



10.1051/mateconf/201710602012.

24. Travush V. I., Antoshkin V. D., Svyatkina A. Yu. The task of forming a network on the sphere from the circles of the same radius. TPACEE 2018 : E3S Web of Conferences. – 2018. – V. 91, № 02011(2018).

25. Travush V. I., Antoshkin V. D., Chorina M. V. The task 3 of forming a network on the sphere from the circles of the same radius. TPACEE : E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 175, № 11029 (2020). – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511029>.

© В. Д. Антошкин, 2022

Получено: 28.06.2022 г.

УДК 624.046

П. А. ХАЗОВ¹, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **В. И. ЕРОФЕЕВ²**, д-р физ.-мат. наук, директор; **Д. М. ЛОБОВ¹**, ст. преп. кафедры строительных конструкций; **А. К. СИТНИКОВА¹**, студент; **А. П. ПОМАЗОВ¹**, студент

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ СЕЧЕНИЙ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@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; эл. почта: erogof.vi@yandex.ru

Ключевые слова: трубобетон, напряженно-деформированное состояние, малогабаритные сечения, эффективность трубобетона, несущая способность.

Рассматриваются достоинства и проблемы применения трубобетонных конструкций в надземном строительстве. Анализируется современное состояние и недостатки методик расчета трубобетонных элементов. Приводятся результаты испытаний на прочность малогабаритных трубобетонных образцов и их сравнение с образцами классических типов конструкций. Производится обоснование эффективности трубобетонных конструкций.

В условиях современной рыночной экономики в строительной отрасли регулярно появляются новые технологичные конструкционные материалы, сводящие к минимуму материальные и трудовые затраты. Поиск новых решений для различных зданий и сооружений ведется из соображений увеличения технологической, конструктивной и экономической эффективности строительства. Для достижения этих целей могут быть использованы трубобетонные конструкции, обеспечивающие усталостную долговечность и надежность возводимых объектов.

Трубобетонный стержень является разновидностью монолитных железобетонных элементов и представляет собой комплексную конструкцию, состоящую



из работающих совместно металлической оболочки (стальной трубы) и бетонного сердечника.

На сегодняшний день трубобетон применяют в случаях, когда необходимо, чтобы стальная оболочка выполняла функции несущей арматуры либо служила несъемной опалубкой. В первом случае армирование бетонного сердечника не производится, во втором – бетонное ядро усиливается металлическим каркасом.

Однако современному опыту применения трубобетонных конструкций свойственно противоречие, связанное с непопулярностью использования данного материала при строительстве надземных конструкций при его ярко выраженных преимуществах.

Экспериментальному и численному исследованию трубобетонных конструкций посвящено большое количество работ [1–12]. Применяемый при строительстве высотных зданий, мостов и прочих сооружений, в которых необходимо использование массивных сечений, трубобетон до настоящего времени не нашел широкого применения в конструкциях с малыми габаритами сечений. В отличие от многочисленных предшественников авторы считают, что такое применение может быть оправдано при проектировании систем, воспринимающих значительные динамические воздействия. Действительно, сравнивая трубобетон с классическими материалами, входящими в его состав, можно заметить следующее:

- основное преимущество «чистых» металлических конструкций – высокая прочность. Но в силу малого коэффициента неупругой работы стали данный тип конструкций очень плохо демпфирует энергию, имеет наибольшие резонансные эффекты;

- железобетон обладает хорошими демпфирующими свойствами, но он склонен к распространению трещин при динамической работе, плохо сопротивляется ударным нагрузкам;

- потеря местной и общей устойчивости стальной трубы преодолевается за счет внутреннего давления бетонной конструкции, что позволяет повысить сопротивляемость горизонтальным перемещениям, а также действию гравитационных сил от собственного веса. В свою очередь, внешняя стальная оболочка выступает в роли и продольного, и поперечного армирования, воспринимая возникающие в конструкции усилия любой ориентации. В условиях продольного сжатия реактивное боковое давление на бетонное ядро со стороны стальной оболочки создает для бетонной составляющей конструкции благоприятные условия ее работы – объемное сжатие – что повышает его прочностные и деформационные характеристики. Труба же, в свою очередь, препятствует образованию микротрещин разрыва бетона, который стремится увеличить свои размеры в радиальном направлении.

