



УДК 624.012.3:624.046

**П. А. ХАЗОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **А. К. СИТНИКОВА**, студент; **Е. А. ЧИБАКОВА**, студент

### **РАСЧЕТ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ОБЗОР)**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

*Ключевые слова:* трубобетонные конструкции, несущая способность, композитные материалы, совместная работа материалов, огнестойкость, численные исследования.

---

*Приведен теоретический обзор результатов отечественных и зарубежных научных исследований в области трубобетонных конструкций. Выполнена оценка преимуществ и недостатков существующих нормативных методик расчета трубобетонных конструкций. Изучена степень исследованности напряженно-деформированного состояния данных конструкций и сформулированы выводы о возможности применения имеющихся знаний в инженерной деятельности.*

---

В современном мире строительная отрасль играет одну из ключевых ролей в экономике. Для достижения соответствия непрерывно растущим требованиям текущие научные исследования в области строительства преимущественно направлены на совершенствование традиционных конструкционных материалов, а также создание новых с целью оптимизации использования экономических, материальных, технологических и временных ресурсов при одновременном повышении надежности и долговечности зданий и сооружений. Такой подход позволяет не только улучшить качество строительства, но и снизить затраты, а также сократить время на возведение объектов. В последние десятилетия большое внимание в мировом научном сообществе уделено трубобетону, который является разновидностью композитных сталежелезобетонных конструкций и обладает всеми вышеперечисленными требованиями.

Трубобетон представляет собой бетонный или железобетонный сердечник, заключенный в стальную трубу-обойму. Бетон и сталь находятся в сложном напряженно-деформированном состоянии, что благоприятно сказывается на несущей способности, однако усложняет задачу определения напряженно-деформированного состояния композитного сечения.

Несмотря на наличие крупных научных школ в данной области и проведение значительного количества экспериментальных и численных исследований, до сих пор нет единого мнения по поводу определения напряженно-деформированного состояния конструкций. Расходятся взгляды на совместную работу материалов. Часто ставятся под вопрос методики, утвержденные нормами по проектированию, в виду существенного расхождения получаемых по ним результатам как между собой, так и с экспериментальными данными, причем как в меньшую, так и в большую сторону.

В связи с этой неоднозначностью трубобетон остается весьма малораспространенным в современной строительной практике, однако очень перспективным материалом, что делает актуальным дальнейшее его изучение. Мировой опыт применения трубобетонных конструкций в настоящее время включает возведение высотных зданий, строительство мостовых и транспортных сооружений (рис. 1).

В настоящей статье приведены сведения о результатах отечественных и зарубежных научных исследований в области трубобетонных конструкций (далее ТБК), область исследования которых приведена на рис. 2. Рассмотрены существующие нормативные методики, оценены их достоинства и недостатки. Проанализировано современное состояние изученности напряженно-деформированного состояния ТБК и возможность использования имеющихся сведений для применения в инженерной практике.



Рис. 1. Область применения трубобетонных конструкций в современном строительстве: *а* – офисное высотное здание “Commerzbank Tower”, г. Франкфурт, Германия; *б* – телебашня “Canton Tower”, г. Гуанчжоу, КНР; *в* – мост “Rio Negro Bridge” через р. Рио-Негро, Бразилия

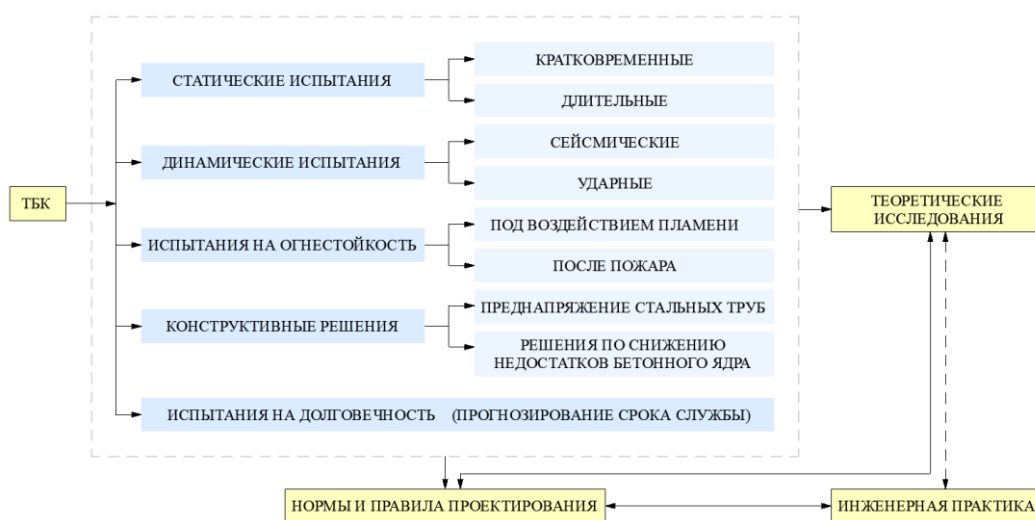


Рис. 2. Область исследования трубобетонных конструкций (ТБК)



Первым упоминанием о трубобетоне можно считать исследования *J. S. Sewell* [1, 2], который заполнил стальные трубы бетоном с целью повышения их огне- и коррозионной стойкости. При этом несущая способность такой конструкции оказалась примерно на четверть выше, чем суммарно у стальной трубы и бетонного сердечника.

Первым опытом использования ТБК в Советском Союзе был проект Володарского моста через Неву, осуществленный в 1936 г. под руководством инженера Г. П. Передерия. Для повышения несущей способности арок Г. П. Передерий впервые использовал так называемый «эффект обоймы»: крупногабаритный пакет из 40 труб диаметром 140×5 мм был использован в качестве верхнего параболического пояса пролетного строения. Перед началом строительства моста была изготовлена модель арочных пролетных строений в 1/5 натуральной величины, которая была испытана почти двойной расчетной нагрузкой. Испытание проходило с участием Г. П. Передерия, В. И. Крыжановского, В. К. Качурина, А. А. Долженко.

В дальнейшем Г. П. Передерия на основе опыта проектирования и строительства данного объекта написал в 1945 г. монографию [3], в которой описал результаты проведенных испытаний и сделал вывод об эффективности использовании трубчатой арматуры в мостостроении.

В 1938–1940 гг. по проекту профессора В. А. Росновского [4, 5] был возведен железнодорожный мост через р. Исеть в г. Каменск-Уральский с применением трубобетонных арок. Однако позже была выявлена проблема в работе трубобетонных элементов моста, а именно установлено, что происходит отрыв бетонного ядра от стальной трубы.

Первая зависимость для оценки несущей способности трубобетонных центрально сжатых элементов была опубликована в 1934 г. в работе профессора А. А. Гвоздева [6] и имела следующий вид:

$$N = R_b F_b + \alpha R_c F_c,$$

где  $R_b, F_b$  – предел прочности и площадь сечения бетонного сердечника;  $R_c, F_c$  – предел прочности (предел текучести) и площадь сечения трубы-обоймы;  $\alpha$  – коэффициент упрочнения.

