



УДК [691.3 +669.14] : 624.046

А. П. ПОМАЗОВ¹, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, ассистент кафедры строительных конструкций;
Е. А. НИКИТИНА², канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр.;
О. И. ВЕДЯЙКИНА¹, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры общей физики и теоретической механики; **К. В. ТОРОПОВА¹**, студент

ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНОГО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРУГЛОЙ ТРУБОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96,
+7 (915) 947-36-25; эл. почта: pomazov.a.p@mail.ru

²Институт 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

Ключевые слова: трубобетон, экспериментальные исследования, продольный изгиб, устойчивость, напряженно-деформированное состояние, малогабаритные сечения, осевое сжатие, случайный эксцентриситет.

Приведены результаты экспериментальных исследований длинных трубобетонных стержней малогабаритного сечения под действием осевой сжимающей нагрузки. В результате потери устойчивости определены критические силы и построены диаграммы продольного и поперечного деформирования для центрально сжатой стойки и для стойки, сжатой со случайным эксцентриситетом. Сделаны выводы о влиянии случайного эксцентриситета на деформативность и устойчивость трубобетонного стержня.

В последние десятилетия большое внимание в строительстве уделяется композитным материалам и сталежелезобетонным конструкциям, в связи с чем стремительно развиваются технологии возведения зданий, сокращаются сроки строительства, снижается общая масса здания, по сравнению с применением классического железобетона. В связи с этим активно проводятся экспериментальные и численные исследования прочности, жесткости и устойчивости как российскими учеными [1–5], так и зарубежными [6, 7]. Несмотря на это, открытым остается вопрос совместной работы трубы-оболочки и бетонного наполнителя [3], отсутствуют методики определения напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций, что затрудняет процесс расчета и не позволяет реализовать весь потенциал представляемого типа конструкций с целью экономичного проектирования зданий без понижения требуемых для их эксплуатации качеств.

Согласно действующим нормативным методикам при расчете прочности сжатых железобетонных и сталежелезобетонных элементов необходимо учитывать случайный эксцентриситет, который возникает в конструкции за счет неучтенных факторов (неоднородность бетонного сечения, неточность центровки элемента, неровность торцевых поверхностей образца).

Значение случайного эксцентриситета принимается по наибольшему из следующих величин: $1/600$ от длины элемента; $1/30$ от высоты сечения или 10 мм. Т. е. $e_a = \max (L/600; D/30; 10 \text{ мм}) = 10 \text{ мм}$.

Аналитические расчеты влияния случайного эксцентриситета трубобетонных стоек на их несущую способность по отечественным и зарубежным методикам приводятся в [4]. В связи с отсутствием методики расчета внецентренно сжатых трубобетонных элементов авторами предлагается считать, что при внецентренном сжатии нормальная сила воспринимается композитным сечением, а изгибающий момент воспринимается только трубой-оболочкой, что идет в запас прочности колонны [4]. Действительно, вклад бетона в несущую способность при наличии момента составляет порядка 10 % [8].

Для исследования вопросов устойчивости трубобетонных стержней была изготовлена серия образцов, представляющих собой стальные трубы диаметром 60 мм с толщиной стенки 2 мм с неармированным бетонным сердечником. Изготовление сердечника осуществлялось из высокоподвижной бетонной смеси с крупным заполнителем из гравия мелкой фракции (до 5 мм). Фактическая прочность полученного бетона определялась путем разрушения контрольных образцов и составила 11 МПа. Марка стали трубы-оболочки была определена разрушением короткого образца трубы соответствующего диаметра – 09Г2С с условным пределом текучести 350 МПа [9].

Осевая сжимающая нагрузка прикладывалась к образцам при помощи загрузающих пластин прессы П-125. Шарнирное опирание колонн осуществлялось посредством их установки на загрузающие пластины через опорные цилиндрические шарниры. Измерение продольных деформаций осуществлялось путем регистрации сближения пластин индикатором часового типа, поперечные деформации фиксировались прогибомерами, установленными в средней части образца в плоскости и из плоскости потери устойчивости. Экспериментальная установка для испытания трубобетонных колонн на устойчивость приведена на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для испытаний трубобетонных колонн длиной 700 мм осевой сжимающей нагрузкой на устойчивость

На рис. 2 приведены диаграммы продольных и поперечных деформаций образцов в плоскости потери устойчивости, из которых видно, что для стойки, сжатой со случайным эксцентриситетом продольной силы, возникшем в результате неточности центровки образца и шарнирных опор, наблюдается рост поперечных деформаций на первых этапах приложения нагрузки. При этом значение критической силы, при которой возникает потеря устойчивости для трубобетонных обоих образцов близко к 130 кН, для стальной трубы критическая сила равна 103 кН.