Таким образом, трубобетон способен объединить все названные преимущества стальных и железобетонных конструкций, снивелировав их недостатки: накопление повреждений, в том числе при ударе, практически исключено; демпфирующие свойства и высокая прочность имеют порядки, как правило, большие, чем у «классических» конструкций.

Говоря о ряде преимуществ трубобетонных конструкций, следует также отметить факторы, препятствующие его широкому распространению в надземном строительстве:

- недостаточная разработанность отечественных норм по проектированию и расчету трубобетонных конструкций. Исследователи расходятся во мнении относительно предельного состояния трубы, что затрудняет выбор методики расчетов. Современные методики не учитывают или же учитывают не в комплексе свойства



материалов и особенности сопротивления трубобетонных элементов деформированию как при кратковременной, так и при длительной нагрузке;

– конструктивный недостаток сжатых трубобетонных элементов, заключающийся в сложности обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки;

– узкий круг экспериментальных данных не дает четкого понятия о работе высокопрочных бетонов в условиях пассивного сжатия.

Независимо от того, какие именно размеры сечений применяются при строительстве, существует целый ряд проблем и противоречий, связанных с расчетом и определением напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций. Согласно действующему своду правил [13], расчет трубобетонных элементов выполняется путем проверки прочности арматуры, бетона и стальной оболочки. Суммарные усилия раскладываются и распределяются по трем слагаемым, при этом не всегда ясно, какую именно долю усилия принимает на себя каждая из частей композитного сечения.

В статье [7] был выполнен расчет трубобетонной колонны большого диаметра в линейной постановке, что позволило оценить жесткостные характеристики и уровень напряжений элементов в первом приближении, поскольку не были учтены пластические свойства бетона.

Для выполнения исследований прочности трубобетонных элементов малогабаритного сечения были изготовлены образцы 5 типов конструкций (рис. 1): бетон, железобетон, стальная труба, трубобетон, армированный трубобетон. Диаметр всех образцов составляет 76 мм, толщина стенки трубы – 3,5 мм, диаметр арматуры – 6 мм. Труба выполнена из стали 09Г2С, арматура класса А400, бетон класса В20.

Для изготовления бетонной смеси были приняты пропорции, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Состав бетонной смеси для изготовления образцов

Состав бетонной смеси					
Материал	Объемная доля	Плотность, г/см³	Объем, л	Масса, кг	Водоцемент- ное отноше- ние (масса)
Цемент М400	1,00	1,44	0,51	0,74	0,70
Гравий мел- козернистый (максималь- ная фракция 5–10 мм)	3,90	1,60	2,00	3,20	
Песок	2,00	1,50	1,03	1,54	
Вода	0,99	1,00	0,52	0,52	
Прогнозируемый класс бетона: В20					

Учитывая размеры малогабаритного сечения образцов (рис. 1), при изготовлении бетонной смеси применялся гравий малой фракции (рис. 2), что позволило увеличить подвижность бетонной смеси.

На рис. 1 видно несовершенство торцевых граней образцов, в связи с этим пе-

**К СТАТЬЕ П. А. ХАЗОВА, В. И. ЕРОФЕЕВА, Д. М. ЛОБОВА,
А. К. СИТНИКОВОЙ, А. П. ПОМАЗОВА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ
ОБРАЗЦОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ СЕЧЕНИЙ»**