Предельное состояние в данной зависимости характеризуется развитием текучести оболочки в поперечном направлении. Предложенная А. А. Гвоздевым формула не соответствует современным представлениям о работе трубобетона, т. к. учитывает увеличение несущей способности за счет упрочнения стальной трубы, а не бетонного ядра.

На основе данной зависимости в дальнейшем были разработаны многие известные отечественные методики расчета ТБК [7–11], где несущая способность в общем виде определяется по формуле:

$$N = (cR_b + d)F_b + \alpha F_c R_c,$$

где  $c, d, \alpha$  – коэффициенты, определяемые опытным путем.

Данные методики носят эмпирический характер, огромное число экспериментальных данных позволило определить значения данных коэффициентов для определенного набора геометрических и механических



характеристик стальных труб и бетона, но такой подход затрудняет использование этих методик ввиду растущего разнообразия материалов в современном мире и требует большого числа частных экспериментальных исследований при проектировании. К тому же они позволяют описать работу конструкции лишь при одноосном сжатии и не объясняют пространственную работу.

Далее разберем отдельные факторы, являющиеся предметами дискуссий и разногласий среди исследователей трубобетонных конструкций.

Многие экспериментальные исследователи связывали повышение несущей способности композитного сечения в сравнении с независимыми несущими способностями стальной трубы и бетонного сердечника с трехосным обжатием бетонного ядра, упрочненного боковым давлением оболочки и работой металлической оболочки как в тангенциальном, так и в радиальном направлениях.

Однако дальнейшие экспериментальные исследования, проводимые отечественными и зарубежными учеными [12–15], свидетельствовали об отрыве стальной оболочки от бетонного ядра. Этот же результат обнаружился в ходе эксплуатации трубобетонного моста через р. Исеть.

Такие ученые как Н. Н. Аистов, А. Ф. Липатов, Л. К. Лукша, В. Ф. Маренин, В. А. Росновский, Я. П. Семененко, Н. Ф. Скворцов и др. в своих работах приводят иное объяснение работы трубобетонных элементов под нагрузкой.

Н. Ф. Скворцов в своей докторской диссертации [16] пишет, что обжатие стальной оболочкой бетонного ядра маловероятно ввиду различных коэффициентов Пуассона бетона и стали ( $\nu_b = 0,18–0,25$ ,  $\nu_s = 0,3$ ), в связи с чем поперечные деформации стальной трубы превышают поперечные деформации бетона, а, значит, бетон не получает обжатия стальной трубой. В то же время повышение несущей способности, наблюдаемое сторонниками теории обжатия бетонного ядра, автор объясняет влиянием сил трения, возникающих по поверхности контакта опорных плит испытательных машин и торцов испытываемых коротких образцов, сдерживающих поперечные деформации стальных труб. R. Knowles и R. Park в своих исследованиях [17] приходят к такому же выводу, поскольку обжатие бетонного ядра происходит лишь при испытании коротких трубобетонных элементов.

Исследователи K. Sakino, M. Tomii, K. Watanabe [18] экспериментально сравнивали работу трубобетонного элемента при приложении нагрузки на все сечение и при ее приложении только на бетонный сердечник. В результате группа ученых сделала вывод, что обжатие ядра наблюдается только во втором случае. И хотя исследованиями [19–23] установлено, что вместо ожидаемой усадки ввиду отсутствия влагообмена между бетоном и внешней средой происходит его набухание, такого естественного преднапряжения оказывается недостаточно. Нарушение совместной работы оболочки и ядра опасно тем, что возникает риск местной потери устойчивости трубы, именно этот фактор приводит к разрушению образцов согласно многим исследованиям.

Ввиду данного недостатка трубобетонных конструкций актуальной областью исследований является создание «усовершенствованных» модификаций ТБК. Ряд отечественных авторов, таких как И. В. Резван и Г. М. Мартиросов [24–25], предлагает для обеспечения совместной работы ядра и оболочки использовать бетон на напрягающем цементе, который за счет расширения предварительно напрягает трубу. Испытания Г. М. Мартиросова [25] показали



значительное (в среднем на 30 %) увеличение диапазона упругой работы таких элементов по сравнению с аналогами из обычного портландцементного бетона. Однако исследования М. А. Астафьевой показывают, что данное повышение прочности незначительно (порядка 5 %) [26].

Другие исследователи, в частности группа под руководством доктора технических наук В. И. Ефименко, предлагают использовать центрифугированные трубобетонные конструкции [27–29].

Одной из самых сильных современных отечественных школ в области изучения ТБК является магнитогорская группа ученых, которую возглавляет профессор А. Л. Кришан. Для обеспечения совместной работы стальных оболочек с бетоном А. Л. Кришаном предложено производить предварительное обжатие бетонного ядра путем длительного прессования бетонной смеси с использованием пустотообразователя специальной конструкции, либо путем последовательного вдавливания в бетонную смесь вдоль направляющего стержня, расположенного коаксиально внешней обойме, трех стальных трубок, имеющих разные диаметры.

В 2011 г. А. Л. Кришан защитил докторскую диссертацию по теме «Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром» [20]. В ней, помимо новой ТБК с предварительно обжатым бетонным ядром, отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований НДС трубобетонных элементов «традиционного» и предлагаемого «модифицированного» видов при кратковременном, длительном, осевом и внецентренном сжатии. Вместе с тем предложен итерационный метод расчета прочности и оценки НДС ТБК с учетом физической нелинейности; на основе математической модели разработаны упрощенная и приближенная расчетные методики для ТБК, а также выведены зависимости для основных параметров, отражающих особенности НДС композитного материала и его элементов и представлены конструктивные решения узлов сопряжения ТБК с междуэтажными перекрытиями. В работе также отмечен высокий потенциал использования в ТБК современных высокопрочных бетонов, так как условия обжатия стальной обоймой нейтрализуют главный их недостаток – высокую хрупкость.

Исследования под руководством И. Г. Людковского, проводимые в НИИЖБ [30–34], также показали эффективность работы стальной обоймы при использовании высокопрочных бетонов. Эксперименты показали, что образцы с ядром из бетонов классов В60–В100 всегда имели предел упругой работы на 20–30 % выше по сравнению с образцами из бетонов классов В12,5–В40. В исследованиях изучалось влияние на эффективность трубобетонных элементов формы (круглые, квадратные образцы) и размеров поперечного сечения. Были установлены два возможных варианта разрушения центрально сжатых трубобетонных образцов: элементы малого диаметра с высоким коэффициентом армирования разрушались ввиду потери местной устойчивости стенкой трубы при больших осевых деформациях бетонного ядра и стальной оболочки; элементы большого диаметра разрушались в результате образования гофров по диагонали образца с последующим срезом бетонного ядра по наклонному сечению. Таким образом, влияние масштабного фактора на работу трубобетонных элементов необходимо учитывать при проектировании. В работах Л. И. Стороженко отмечается, что при увеличении диаметров трубобетонных элементов с 159 до 326 мм в условиях центрального сжатия коэффициент эффективности бетона падает с 2,5 до 1,5, а коэффициент эффективности трубобетона – с 1,5 до 1,2.