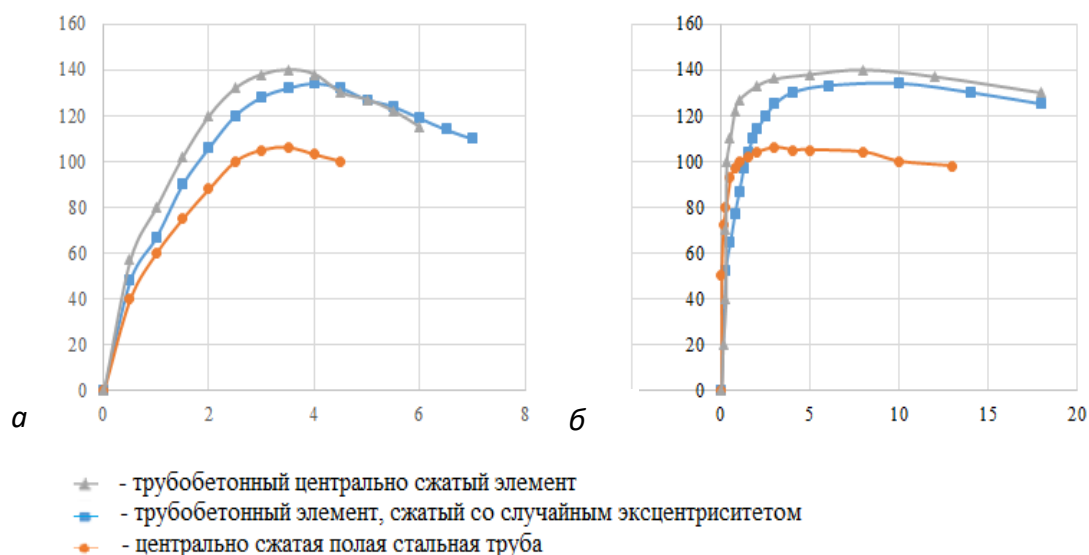


Рис. 2. Диаграммы продольных деформаций (а) и поперечных деформаций в плоскости потери устойчивости образцов (б) для полой стальной трубы, центрально сжатой трубобетонной стойки и трубобетонной стойки, сжатой со случайным эксцентриситетом

Для полой стальной трубы также существует нормативная методика расчета при центральном сжатии. Полученная экспериментально разрушающая нагрузка отличается от теоретической не более 5 %, что на практике учитывается коэффициентами условий работы и надежности по нагрузке [10].

Таким образом, в ходе экспериментального исследования устойчивости трубобетонных стержней были получены диаграммы деформирования для центрально сжатого и сжатого со случайным эксцентриситетом образцов, а также для полой стальной трубы. Общий характер деформирования сжатого трубобетонного образца аналогичен деформированию полой стальной трубы, упругая стадия работы материала переходит в пластическую при одинаковых значениях деформаций. Наличие случайного эксцентриситета влияет на общую деформативность сжатого трубобетонного стержня, но тем не менее итоговая несущая способность меняется несущественно, и конструкция способна выдерживать большую нагрузку.

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. Экспериментальные исследования прочности гибких трубобетонных колонн / А. Л. Кришан, М. М. Суровцев. – Текст : непосредственный // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. Строительные материалы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 90–92.
2. 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.
3. Овчинников, И. И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : электронный // Наукоедение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf> (дата обращения: 21.11.2022).
4. Стороженко, Л. И. Сравнение методик расчета трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, А. В. Семко. – Текст : непосредственный // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – 2005/9/22. – № 63. – С. 59–67.
5. Исследования несущей способности внецентренно сжатых сталетрубобетонных колонн / В. И. Римшин, М. Н. Семенова, И. Л. Шубин [и др.] // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 8–14.
6. Structural Behaviour of Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tube Columns during the Top-Down Construction Method / M. M. Lazovic Radovanovic, J. Z. Nikolic, J. R. Radovanovic, S. M. Kostic. // Applied sciences. – 2022. – № 12. – 18 p.
7. Jing Dong. Research on Dynamic Response of Concrete-Filled Steel Tube Columns Confined with FRP under Blast Loading / Jing Dong, Junhai Zhao, Dongfang Zhang, Yingping Li // Shock and Vibration. – Hindawi, 2019. – 18 p.
8. Хазов, П. А. Деформирование и разрушение трубобетонных образцов при поперечном изгибе / П. А. Хазов, О. И. Ведяйкина, И. С. Хохлова, Д. В. Артемьева – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2. – С. 69–74.
9. Экспериментальное исследование расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба композитных трубобетонных образцов / П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 4. – С. 16–24.
10. Экспериментальная оценка нормативных методик расчета устойчивости центрально-сжатых стержней / П. А. Хазов, Е. А. Чибаква, Г. А. Калинина, А. П. Помазов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1. – С. 34–42.