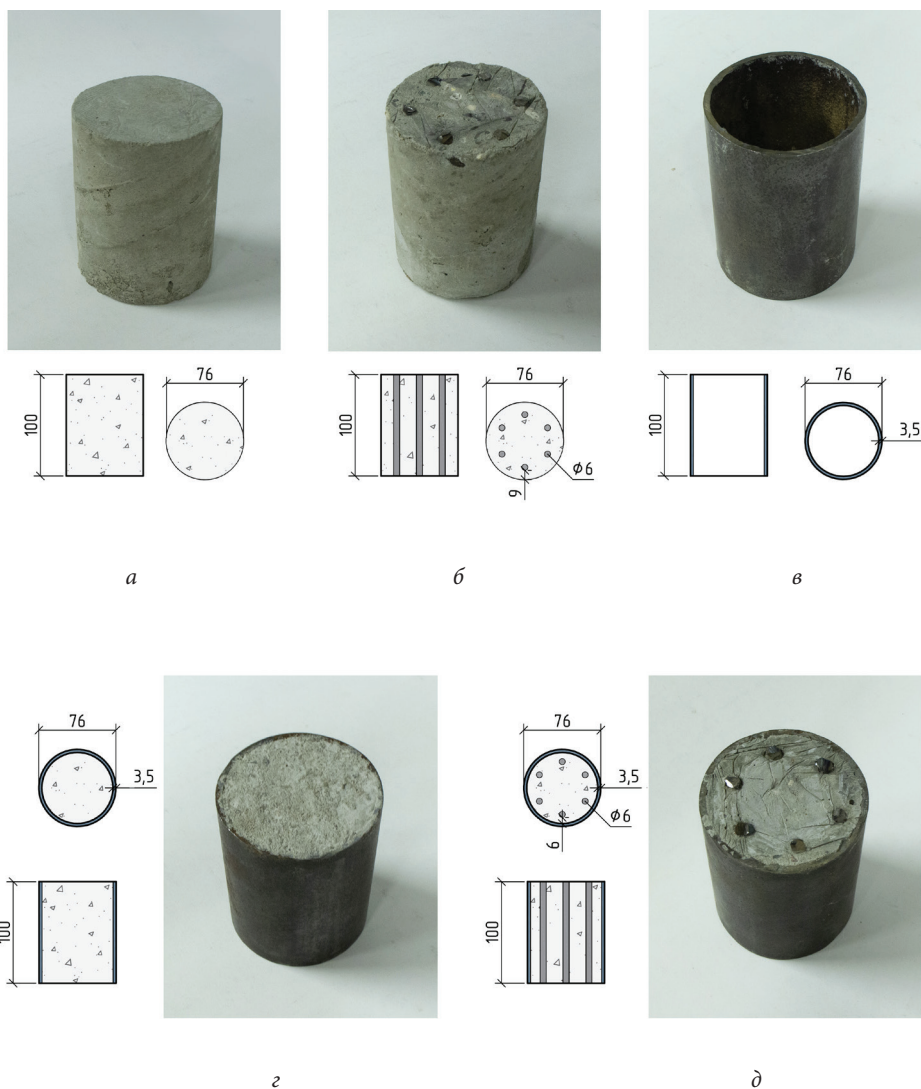


Рис. 1. Подготовленные образцы (торцевые грани выровнены путем нанесения слоя состава на основе эпоксидной композиции в соответствии с требованием ГОСТ 28570-2019):
a – бетон; *б* – железобетон; *в* – стальная труба; *г* – трубобетон; *д* – армированный трубобетон



Рис. 2. Гранулометрический состав мелкозернистого гравия, используемого для изготовления бетонной смеси



а



б



в

Рис. 3. Образцы «классических» конструкций после разрушения: *а* – бетонный; *б* – железобетонный; *в* – стальная труба



a



б



в



г

Рис. 4. Образцы трубобетонных конструкций после разрушения: *a* – трубобетонный неармированный; *б* – момент разрушения трубобетонного неармированного образца; *в* – трубобетонный армированный; *г* – момент разрушения трубобетонного армированного образца