Опыты показали, что бетон в обойме способен воспринимать деформации в 10 раз выше, чем призматический образец.

Другим объектом разногласий является определение коэффициента упрочнения  $k$ , являющегося одним из ключевых характеристик бетона, находящегося в условиях объемного сжатия, а именно составляющих формул прочности ТБК. Подробный анализ данного вопроса отражен в статье Г. В. Несветаева [35].

Различны взгляды на вопрос: с чем именно связывать наступление предельного состояния трубобетонной конструкции? Такие исследователи как А. А. Долженко, А. А. Гвоздев и др. [7, 36–38] за данный критерий принимают полное разрушение ТБК в момент достижения наибольшей нагрузки. А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Трулль, а также Л. И. Стороженко [9, 10] предлагают считать начало текучести стальной оболочки в продольном направлении предельным состоянием. Л. И. Стороженко и его сторонники придерживаются позиции, что корректнее производить расчет ТБК исходя из ограничений продольной относительной деформации из условий эксплуатации конструкций, т. к. в трубобетонных элементах наступление разрушения носит неявный характер. Последний подход является самым рациональным, т. к. эксперименты свидетельствуют о невозможности полного использования прочностных свойств ТБК ввиду высокой деформативности. Так, по данным Р. С. Санжаровского, деформации укорочения центрально сжатых ТБК могут достигать более 15 %, что недопустимо для работы несущих конструкций. Таким образом, можно рассматривать работу ТБК только в пределах упругой стадии, а можно учитывать пластические деформации.

Также актуальной областью исследования является вопрос поведения ТБК при различных способах приложения нагрузки. Традиционной трубобетонной стойкой считается случай, когда нагрузка прикладывается на все поперечное сечение, то есть как на бетонное ядро, так и на стальную оболочку. Базовые труды по расчету ТБК предполагали, что повышенная несущая способность связана с трехосным обжатием бетонного ядра обоймой, сдерживающей поперечные деформации бетона. Однако современные исследования ставят под сомнение наличие совместной работы оболочки и ядра ввиду различных коэффициентов Пуассона данных материалов. Отдельным видом «усовершенствованной» трубобетонной стойки считается вариант бетонной колонны в стальной обойме, то есть, когда нагрузка передается исключительно на бетон.

Ученые, перечисленные выше, объясняли повышение несущей способности ТБК по сравнению с суммарной несущей способностью ее элементов сложным трехосным обжатием бетонного ядра. Однако экспериментальные исследования [12–15, 39] показывают, что отрыв оболочки от ядра происходит на первых этапах нагружения трубобетонных стоек традиционным способом, а трехосное обжатие наблюдается лишь при «усовершенствованной» конструкции.

В. А. Снигирева в своей диссертации [40] решила задачи традиционной и «усовершенствованной» трубобетонной стойки, находящейся в условиях центрального сжатия, также было замечено, что в доказательствах Л. К. Лукши и Л. И. Стороженко были допущены арифметические ошибки, которые привели к неверному выводу о трехосном сжатии бетонного ядра. В реальности радиальные напряжения в бетонном ядре являются растягивающими и приводят к его разрушению, а совместная работа оболочки и ядра не реализуется. Следствием



этого является опасность местной потери устойчивости стенки трубы, что ведет к снижению несущей способности всей конструкции. На данных ошибочных допущениях была основана методика действующего нормативного документа СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» [41].

Также нет единого мнения по вопросу применяемых в ТБК материалов. Одни авторы [21–22, 42] считают, что в ТБК рационально применять бетоны низших классов, в то время как другие [24, 30, 43] настаивают на том, что применение высокопрочных бетонов дает больший эффект для несущей способности. Существуют исследования в области модифицированных трубобетонных конструкций, где используются: высокопрочные бетоны; предварительное напряжение бетонного ядра, центрифугирование бетонного ядра; фибробетоны; различные конструктивные решения, такие как анкеры, улучшающие совместную работу ядра и оболочки и т. д.

Ряд исследователей отмечает значительное влияние отношения диаметра трубобетонного элемента к толщине стенки трубы на несущую способность  $D/t$ . Профессор американского университета “*American University of Sharjah*” (ОАЭ) *F. Abed* в своей статье [44] привел экспериментально полученные данные по трем видам образцов с различными соотношениями  $D/t$  и сравнил с теоретическими значениями, полученными по четырем международным нормативным методикам, где данный фактор не учитывается. В исследовании использованы следующие методики: Американский институт стального строительства (*AISC*), Американский институт бетона (*ACI 318*), Австралийский стандарт (*AS*) и Еврокод 4 (*EN4*). Было отмечено, что по мере увеличения отношения  $D/t$ , снижается запас по теоретической несущей способности при осевом нагружении. Это можно интерпретировать следующим образом: согласно зарубежным методикам, при одинаковой площади эквивалентных сечений конструкции должны иметь одинаковую несущую способность, что не является действительностью. Перечисленные выше методики ограничивают применимость расчетных формул диапазоном значений отношения  $D/t$ , но не рассматривают его в качестве влияющего фактора. Подобные исследования также отражены в статьях индийских и отечественных групп исследователей [45–47].

Доказано, что наибольшую эффективность трубобетон имеет при использовании его в сжатых элементах с малыми эксцентриситетами при больших нагрузках. Вопросы работы внецентренно сжатых трубобетонных элементов также являются активно изучаемыми как отечественными [16, 20, 42, 48, 49], так и зарубежными [38, 50–59] учеными.

Другой актуальной, но менее изученной областью применения трубобетона являются изгибаемые конструкции [60–64]. Следует отметить большой вклад в исследования изгибаемых трубобетонных конструкций китайских ученых. На сегодняшний день в Китае построено более 300 трубобетонных мостов различных конструкций.

Существует нехватка исследований поведения трубобетонных конструкций под длительными нагрузками. Длительные испытания позволяют обнаружить особенности работы конструкции, которые невозможно выявить при кратковременных нагружениях. Наиболее полно данные вопросы отражаются в исследованиях А. А. Долженко [7, 42], А. И. Кикина, В. А. Трулля и Р. С. Санжаровского [9], А. Л. Кришана, Л. И. Стороженко [8, 10].



Вопросы усадки и ползучести бетона, заключенного в стальную обойму, поднимали в своих работах А. А. Долженко [42] и В. М. Сурдин [65]. Исследования показывают, что абсолютная усадка бетона, твердеющего в оболочке, значительно меньше усадки классического бетона. Отмечается, что бетон в течение первого года склонен к «разбуханию» из-за отсутствия контакта с воздухом. Степень усадки бетонного ядра зависит от диаметра стальной оболочки, ее толщины, вида цемента. Ползучесть трубобетонных образцов в 2 раза меньше ползучести бетонных и в 3 раза меньше железобетонных образцов. При нагружении только на трубу влияние ползучести минимально, при загрузке на все сечение и только на бетонный сердечник, соответственно, больше.

В статьях профессора МГТУ А. Л. Кришана [66] и профессора Чуньцинского университета *J. Lui* [67] рассматриваются вопросы влияния сил трения по поверхности контакта стальной оболочки и бетонного ядра.

