шарнир» –  $\mu \approx 0,7$ ).

2. Коэффициенты продольного изгиба при совместной работе железобетона и стальной трубы имеют значения меньшие, чем у полой трубы, что происходит за счет высокой прочности короткого трубобетонного образца, что не наблюдается для короткой полой трубы;

3. Значительное увеличение (на 40–70 %) несущей способности конструкций при заполнении трубы бетоном может оказаться экономически выгодным ввиду низкой стоимости бетона (в сравнении со сталью) при дальнейшей минимизации трудозатрат при изготовлении конструкций.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН на фундаментальные научные исследования на 2021-2023 годы по теме № 0030-2021-0025 и при поддержке РФФИ (грант № 20-07-00914).*

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кришан, А. Л. Новое конструктивное решение трубобетонных колонн / А. Л. Кришан. – Текст : непосредственный // III тысячелетие – новый мир : труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. – 2006. – Том 2. – С. 81–84.
2. Овчинников, И. И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : непосредственный // Наукоедение : интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 28.07.2022). – Текст : электронный.
3. Лапшин, А. А. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей / А. А. Лапшин, П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. ун-т. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 9–16.
4. Канищев, Р. А. Анализ местной устойчивости трубобетонных конструкций прямоугольного сечения. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 4(64). – С. 59–68.



5. Morino, S. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan / S. Morino, K. Tsuba // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – № 1, Vol. 4. – P. 51–73.

6. Cai S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / S.-H. Cai. – China : Communication Press, 2003. – 358 p.

7. Mesnager, A. Le pont des Ibis, an vesinet (seine-et-oise) / A. Mesnager, F. Barthes, I. Vevrier // Le Genie Civil. – 1931. – № 2527/3.

8. Белый, Г. И. Исследование прочности и устойчивости трубобетонных элементов конструкций обратным численно-аналитическим методом / Г. И. Белый, А. А. Ведерникова. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2 (85). – С. 26–35.

9. Тамразян, А. Г. Испытание трубобетонных образцов малого диаметра с высоким коэффициентом армирования / А. Г. Тамразян, И. К. Манаенков. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 57–62.

10. Хазов, П. А. Экспериментальное исследование прочности композитных трубобетонных образцов малогабаритных сечений / П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. К. Ситникова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3. – С. 36–43.

11. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования : свод правил : утвержден Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1030/пр : дата введения 01 июля 2017 г. : редакция от 15.12.2020. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

12. Испытали бетон В12,5. – URL: [https://www.youtube.com/watch?v=bgmA\\_B\\_WWto](https://www.youtube.com/watch?v=bgmA_B_WWto) (дата обращения 20.07.2022). – Изображение : видео.

13. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : свод правил : утвержден Приказом Минстроя России от 27.02.2017 N 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. – дата введения 28 августа 2017 г. : редакция от 31.05.2022. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

**KHAZOV<sup>1</sup> Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory of continuous monitoring of the technical condition of buildings and structures; EROFEEV<sup>2</sup> Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; LOBOV<sup>1</sup> Dmitry Mikhaylovich, senior teacher of the chair of building structures; POMAZOV Artyom Pavlovich, assistant of the chair of building structures<sup>1</sup>, engineer<sup>3</sup>; SITNIKOVA<sup>1</sup> Anna Konstantinovna, student**

## **EXPERIMENTAL STUDY OF REDUCED LENGTHS AND LONGITUDINAL BENDING COEFFICIENTS OF COMPOSITE CONCRETE-FILLED STEEL TUBE SAMPLES**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; e-mail: [khazov.nngasu@mail.ru](mailto:khazov.nngasu@mail.ru)

<sup>2</sup>Institute of Problems of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences

85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;

e-mail: [erof.vi@yandex.ru](mailto:erof.vi@yandex.ru)

<sup>3</sup>JSC “NIZHEGORODTISIZ”

26, Yablonevaya St., Nizhny Novgorod, 603096, Russia. Tel.: +7 (915) 947 36 25;

e-mail: [pomazov.a.p@yandex.ru](mailto:pomazov.a.p@yandex.ru)

*Key words:* concrete-filled steel tube, longitudinal bending, reduced length, stress-strain state, small-sized sections, efficiency of concrete-filled steel tube, stability.