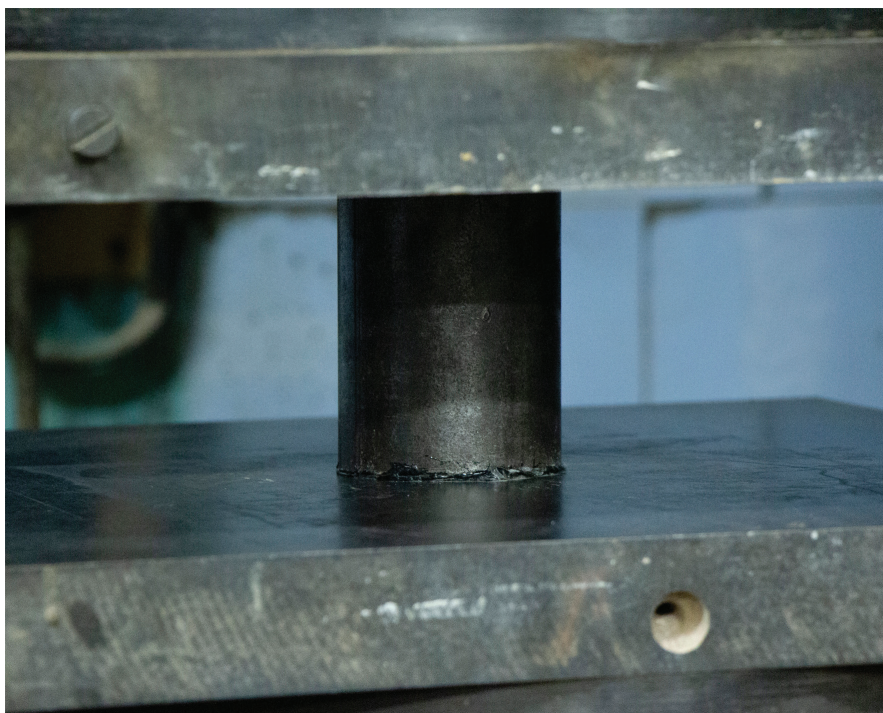


Рис. 5. Пластический характер разрушения трубобетонного образца

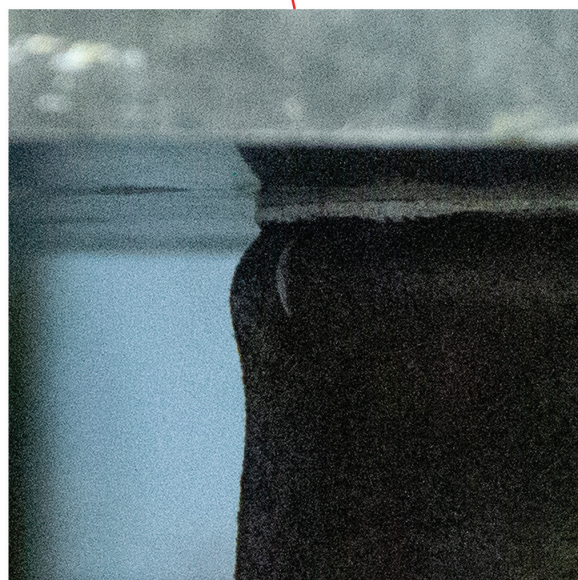
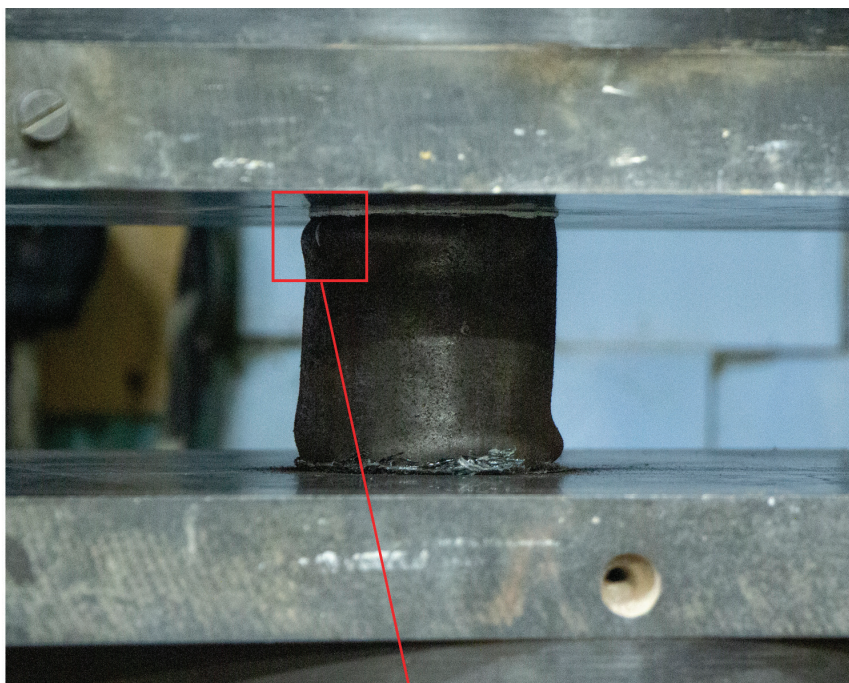