В статье И. И. Овчинникова [47] выполнен сравнительный анализ расчета трубобетонной стойки по четырем наиболее распространенным в мировой практике методам. Результаты показали существенные расхождения значений несущей способности, что подтверждает неоднозначность в подходах к определению НДС трубобетонных элементов.

В статье [68] изложены результаты натуральных экспериментов, посвященных работе трубобетона при осевом сжатию, и проанализированы в сравнении с данными теоретических расчетов предельной несущей способности в соответствии с различными действующими сводами правил: EC4, NBR 8800, AISC и GB50396-2014. В результате установлено, что фактическая несущая способность всех трубобетонных образцов оказалась значительно выше теоретических значений, определенных в соответствии с методиками указанных норм. Результаты, изложенные в статье [69], позволяют сделать аналогичный вывод относительно российских [41] норм.

Также ведется исследование поведения трубобетонных конструкций, подвергшихся огневому воздействию [57–59, 70–72]. Доказано, что совместное действие бетонного сердечника и стальной трубы обеспечивает повышенную в сравнении с бетоном и сталью огнестойкость. Бетонное ядро задерживает общую и локальную потерю устойчивости стальной трубы под действием высоких температур, в свою очередь, стальная труба защищает бетонное ядро от прямого воздействия огня и растрескивания. При нанесении защитных покрытий можно добиться очень высокой огнестойкости конструкций.

Вопрос поведения трубобетонных конструкций при динамических воздействиях изучен слабо [13, 24, 73], хотя ТБК имеют большой потенциал использования в условиях тяжелых динамических режимов работы.

Отдельным направлением являются численные исследования в области конечно-элементного моделирования трубобетонных конструкций в различных программных комплексах [40, 74–80], в частности исследования трубобетонной рамы (рис. 3). Однако проблемой является отсутствие общепризнанной методики построения конечно-элементных моделей, позволяющих получать надежные результаты и использовать их в реальном проектировании.



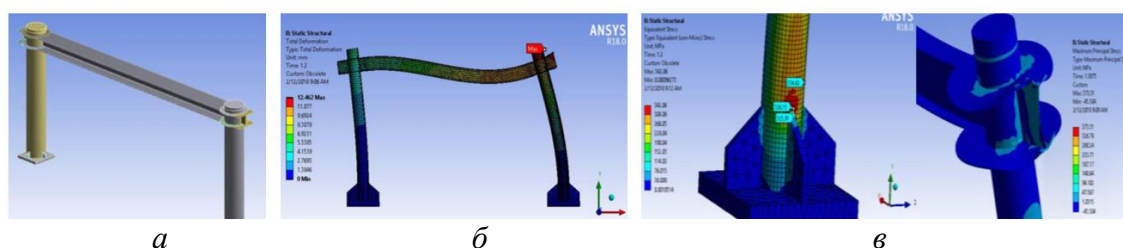


Рис. 3. Конечно-элементная модель типовой трубобетонной рамы и соединений ПК ANSYS: *а* – общий вид; *б* – форма деформирования; *в* – области максимальных нормальных напряжений в узлах соединения колонны с базой и колонны с ригелем [82]

Несмотря на активное изучение трубобетонных конструкций, существует множество разногласий в подходах к определению напряженно-деформированного состояния, нет общепризнанной методики расчета даже для центрально-сжатых трубобетонных стоек, а некоторые аспекты все еще остаются малоизученными. Активно ведутся исследования в области модифицированных видов ТБК, ученые пытаются найти наиболее оптимальные параметры составляющих конструкции, предлагаются решения по повышению прочностных, деформационных и других характеристик ТБК, позволяющих одновременно увеличить несущую способность и получить материал с высокой технологичностью изготовления. Исследуются особенности работы ТБК различных геометрических форм: квадратные, прямоугольные, эллипсоидные, многогранные, кольцеобразные сечения. Наблюдается нехватка исследований в области численного моделирования ТБК, в частности отсутствует единый подход к созданию конечно-элементных моделей в программно-вычислительных комплексах. Необходима дальнейшая разработка инженерных решений в области проектирования ТБК в составе каркасов зданий и сооружений: узлов и сопряжений. Также малоизученным остается вопрос условий контакта между сталью и бетоном в составе ТБК, необходимы исследования по определению влияния касательных сил трения по поверхности оболочка-ядро на НДС конструкции. Одной из перспективных областей применения ТБК являются конструкции, испытывающие значительные динамические воздействия, например, в условиях тяжелых режимов работы кранов, в условиях сейсмических нагрузок, в связи с этим необходимо изучение динамических характеристик трубобетона и разработка методик расчета трубобетона на динамические воздействия. Наконец, для широкого внедрения в строительную практику данного вида конструкций помимо фундаментальных исследований необходима разработка инженерных методик, которые могли бы давать надежные результаты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Нижегородской области (грант Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники от 04.07.2023 года № 316-06-16-118a/23).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sewell, J. S. Columns for buildings / J. S. Sewell // Engineering News. – 1902. – Vol. 48, Issue 17. – P. 10–13.
2. Sewell, J. S. Concrete and Concrete-Steel / J. S. Sewell, E. Thacher // Transactions of the American Society of Civil Engineers. – 1905. – Vol. 54, Issue 7. – 240 p.



3. Передерий, Г. П. Трубчатая арматура / Г. П. Передерий. – Москва : Трансжелдориздат, 1945. – 105 с. – Текст : непосредственный.
4. Росновский, В. А. Исследование труб, заполненных бетоном / В. А. Росновский, А. Ф. Липатов. – Текст : непосредственный // Железнодорожное строительство. – 1952. – № 11. – С. 27–30.
5. Росновский, В. А. Трубобетон в мостостроении / В. А. Росновский. – Москва : Трансжелдориздат, 1963. – 110 с. – Текст : непосредственный.
6. Гвоздев, А. А. Определение величины разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем. / А. А. Гвоздев. – Текст : непосредственный // Проект и стандарт. – 1934. – № 8. – С. 19.
7. Долженко, А. А. Исследование сопротивления трубобетона осевому сжатию / А. А. Долженко. – Текст : непосредственный // Теория сооружений и конструкций. Труды Воронежского ИСИ. – 1964. – Выпуск 1. – С. 3–23.
8. Кришан, А. Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан, А. И. Заикин, М. С. Купфер. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 22–25.
9. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – Москва : Стройиздат, 1974. – 144 с. – Текст : непосредственный.
10. Стороженко, Л. И. Расчет трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, П. И. Плахотный, А. Я. Черный. – Киев : Будивельник, 1991. – 120 с. – Текст : непосредственный.
11. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2 : Design of concrete structures. ICE Proceedings Civil Engineering. – 144 (6).
12. Gardner, N. J. Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tube / N. J. Gardner, E. R. Jacobson // ACI Journal. – 1967. – P. 404–413.
13. Jayalekshmi, S. A. Comparative Study on Design Principles of Circular Concrete Filled Steel Tubular Columns / S. A. Jayalekshmi, J. S. Sankar Jegadesh // Proceedings to the ICIDRET. – 2014. – P. 133–137.
14. Schneider, S. P. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes / S. P. Schneider // Journal of Structural Engineering. – 1998. – Vol. 124, Issue. 10. – P. 1125–1138.
15. Load-Bearing Capacity of Concrete-Filled Steel Columns / A. Kuranovas, D. Goode, A. Kvedaras, S. Zhong // Journal of Civil Engineering and Management. – 2009. – P. 21–33.
16. Скворцов, Н. Ф. Прочность сталетрубобетона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Скворцов Николай Филиппович ; Академия архитектуры СССР. Научно-исследовательский институт строительной техники. – Москва, 1953. – 453 с. – Текст : непосредственный.
17. Knowles, R. Strength of concrete-filled steel tubular columns / R. Knowles, R. Park // Journal of the Structural Division ASCE. – 1969. – Vol. 95 (12). – P. 2565–2587.
18. Sakino, K. Sustaining load capacity of plain concrete stub columns by circular steel tubes / K. Sakino, M. Tomii, K. Watanabe // Proceeding of the International Specialty Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures. – 1985. – P. 112–118.
19. Cai, S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / S.-H. Cai. – Shanghai : China Communication Press, 2003. – 358 p.
20. Кришан, А. Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым яром : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кришан Анатолий Леонидович ; Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – 380 с. – Текст : непосредственный.
21. Morino, S. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan / S. Morino, K. Tsuba // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – Vol. 4, Issue 1. – P. 51–73.