POMAZOV¹ Artyom Pavlovich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics, assistant of the chair of building structures; NIKITINA² Elena Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher; VEDYAYKINA¹ Olga Ivanovna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of general physics and theoretical mechanics; TOROPOVA¹ Kseniya Vladimirovna, student

THE EFFECT OF ACCIDENTAL ECCENTRICITY ON THE STABILITY OF A CIRCULAR TUBE CONCRETE COLUMN



¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96,
+7 (915) 947-36-25; e-mail: pomazov.a.p@mail.ru

² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of
Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”

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

Key words: concrete-filled steel tube, experimental research, longitudinal bending, stability, stress-strain state, small-sized sections, axial compression, accidental eccentricity.

The article presents the results of experimental studies of long concrete-filled steel tube rods of small-sized cross-section under the action of an axial compressive load. As a result of the loss of stability, critical forces were determined and diagrams of longitudinal and transverse deformation were constructed for a centrally compressed column and for a column compressed with random eccentricity. Conclusions are drawn about the influence of accidental eccentricity on the deformability and stability of a tube-concrete rod.

REFERENCES

1. Krishan A. L., Surovtsev M. M. Eksperimentalnye issledovaniya prochnosti gibkikh trubobetonnykh kolonn [Experimental studies of the strength of flexible concrete-filled steel tubes]. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova. Stroitelnye materialy i tekhnologii [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Construction materials and technologies]. 2013. № 1(41). P. 90–92.

2. Bely G. I., Vedernikova A. A. Issledovanie prochnosti i ustoychivosti trubobetonnykh elementov konstruktsey obratnym chislennno-analiticheskim metodom [Investigation of strength and stability of concrete-filled steel tubes structural elements by the inverse numerical-analytical method]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2021. № 2(85). P. 26–35.

3. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruktsey s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoy 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 [Science]: Internet-zhurnal. – 2015 – Vol. 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (data obrascheniya: 28.07.2022).

4. Storozhenko L. I., Semko A. V. Sravnenie metodik raschyota trubobetonnykh konstruktsey [Comparison of methods of calculation of tube-concrete structures] // Kommunalnoe khozyaystvo gorodov [Municipal services of cities]. Nauchno-tekhnicheskii sbornik. – 2005/9/22. – № 63 – P. 59–67.

5. Rimshin V. I., Semyonova M. N., Shubin I. L. [et al.]. Issledovaniya nesuschey sposobnosti vnetsentrenno szhatykh staletrubobetonnykh kolonn [Studies of the bearing capacity of non-centrally compressed concrete-filled steel tubes]. Stroitelnye materialy [Building Materials]. 2022. № 6. P. 8–14.

6. Lazovic Radovanovic M. M., Nikolic J. Z., Radovanovic J. R., Kostic S. M. Structural Behaviour of Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tube Columns during the Top-Down Construction Method // Applied sciences. – 2022 – № 12. – 18 p.

7. Jing Dong, Junhai Zhao, Dongfang Zhang, Yingping Li. Research on Dynamic Response of Concrete-Filled Steel Tube Columns Confined with FRP under Blast Loading // Shock and Vibration. Hindawi, 2019. – 18 p.

8. Khazov P. A., Vedyaykina O. I., Khokhlova I. S., Artemyeva D. V. Deformirovanie i razrushenie trubobetonnykh obraztsov pri poperechnom izgibe [Deformation and destruction of concrete-filled steel tube samples during transverse bending] // Privolzhskiy nauchny zhurnal



[Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 2. – P. 69–74.

9. Khazov P. A., Erofeev V. I., Lobov D. M., [et al]. Eksperimentalnoe issledovanie raschyotnykh dlin i koeffitsientov prodolnogo izgiba kompozitnykh trubobetonnykh obraztsov [Experimental study of reduced lengths and longitudinal bending coefficients of composite concrete-filled steel tube samples] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 4. – P. 16–24.

10. Khazov P. A., Chibakova E. A., Kalinina G. A., Pomazov A. P. Eksperimentalnaya otsenka normativnykh metodik raschyota ustoychivosti tsentralno-szhatykh sterzhney [Experimental evaluation of normative methods for calculation of the stability of centrally compressed rods] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 1. – P. 34–42.

© **А. П. Помазов, Е. А. Никитина, О. И. Ведяйкина, К. В. Торопова, 2023**

Получено: 31.03.2023 г.