Рис. 6. Момент образования трещины в шве трубы трубобетонного образца



Рис. 7. Форма потери устойчивости арматуры в трубобетонном образце

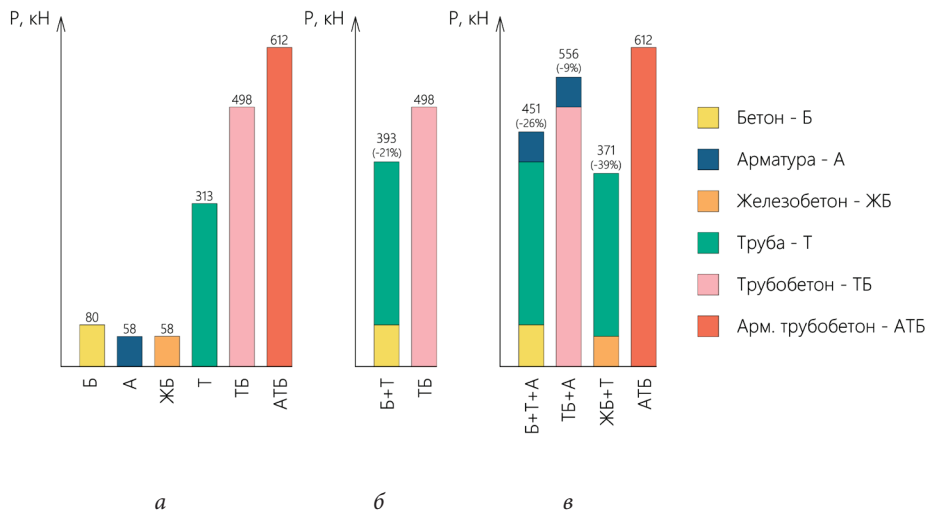


Рис. 8. Диаграммы: а – несущей способности образцов; б – сравнение суммы разрушающих нагрузок бетонного и стального образца с разрушающей нагрузкой трубобетонного образца; в – сравнение суммы несущих способностей трубы, бетона и арматуры; суммы несущих способностей трубобетона и арматуры, суммы несущих способностей трубы и железобетона, а также армированного трубобетона

ред проведением испытаний проводилось их выравнивание путем нанесения слоя состава на основе эпоксидной композиции в соответствии с требованием ГОСТ 28570-2019.

Испытания на центральное сжатие с целью определения разрушающей нагрузки проводились с помощью пресса П-125 с максимальной сжимающей нагрузкой 1200 кН. Далее приводится описание характера разрушения каждого из образцов, испытанных в возрасте 28 суток.

1. Бетонный образец (рис. 1а) разрушился хрупко (рис. 3а), выдержав максимальную нагрузку в 80 кН. Таким образом, критическое напряжение составило 17,6 МПа, что соответствует прогнозируемому классу В20 с расчетным сопротивлением 15 МПа.