22. Boyd, P. F. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading / P. F. Boyd, W. F. Cofer, D. I. McLean // Journal of ACI. – 1995. – Vol. 92, Issue 3. – P. 353–364.

23. Кришан, А. Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан, А. И. Заикин, М. С. Купфер. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 22–25.

24. Резван, И. В. Трубобетонные колонны из высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Резван Игорь Васильевич ; Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2012. – 202 с. – Текст : электронный. – URL: [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01005495521.pdf](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005495521.pdf).

25. Мартиросов, Г. М. Трубобетонные элементы из бетона на напрягающем цементе / Г. М. Мартиросов, А. И. Шахворостов. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 12–13.

26. Астафьева, М. А. Прочность сталебетонных колонн со спиральным армированием бетона : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Астафьева Мария Анатольевна ; Донской государственный технический университет – Ростов-на-Дону, 2019. – 143 с. – Текст : электронный. – URL: [https://viewer.rusneb.ru/ru/000199\\_000009\\_008589642?page=1&rotate=0&theme=white](https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_008589642?page=1&rotate=0&theme=white).

27. Ефименко, В. И. Опыт проектирования строительных конструкций из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном / В. И. Ефименко, А. П. Сухан, С. П. Сухан. – Текст : непосредственный // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Кривой Рог, 2008. – С. 194–199.

28. Ефименко, В. И. Деформативность центрифугированных трубобетонных элементов / В. И. Ефименко, Л. И. Стороженко. – Текст : непосредственный // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Киев : Четверта хвиля, 2001. – С. 280–284.

29. Ефименко, В. И. Опыт проектирования трубобетонных конструкций с центрифугированным бетонным ядром / В. И. Ефименко. – Текст : непосредственный // Вестник Криворожского национального университета. – 2013. – Выпуск 35. – С. 152–155.

30. Коврыга, С. В. Прочность и деформативность при осевом сжатии стальных труб, заполненных высокопрочным бетоном : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коврыга Сергей Владимирович ; Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона. – Москва, 1992. – 149 с. – URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_000074746/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000074746/). – Текст : электронный.

31. Фонов, В. М. Прочность и деформативность трубобетонных элементов при осевом сжатии / В. М. Фонов, И. Г. Людковский, А. П. Нестерович. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1989. – № 1. – С. 4–6.

32. Фонов, В. М. Исследование сжатых трубобетонных элементов / В. М. Фонов, Н. В. Макаричева. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1984. – № 7. – С. 22–24.

33. Людковский, И. Г. Исследование сжатых трубобетонных элементов, армированных высокопрочной продольной арматурой / И. Г. Людковский, В. М. Фонов, Н. В. Макаричева. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1980. – № 7. – С. 17–19.

34. Нестерович, А. П. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при осевом сжатии : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нестерович Александр Павлович ; Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона. – Москва, 1987. – 236 с. – Текст : непосредственный.



35. Несветаев, Г. В. Оценка прочности трубобетона / Г. В. Несветаев, И. В. Резван. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12-3. – С. 580–583.
36. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. – Москва : Госстройиздат, 1949. – 280 с. – Текст : непосредственный.
37. Долженко, А. А. К теории расчета трубобетона / А. А. Долженко. – Текст : непосредственный // *Теория сооружений и конструкций. Труды Воронежского инженерно-строительного института*. – 1964. – Выпуск 1. – С. 24–33.
38. Sakino, K. Elastic-Plastic Behavior of Concrete Confined in Circular Steel Tube or Spiral Reinforcement / K. Sakino, Y. Xiao, M. Tomii // *Proc. of the 3-rd Int. Conf. on Steel-concrete composite structures*. – Fukuoka, Japan, 1991. – P. 67–73.
39. Tomii, M. Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Columns under Concentric Loading / M. Tomii, K. Yoshimura, Y. Morishita. // *Proc. Int. Colloquium on Stability of Structures Under Static and Dynamic Loads*. – 1977. – P. 718–741.
40. Снигирева, В. А. Совершенствование методов моделирования и расчета предварительно напряженных трубобетонных стоек транспортных сооружений : специальность 2.1.8 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Снигирева Вера Алексеевна ; Сургутский государственный университет. – Сургут, 2021. – 199 с. – Текст : непосредственный.
41. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные : Правила проектирования : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1030/пр : дата введения 01 июля 2017 г. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 16.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
42. Долженко, А. А. Трубчатая арматура в железобетоне : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Долженко Александр Акимович ; Московский инженерно-строительный институт имени В. В. Куйбышева. – Москва, 1967. – 413 с. – Текст : непосредственный.
43. Кузнецов, К. С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Константин Сергеевич ; Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2007. – 152 с. – Текст : непосредственный.
44. Abed, F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) / F. Abed // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2013. – Issue 80. – P. 429–439.
45. Singh, N. D. Study and Buckling Analysis of Concrete Filled Steel Tubes Columns using ANSYS / N. D. Singh, Sh. Vaghmarey // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2018. – Vol 05, Issue 12. – P. 1259–1267.
46. Gupta, P. K. Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads / P. K. Gupta, S. M. Sarda, M. S. Kumar // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2007. – Vol 63. – P. 182–193.
47. 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 : непосредственный // *Науковедение : Интернет-журнал*. – 2015. – С. 1–32.
48. Галагура, Е. И. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных колонн при различных схемах нагружения : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галагура Евгений Иванович. – Харьков, 2008. – 120 с. – Текст : непосредственный.