*The article presents the results of testing a sample of concrete-filled steel tube of different lengths and support conditions for central compression. As a result of the loss of stability, critical forces are determined. The results of secondary tests of a steel tube, concrete and reinforcement, which are part of a composite tube-concrete section, are presented. The estimated reduced length under the conditions of support "rigid support (seal)-hinge" for partially malleable embedding is assessed. The ratios of critical forces made it possible to estimate the values of the coefficient of longitudinal bending, which can be used to create a unified method for calculating centrally compressed structures of concrete-filled steel tube .*

## REFERENCES

1. Krishan A. L. Novoe konstruktivnoe reshenie trubobetonnykh kolonn [New constructive solution for steel tube confined concrete columns] // III tysyacheletie – novy mir: Trudy mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya [The III millennium – a new world: Proceedings of the international forum on problems of science, technology and education]. – 2006. – Vol. 2. – P. 81–84.
2. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoj obolochkoy [On the problem of calculating steel tube confined concrete structures with a shell of different materials. Part 1. Experience with steel tube confined concrete] // Naukovedenie : internet-zhurnal [SCIENCE: Internet journal] – 2015 – Vol. 7, № 4 – <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (data obrascheniya: 28.07.2022).
3. Lapshin A. A., Khazov P. A., Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Otsenka prochnosti i ustoychivosti kompozitnykh stalezhelezobetonnykh elementov s sovmestnym primeneniem sterzhnevyykh i tverdotelnykh raschyotnykh modeley [Assessment of the Strength and Stability of Composite Steel-Reinforced Concrete Elements with Joint Use of Rod and Solid-State Calculation Models] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 9–16.
4. Kanishev R. A. Analiz mestnoy ustoychivosti trubobetonnykh konstruksiy pryamougolnogo secheniya [Analysis of local stability of pipe-concrete structures of rectangular section] // Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2016. № 4(64). P. 59–68.
5. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – № 1. Vol. 4. – P. 51–73.
6. Cai S.-H. (2003). Modern Street Tube Confined Concrete Structures. // China : Communication Press, 2003. – 358 p.
7. Mesnager A., Barthes F., Vevrier I. Le pont des Ibis, an vesinet (seine-et-oise). // Le Genie Civil – 1931 – № 2527/3.
8. Bely G. I., Vedernikova A. A. Issledovanie prochnosti i ustoychivosti trubobetonnykh elementov konstruksiy obratnym chislenno-analiticheskim metodom [Investigation of the strength and stability of pipe-concrete structural elements by the inverse numerical-analytical method] / Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2021. – № 2(85). – P. 26–35.
9. Tamrazyan A. G., Manaenkov I. K. Ispytanie trubobetonnykh obratstov malogo diametra s vysokim koeffitsientom armirovaniya [Testing small diameter pipe concrete samples with a high coefficient of reinforcement] // Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]. 2017; №4 (72). – P. 57–62.
10. Khazov P. A., Erofeev V. I., Lobov D. M., Sitnikova A. K. Eksperimentalnoe issledovanie prochnosti kompozitnykh trubobetonnykh obratstov malogabaritnykh secheniy [The experimental research of the strength of composite steel tube confined concrete samples of small-sized sections] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 3. – P. 36–43.
11. SP 266.1325800.2016. Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proekti-rovaniya



[Steel-reinforced concrete structures. Design rules]: svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministroya Rossii ot 30.12.2016 № 1030/pr : data vved. 01 iyulya 2017 g. : redaktsiya ot 15.12.2020. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

12. Ispytali beton B12,5. [Tested concrete B12.5]. – URL: [https://www.youtube.com/watch?v=bmgA\\_B\\_WWto](https://www.youtube.com/watch?v=bmgA_B_WWto) (data obrascheniya 20.07.2022) – Videozapis.

13. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruksii [Steel structures]: svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministroya Rossii ot 27.02.2017 N 126/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-23-81\*, data vved. 28.08.2017 : redaktsiya ot 31.05.2022. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

© П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. П. Помазов, А. К. Ситникова, 2022  
Получено: 10.09.2022 г.

УДК 534.21:628.517.2

**Т. С. ЯРОВАЯ**, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства<sup>1</sup>;  
**А. И. АНТОНОВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры и градостроительства<sup>1</sup>, вед. науч. сотр.<sup>2</sup>; **В. И. ЛЕДЕНЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог<sup>1</sup>, вед. науч. сотр.<sup>2</sup>;  
**И. В. МАТВЕЕВА**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

### ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: [gsiad\\_tambov@mail.ru](mailto:gsiad_tambov@mail.ru).

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-16

*Ключевые слова:* помещения с массовым пребыванием людей; методы расчета прямого звука; расчеты отраженного шума; шумовой режим помещений; речь как источник шума.

---

*Рассматриваются численные методы расчета энергетических характеристик шума, создаваемого разговаривающими людьми в помещениях с их массовым пребыванием. На основе численных методов предложена методика, позволяющая производить оценку шумового режима и акустического комфорта в помещениях с массовым пребыванием людей. Для реализации методики разработана компьютерная программа и приведен пример ее практического использования. Численные методы и методика ее реализации дают возможность производить объективную оценку шумового режима и на этой основе разрабатывать акустически эффективные мероприятия по созданию акустического комфорта в помещениях с массовым скоплением людей.*

---

Человек, находясь в местах с массовым скоплением людей (вокзальные и школьные помещения, операционные залы и т. п.), подвергается воздействию звуковой энергии, излучаемой людьми при их разговорах. Такая шумовая нагрузка на органы слуха человека негативно сказывается на его состоянии, вызывая усталость, раздражительность, рассеяние внимания и т. д. Другим неблагоприятным