2. Железобетонный образец (рис. 1б) разрушился хрупко под действием нагрузки 58 кН, что на 25 % меньше, чем «чистый» бетонный образец. По характеру разрушения (рис. 3б) может быть сделан вывод, что оно произошло в результате потери устойчивости арматуры. Данное предположение подтверждает то, что несущая способность шести отдельно взятых стержней арматуры с расчетным сопротивлением 340 МПа составляет 57,7 кН. Снижение несущей способности данного образца объясняется принятым при его изготовлении малым защитным слоем (рис. 1б), который не смог обеспечить проникновение крупного заполнителя в наружную часть образца, в результате чего арматурные стержни оказались фактически свободными. Потеряв устойчивость, они практически сразу выключились из работы, в результате чего вместо армированного сечения получилось ослабленное бетонное сечение с дефектами. После потери устойчивости арматуры напряжения в оставшемся бетонном сечении составили 34,9 МПа, т. е. в два раза больше критических напряжений, при которых разрушился чистый бетонный образец, что и привело к моментальному хрупкому разрушению.

3. Стальная труба (рис. 1в) разрушилась при нагрузке 313 кН. Разрушение носило явный пластический характер (рис. 3в), перед достижением максимального значения нагрузки произошло разрушение сварного шва. Номинальные напряжения в трубе достигли 390 МПа, что соответствует марке 09Г2С с условным пределом текучести 350 МПа.

4. Трубобетонный образец (рис. 1г) выдержал нагрузку в 498 кН. Потеря несущей способности образца произошла в результате разрушения шва трубы (рис. 4а). На рис. 5 показан вид образцов в процессе деформирования. Очевиден пластический характер деформирования после характерной нагрузки в 450 кН. На рис. 4б показан стоп-кадр, по которому видно, что элемент разрушился взрывообразно. Радиус разлета осколков составил примерно 4 м.

5. Армированный трубобетонный образец (рис. 1д) разрушался подобно трубобетонному. Максимальная нагрузка составила 612 кН. Процесс также сопровождался пластическим деформированием перед разрушением шва трубы (рис. 4в), образованием трещины в шве трубы (рис. 6), а также взрывным характером (рис. 4г). Предел текучести трубы наблюдался при нагрузке 600 кН. Следует учесть, что в отличие от железобетонного стержня, поперечное армирование данного трубобетонного стержня обеспечивалось стальной трубой, поэтому не произошло мгновенного хрупкого разрушения, как в случае 2. На рис. 7 видна форма потери устойчивости арматуры. Такая высшая форма с множеством перегибов характерна для гибких стержней, закрепленных связью типа «упругое основание». Количество полуволн зависит от соотношения изгибной жесткости стержня к коэффициенту постели. Такая модель вполне соответствует стержню, замкнутому в бетон.



По ссылке [14] приведены видеозаписи разрушения всех образцов.

На рис. 8а приведены диаграммы несущей способности образцов. Ожидаемо максимальная разрушающая нагрузка зафиксирована у армированного трубобетонного образца.

На рис. 8б приводится сравнение суммы разрушающих нагрузок бетонного и стального образца с разрушающей нагрузкой трубобетонного образца. По диаграмме видно, что при том же расходе материалов элемент получил приращение несущей способности на 27 %.

Для подтверждения марки стали арматуры (А400) была использована разрывная машина Р-5. Предел текучести соответствовал нагрузке 14,5 кН (513 МПа), а предел прочности – 17,2 кН (608 МПа).

На рис. 8в показано сравнение суммы несущих способностей трубы, бетона и арматуры; суммы несущих способностей трубобетона и арматуры; суммы несущих способностей трубы и железобетона; а также армированного трубобетона. Введение в композитное сечение арматуры дало прирост несущей способности на 114 кН, в то время как несущая способность «чистой» арматуры составляет 57,7 кН. Таким образом, ее вклад в несущую способность трубобетонного элемента за счет стесненности сечения вырос почти в 2 раза.

Сравнение несущих способностей образцов показывает, что сумма общей системы трубобетонного элемента не равна простой сумме компонентов этой системы.