49. Санжаровский, Р. С. Теория и расчет прочности и устойчивости элементов конструкций из стальных труб, заполненных бетоном : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Санжаровский Рудольф Сергеевич. – Москва, 1977. – 453 с. – Текст : непосредственный.
50. Furlong, R. W. Design of steel-encased concrete beam-columns / R. W. Furlong // Proc. ASCE. – 1968. – Vol. 94. – P. 267–281.
51. Johnson, R. S. Concrete-Filled Steel Tubes / R. S. Johnson // Composite Structures of steel and Concrete. – 1984. – Vol. 1, Chapter 5. – P. 171–177.
52. Takeo, N. Experimental Study on Concrete Filled Steel Pipe under Eccentric Axial Load / N. Takeo // Transactions of The Architectural Institute of Japan, Extra, Summaries of Technical Papers of Annual meeting of A. I. J. – Japan, 1965. – 333 p.
53. Zhong, S. Concrete-filled steel Tubes under Excentric Loading / S. Zhong // Experiments and Analysis, Dianti Jianshekeji Daobao. – 1979. – Vol. 1.
54. Zhou, C. Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading / C. Zhou // Journal of Harbin Institute of Civil Engineering. – 1982. – Vol. 4. – P. 29–46.
55. Muciaccia, G. Response of self-compacting concrete filled tubes under eccentric compression / G. Muciaccia, F. Giussani, G. Rosati, F. Mola // Journal of Constructional Steel Research. – 2011. – Vol. 67(5). – P. 904–916.
56. Kedziora, S. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load / S. Kedziora, M. O. Anwaar // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019.
57. Liu, F. Q. Post-fire behaviour of reinforced concrete stub columns confined by circular steel tubes / F. Q. Liu, L. Gardner, H. Yang. // Journal of Constructional Steel Research. – 2014. – Vol. 102. – P. 82–103.
58. Jiang, S. F. Experimental study on fire-exposed rectangular concrete-filled steel tubular (CFST) columns subjected to bi-axial force and bending / S. F. Jiang, Z. Q. Wu, D. S. Niu. // Advances in Structural Engineering. – 2010. – Vol. 13. – P. 551–560.
59. Lu, H. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: experiments / H. Lu, L. H. Han, X. L. Zhao // Fire Safety Journal. – 2010. – Vol. 45(2). – P. 106–115.
60. Арленинов, П. Д. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций / П. Д. Арленинов, С. Б. Крылов, П. П. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 34–38.
61. Астанков, К. Ю. Тенденции применения трубобетонных конструкций для строительства малых мостов / К. Ю. Астанков, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Волгоград, 2021. – С. 109–117.
62. Казимагомедов, Ф. И. Эффективные трубобетонные изгибаемые элементы : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ф. И. Казимагомедов. – Харьков, 2015. – 20 с. – Текст : непосредственный.
63. Овчинников, И. Г. Повышение нагрузочной способности трубобетонной балки / И. Г. Овчинников, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков [и др]. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 58–66.
64. Якупова, Л. З. О возможности применения свода правил СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» для проектирования трубобетонных конструкций в малом мостостроении / Л. З. Якупова, К. Ю. Астанков, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 2. – С. 112–121.
65. Сурдин, В. М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов :



диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. М. Сурдин. – Одесса, 1970. – 21 с. – Текст : непосредственный.

66. Кришан, А. Л. Новый подход к оценке прочности сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан. – Текст : электронный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 2–5.

67. Lui, J. Effect of friction on axially loaded stub circular tubed columns / J. Lui, X. Zhou, D. Gan // *Advances in Structural Engineering*. – 2016. – Vol. 19(3).

68. Li, P. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression / P. Li, T. Zhang, Ch. Wang // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–15.

69. Астанков, К. Ю. Анализ возможности применения российских норм проектирования сталетрубобетонных конструкций в малом мостостроении / К. Ю. Астанков, А. С. Пермикин, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 2. – С. 53–63.

70. Tao, Z. Compressive and flexural behavior of CFRP repaired concrete-filled steel tubes after exposure to fire / Z. Tao, L. H. Han, L. L. Wang // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2007. – Vol. 63(8). – P. 1116–1126.

71. Нурадинов, Б. Н. Огнестойкость сталетрубобетонных колонн : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нурадинов Бауыржан Нурадинович. – Москва, 1994. – 201 с. – Текст : непосредственный.

72. Hicks, S. J. Design guide for SHS concrete filled columns / S. J. Hicks // *Corus Tubes Structural & Conveyance Business*. – 2005. – 62 p.

73. Brett, C. G. A Synopsis of Studies of the Monotonic and Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Members, Connections, and Frames / C. G. Brett, T. Cenk, D. D. Mark // *Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign*. – 2008. – 371 p.

74. Mathankumar, S. Finite Element Analysis of Steel Tubular Section Filled with Concrete / S. Mathankumar, M. Anbarasan // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 5. – Issue 6. – P. 11775–11779.

75. Ellobody, E. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns / E. Ellobody // *Thin-Walled Structures*. – 2006. – Vol. 44(8). – P. 919–930.

76. Dai, X. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns / X. Dai // *Construction Steel Researches*. – 2010. – Vol. 66(4). – P. 542–555.

77. Abed, F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) / F. Abed, M. AlHamaydeh, S. Abdalla // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2013. – Vol. 80 (130). – P. 429–439.

78. Гаранжа, И. М. Численное моделирование трубобетонных элементов конструкций круглого сечения / И. М. Гаранжа, А. В. Танасогло, Ж. Н. Войтова. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 6 (71). – С. 14–18.

79. Ahmed, A. D. Structural performance of frames with concrete-filled steel tubular columns and steel beams: Finite element approach / A. D. Ahmed, E. M. Guneyisi // *Advanced Composites Letters*. – 2019. – Vol. 28(5). – P. 1–15.

80. Dai, X. H. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression / X. H. Dai, D. N. Lam, J. Ye, Jamaluddin // *Thin-Walled Structures*. – 2014. – Vol. 77. – P. 26–35.



**KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory for continuous monitoring of the technical condition of buildings and structures; SITNIKOVA Anna Konstantinovna, student; CHIBAKOVA Ekaterina Anatolevna, student**

## **CALCULATION OF PIPE-CONCRETE STRUCTURES: THE CURRENT STATE OF THE ISSUE AND PROSPECTS FOR FURTHER RESEARCH (REVIEW)**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

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

*Key words:* pipe-concrete structures, load-bearing capacity, composite materials, joint work of materials, fire resistance, numerical studies.