Анализ сравнения материалоемкости колонн, выполненных в трубобетонном, металлическом и железобетонном вариантах, подтвердил эффективность использования трубобетонных конструкций (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение затрат материалов трубобетонного, железобетонного и стального короткого элемента под нагрузку 60 тонн

Материал элемента	Трубобетон	Металл	Железобетон
Площадь сечения колонны, мм ²	4 536	2 203	20 106
Диаметр колонны, мм	76	133	160
Площадь металла, мм ²	967	2 203	314
Площадь бетона, мм ²	3 569	-	19 792
Расход металла, %	100	228	33
Расход бетона, %	100	-	555

Перспектива дальнейших исследований:

1. Экспериментальное исследование устойчивости трубобетонных элементов круглого поперечного сечения.
2. Численное моделирование трубобетонных элементов с учетом запредельной работы материалов.
3. Разработка рекомендаций по расчету прочности и устойчивости трубобетонных элементов малогабаритного сечения.

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. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – Москва : Стройиздат, 1974. – 144 с.
2. Акаев, А. И. Перспективы возведения сейсмостойких зданий из трубобетонных конструкций / А. И. Акаев, М. Г. Магомедов, М. М. Пайзулаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – № 1 – С. 138–149.
3. Кришан, А. Л. Перспективы применения трубобетонных колонн на строительных объектах России / А. Л. Кришан, М. А. Кришан, Р. Р. Сабиров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 137–140.
4. Кришан, А. Л. Новое конструктивное решение трубобетонных колонн / А. Л. Кришан // III тысячелетие – новый мир : труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. – 2006. – Том 2. – С. 81–84.
5. 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 : электронный // Наукovedение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 03.05.2022).
6. 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. – Текст : электронный // Наукovedение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 03.05.2022).
7. Применение трубобетонных конструкций в зданиях и сооружениях. – URL: <https://docplayer.com/201131849-Ris-1-most-v-predmeste-parizha.html> (дата обращения: 24.04.2022).
8. 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 // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 9–16.
9. Boyd, P. F. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading / Boyd P. F., Cofer W. F., McLean D. I. // Journal of ACI. – 1995. – Vol. 92, № 3. – P. 353–364.
10. Morino, S. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan / Morino S., Tsuba K. // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – № 1. – Vol. 4. – P. 51–73.
11. Cai, S. H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / Cai S. H. – China.: Communication Press China, 2003. – 358 p.
12. Mesnager A., Barthes F., Vevrier I. Le pont des Ibis, an vesinet (seine-et-oise) / Mesnager A., Barthes F., Vevrier I.. // Le Genie Civil. – 1931. – N. 2527/3.
13. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования (с Изменением N 1, с Поправкой). – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с.
14. Испытания трубобетонных образцов на прочность. – URL: <https://youtu.be/SxxQ3Ir5i54> (дата обращения 09.06.2022). – Видеозапись.

KHAZOV¹ 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; EROFEEV² Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, director; LOBOV¹ Dmitry Mikhaylovich, senior teacher of the chair of building structures; SITNIKOVA¹ Anna Konstantinovna, student; POMAZOV¹ Artyom Pavlovich, student



THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STRENGTH OF COMPOSITE STEEL TUBE CONFINED CONCRETE SAMPLES OF SMALL-SIZED SECTIONS

¹Nizhny 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

²Institute for 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

Key words: steel tube confined concrete structures, stress-strain state, small-sized section, efficiency of steel tube confined concrete structures, bearing capacity.

The article provides the advantages and problems of using steel tube confined concrete structures in above-ground construction. The current state and shortcomings of methods for steel tube confined concrete elements are analyzed. The results of tests for the strength of small-sized steel tube confined concrete samples and their comparison with samples of classical types of structures are given. The rationale for the efficiency of steel tube confined concrete structures is made.