---

*The article gives a theoretical review of the results of domestic and foreign scientific research in the field of pipe-concrete structures. The advantages and disadvantages of the existing normative methods of calculation of pipe-concrete structures are evaluated. The degree of investigation of the stress-strain state of these structures is studied, and conclusions are formulated about the possibility of applying existing knowledge in engineering activities.*

---

### REFERENCES

1. Sewell J. S. Columns for buildings // Engineering News, 1902. Vol. 48, Issue 17. P. 10–13.
2. Sewell J. S., Thacher E. Concrete and Concrete-Steel // Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1905. Vol. 54, Issue 7. 240 p.
3. Perederiy G. P. Trubchataya armatura [Tubular fittings]. Moscow, Transzheldorizdat, 1945. 105 p.
4. Rosnovsky V. A., Lipatov A. F. Issledovanie trub, zapolnennykh betonom [Investigation of pipes filled with concrete]. Zheleznodorozhnoe stroitelstvo [Railway construction]. 1952. № 11. P. 27–30.
5. Rosnovsky V. A. Trubobeton v mostostroenii [Pipe concrete in bridge construction]. Moscow, Transzheldorizdat, 1963, 110 p.
6. Gvozdev A. A. Opredelenie velichiny razrushayushchey nagruzki dlya staticheskii neopredelimykh sistem [Determination of the magnitude of the destructive load for statically undetectable systems]. Proekt i standart [Project and standard]. 1934, № 8. P. 19.
7. Dolzhenko A. A. Issledovanie soprotivleniya trubobetona osevomu szhatiyu [Investigation of the resistance of pipe concrete to axial compression]. Teoriya sooruzheniy i konstruktsiy [Theory of structures and structures]. Trudy Voronezhskogo ISI. 1964. Issue 1. P. 3-23.
8. Krishan A. L., Zaikin A. I., Kupfer M. S. Opredelenie razrushayushchey nagruzki szhatykh trubobetonnykh elementov [Determination of the destructive load of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008, № 2. P. 22–25.
9. Kikin A. I., Sanzharovsky R. S., Trul V. A. Konstruktsii iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom [Structures made of steel pipes filled with concrete]. Moscow, Stroyizdat, 1974, 144 p.
10. Storozhenko L. I., Plakhotny P. I., Chyorny A. Ya. Raschyot trubobetonnykh konstruktsiy [Calculation of pipe-concrete structures]. Kiev, Budivelnik, 1991, 120 p.



11. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. ICE Proceedings Civil Engineering 144(6).
12. Gardner N. J., Jacobson E. R. Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tube // ACI Journal, 1967. P. 404–413.
13. Jayalekshmi S. A., Sankar Jegadesh J. S. Comparative Study on Design Principles of Circular Concrete Filled Steel Tubular Columns // Proceedings to the ICIDRET, 2014. P. 133–137.
14. Schneider S. P. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes // Journal of Structural Engineering, 1998. Vol. 124. Issue 10. P. 1125–1138.
15. Kuranovas A., Goode D., Kvedaras A., Zhong S. Load-Bearing Capacity Of Concrete-Filled Steel Columns // Journal Of Civil Engineering And Management, 2009. P. 21–33.
16. Skvortsov N. F. Prochnost staleytrubobetona [Strength of steel-reinforced concrete]: diss. ... kand. tekhn. nauk. Akademiya arkhitektury SSSR. Nauchno-issled. in-t stroit. tekhniki. Moscow, 1953, 453 p.
17. Knowles R., Park R. Strength of concrete-filled steel tubular columns // Journal of the Structural Division ASCE, 1969. Vol. 95(12). P. 2565–2587.
18. Sakino K., Tomii M., Watanabe K. Sustaining load capacity of plain concrete stub columns by circular steel tubes // Proceeding of the International Specialty Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures, 1985. P. 112–118.
19. Cai S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures // Shanghai, China Communication Press, 2003, 358 p.
20. Krishan A. L. Prochnost trubobetonnykh kolonn s predvaritelno obzhatym yarom [Strength of pipe-concrete columns with pre-compressed spring] : diss. ... dok. tekhn. nauk. Magnitogor. gos. tekhnich. un-t im. G.I. Nosova. Magnitogorsk, 2011, 380 p.
21. Morino S., Tsuba S. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology, 2005. Vol. 4. Issue 1. P. 51–73.
22. 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. Issue 3. P. 353–364.
23. Krishan A. L., Zaikin A. L., Kupfer M. S. Opredelenie razrushayushchey nagruzki szhatykh trubobetonnykh elementov [Determination of the destructive load of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008, № 2. P. 22–25.
24. Rezvan I. V. Trubobetonnye kolonny iz vysokoprochnogo samouplotnyayushchegosya napryagayushchego betona [Pipe-concrete columns made of high-strength self-compacting straining concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Rostov. gos. stroit. un-t. Rostov-on-don, 2012, 202 p. – URL: [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01005495521.pdf](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005495521.pdf).
25. Martirosov G. M., Shakhvorostov A. I. Trubobetonnye elementy iz betona na napryagayushchem tsemente [Pipe-concrete elements made of concrete on straining cement]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2001, № 4. P. 12–13.
26. Astafeva M. A. Prochnost staleytrubobetonnykh kolonn so spiralnym armirovaniem betona [Strength of steel-reinforced concrete columns with spiral reinforcement of concrete] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Donskoy gos. tekhnich. un-t. Rostov-on-don, 2019, 143 p. – URL: [https://viewer.rusneb.ru/ru/000199\\_000009\\_008589642?page=1&rotate=0&theme=white](https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_008589642?page=1&rotate=0&theme=white).
27. Efimenko V. I., Sukhan A. P., Sukhan S. P. Opyt proektirovaniya stroitelnykh konstruksiy iz stalnykh trub, zapolnennykh tsentrifugirovannym betonom [Experience in designing building structures made of steel pipes filled with centrifuged concrete]. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, Materials science, Mechanical engineering]. Krivoy Rog, 2008. P. 194–199.
28. Efimenko V. I., Storozhenko L. I. Deformativnost tsentrifugirovannykh trubobetonnykh elementov [Deformability of centrifuged tubular concrete elements].





Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, Materials science, Mechanical engineering]. Kiev : Спрумыкеф khvilya, 2001. P. 280–284.

29. Efimenko V. I. Opyt proektirovaniya trubobetonnykh konstruksij s tsentrifugirovannym betonnyim yadrom [Experience in designing pipe-concrete structures with a centrifuged concrete core]. Vestnik Krivorozhskogo natsionalnogo universiteta [Bulletin of the Krivoy Rog National University]. 2013. Vol. 35. P. 152–155.

30. Kovryga C. B. Prochnost i deformativnost pri osevom szhatii stalnykh trub, zapolnennykh vysokoprochnym betonom [Strength and deformability under axial compression of steel pipes filled with high-strength concrete] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Nauchno-issled., proektno-konstruk. i tekhnologich. in-t betona i zhelezobetona. Moscow, 1992, 149 p. – URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_000074746/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000074746/).

31. Fonov V. M., Lyudkovsky I. G., Nesterovich A. P. Prochnost i deformativnost trubobetonnykh elementov pri osevom szhatii [Strength and deformability of pipe concrete elements under axial compression]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1989, № 1. P. 4–6.

32. Fonov V. M., Makaricheva N. V. Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov [Investigation of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1984, № 7. P. 22–24.

33. Lyudkovsky I. G., Fonov V. M., Makaricheva N. V. Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov, armirovannykh vysokoprochnoy prodolnoy armaturoy [Investigation of compressed pipe-concrete elements reinforced with high-strength longitudinal reinforcement]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1980, № 7. P. 17–19.

34. Nesterovich A. P. Prochnost trubobetonnykh elementov diametrom 500 mm i bolee pri osevom szhatii [Strength of pipe concrete elements with a diameter of 500 mm or more under axial compression] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Nauchno-issled., proektno-konstruk. i tekhnologich. in-t betona i zhelezobetona. Moscow, 1987, 236 p.