REFERENCES

1. Kikin A. I., Sanzharovsky R. S., Trull V. A. Konstruktsii iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom [Structures made of steel tubes filled with concrete]. – Moscow, Stroyizdat, 1974. – 144 p.
2. Akaev A. I., Magomedov M. G., Payzulaev M. M. Perspektivy vozvedeniya seysmostoykikh zdaniy iz trubobetonnykh konstruktsiy [Prospects for construction of earthquake-resistant buildings of steel tube confined concrete structures] // Vestnik Dagestan. gos. tekhn. un-ta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical science]. – 2017. – № 1 – P. 138–149.
3. Krishan A. L., Krishan M. A., Sabirov R. R. Perspektivy primeneniya trubobetonnykh kolonn na stroitelnykh obektakh Rossii [Prospects for the use of steel tube confined concrete columns at construction sites in Russia] // Vestnik Magnitogor. Gos. tekhn. un-ta im. G. I. Nosova [Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov]. – 2014. – № 1 (45) – P. 137–140.
4. Krishan A. L. Novoe konstruktivnoye resheniye trubobetonnykh kolonn [New constructive solution for steel tube confined concrete columns] // III tysyacheletie – novyy mir: Trudy mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya [III millennium – a new world: Proceedings of the International forum on problems of science, technology and education]. – 2006. – Vol. 2. – P. 81–84.
5. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruktsiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskey 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 studies] : Internet-zhurnal. – 2015 – Vol. 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (data obrascheniya: 03.05.2022).
6. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruktsiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 2. Raschyot trubobetonnykh konstruktsiy s metallicheskey obolochkoy [On the problem of calculating steel tube confined concrete structures with a shell of different materials. Part 2. Calculation of steel tube confined concrete structures with a metal shell] // Naukovedenie [Science studies] : Internet-zhurnal. – 2015 – Vol. 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (data obrascheniya: 03.05.2022).
7. Primeneniye trubobetonnykh konstruktsiy v zdaniyakh i sooruzheniyakh [The use of steel tube confined concrete structures in buildings and structures]. – URL: <https://docplayer.com/201131849-Ris-1-most-v-predmeste-parizha.html> (data obrascheniya: 24.04.2022).
8. 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 [Estimation of 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]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 9–16.

9. Boyd P. F., Cofer W. F., McLean D. I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading // Journal of ACI. – 1995. – Vol. 92, № 3. – P. 353–364.

10. 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.

11. Cai S.-H. (2003). Modern Street Tube Confined Concrete Structures. // Communication Press China. – 2003. – 358 p.

12. Mesnager A., Barthes F., Vevrier I. Le pont des Ibis, an vesinet (seine-et-oise). // Le Genie Civil – 1931 – N. 2527/3.

13. 1. SP 266.1325800.2016. Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya (s Izmeneniyem N 1, s Popravkoy) [Steel-reinforced concrete structures. Design rules]. – Moscow: Minstroy Rossii, – 2016. – 80 p.

14. Ispytaniya trubobetonnykh obraztsov na prochnost [Strength testing of steel tube confined concrete samples]. – URL: <https://youtu.be/SxxQ3Ir5i54> (data obrascheniya 09.06.2022) – Videozapis.

© П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. К. Ситникова, А. П. Помазов, 2022
Получено: 20.06.2022 г.

УДК 624.042.41

А. А. САТАНОВ, аспирант¹; **М. Л. ПОЗДЕЕВ**², студент; **А. В. СИМОНОВ**², студент; **А. П. ПОМАЗОВ**², студент; **П. А. ХАЗОВ**², канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА ВЫСОТНОЕ ЗДАНИЕ

¹Институт 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, +7 (910)-133-38-66; эл. почта: andrewsatanov@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (908)-756-24-56; эл. почта: maksim.leon.pz@yandex.ru

Ключевые слова: высотное здание, ветрогенератор, модель здания, аэродинамическая установка, аэродинамический эксперимент, аэродинамический коэффициент, сброс ветрового давления, ветровая нагрузка.

Выполнен анализ распределения давлений от ветровых потоков на поверхность высотного здания с проемами для установки ветрогенераторов. Модельный эксперимент в аэродинамической трубе показал, что результаты предварительной приближенной оценки нормативными методами имеют достаточную сходимость, но не учитывают ряд факторов, таких как резкое уменьшение ветрового отсоса на задней поверхности и уменьшение аэродинамических коэффициентов по высоте здания, особенно в арочной части.