35. Nesvetaev G. V., Rezvan I. V. Otsenka prochnosti trubobetona [Assessment of the strength of pipe concrete]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental research]. 2011, № 12-3. P. 580–583.

36. Gvozdev A. A. Raschyot nesushchey sposobnosti konstruksiy po metodu predelnogo ravnesiya [Calculation of the load-bearing capacity of structures by the method of limit equilibrium]. Moscow, Gosstroyizdat, 1949, 280 p.

37. Dolzhenko A. A. K teorii raschyota trubobetona [To the theory of calculation of pipe concrete]. Teoriya sooruzheniy i konstruksiy [Theory of structures and structures]. Trudy Voronezhskogo ISI. 1964. Issue 1. P. 24–33.

38. Sakino K., Xiao Y., Tomii M. Elastic-Plastic Behavior of Concrete Confined in Circular Steel Tube or Spiral Reinforcement // Proc. of the 3-rd Int. Conf. on Steel-Concrete Composite Structures. Fukuoka, Japan, 1991. P. 67–73.

39. Tomii M., Yoshimura K., Morishita Y. Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Columns under Concentric Loading // Proc. Int. Colloquium on Stability of Structures under Static and Dynamic Loads, 1977. P. 718–741.

40. Snegireva V. A. Sovershenstvovanie metodov modelirovaniya i raschyota predvaritelno napryazhyonnykh trubobetonnykh stoek transportnykh sooruzheniy [Improvement of methods of modeling and calculation of prestressed pipe-concrete racks of transport structures] : spetsialnost 2.1.8. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Surgut. gos. un-t. Surgut, 2021, 199 p.

41. SP 266.1325800.2016 Konstruksii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya [Steel-reinforced concrete structures. Design Rules] : svod pravil : utverzhdyon Prikazom Minva stroit-va i zhilishchno-kommunal. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2016 g. № 1030/pr : data vved. 01 iyulya 2017 g. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 16.10.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).



42. Dolzhenko A. A. Trubchataya armatura v zhelezobetone [Tubular reinforcement in reinforced concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moskovsk. inzhenerno-stroit. in-t im. V V. Kuybysheva. Moscow, 1967, 413 p.
43. Kuznetsov K. S. Prochnost trubobetonnykh kolonn s predvarietlno obzhatym yadrom iz vysokoprochnogo betona [Strength of pipe-concrete columns with a pre-compressed core of high-strength concrete] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Magnitogor. gos. tekhnich. un-t im. G. I. Nosova. Magnitogorsk, 2007, 152 p.
44. Abed F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) // *Journal of Constructional Steel Research*, 2013. Issue 80. P. 429–439.
45. Singh N. D., Vaghmarey Sh. Study and Buckling Analysis of Concrete Filled Steel Tubes Columns using ANSYS // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2018. Vol. 05. Issue 12. P. 1259–1267.
46. Gupta P. K., Sarda S. M., Kumar M. S. Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads // *Journal of Constructional Steel Research*, 2007. Vol. 63. P. 182–193.
47. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 2. Raschyot trubobetonnykh konstruksiy s metallicheskoy obolochkoy [On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell made of different materials. Part 2. Calculation of pipe-concrete structures with a metal shell]. *Naukovedenie [Science Studies]. Internet-zhurnal*, 2015. P. 1–32.
48. Galagurya E. I. Napryazhyonno-deformirovannoe sostoyanie stalebetonnykh kolonn pri razlichnykh skhemakh nagruzheniya [Stress-strain state of steel-concrete columns under various loading schemes] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Kharkov, 2008, 120 p.
49. Sanzharovsky R. S. Teoriya i raschyot prochnosti i ustoychivosti elementov konstruksiy iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom [Theory and calculation of strength and stability of structural elements made of steel pipes filled with concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1977, 453 p.
50. Furlong R. W. Design of steel-encased concrete beam-columns // *Proc. ASCE*, 1968. Vol. 94. P. 267–281.
51. Johnson R. S. Concrete-Filled Steel Tubes // *Composite Structures of steel and Concrete*, 1984. Vol. 1. Chapter 5. P. 171–177.
52. Takeo N. Experimental Study on Concrete Filled Steel Pipe under Eccentric Axial Load // *Transactions of The Architectural Institute of Japan, Extra, Summaries of Technical Papers of Annual meeting of A. I. J. Japan*, 1965, 333 p.
53. Zhong S. Concrete-filled steel Tubes under Excentric Loading // *Experiments and Analysis, Dianti Jianshekeji Daobao*, 1979. Vol. 1.
54. Zhou C. Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading // *Journal of Harbin Institute of Civil Engineering*, 1982. Vol. 4. P. 29–46.
55. Muciaccia G., Giussani F., Rosati G., Mola F. Response of self-compacting concrete filled tubes under eccentric compression // *Journal of Constructional Steel Research*, 2011. Vol. 67(5). P. 904–916.
56. Kedziora S., Anwaar M. O. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2019.
57. Liu F. Q., Gardner L., Yang H. Post-fire behaviour of reinforced concrete stub columns confined by circular steel tubes // *Journal of Constructional Steel Research*, 2014. Vol. 102. P. 82–103.
58. Jiang S. F., Wu Z. Q., Niu D. S. Experimental study on fire-exposed rectangular concrete-filled steel tubular (CFST) columns subjected to bi-axial force and bending // *Advances in Structural Engineering*, 2010. Vol. 13. P. 551–560.



59. Lu H., Han L. H., Zhao X. L. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: experiments // *Fire Safety Journal*, 2010. Vol. 45(2). P. 106–115.

60. Arleninov P. D., Krylov S. B., Smirnov P. P. Raschyotno-eksperimentalnye issledovaniya izgibaemykh trubobetonnykh konstruktsiy [Computational and experimental studies of bent pipe-concrete structures]. *Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* [Earthquake-resistant construction. Safety of structures]. 2017. № 4. P. 34–38.

61. Astankov K. Yu., Ovchinnikov I. G. Tendentsii primeneniya trubobetonnykh konstruktsiy dlya stroitelstva malyykh mostov [Trends in the use of pipe-concrete structures for the construction of small bridges]. *Molodyozh i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii* [Youth and scientific and technological progress in the road industry of the South of Russia]: *Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchyonykh*. Volgograd, 2021. P. 109–117.

62. Kazimagomedov F. I. Effektivnye trubobetonnye izgibaemye elementy [Efficient pipe-concrete bendable elements] : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Kharkov, 2015, 20 p.

63. Ovchinnikov I. G., Paryshev D. N., Ilyakov A. V. [et al.]. Povyshenie nagruzochnoy sposobnosti trubobetonnoy balki [Increasing the load capacity of a pipe concrete beam]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2019. № 4. P. 58–66.

64. Yakupova L. Z., Astankov K. Yu., Ovchinnikov I. G. O vozmozhnosti primeneniya svoda pravil SP 266.1325800.2016 «Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya» dlya proektirovaniya trubobetonnykh konstruktsiy v malom mostostroenii [About the possibility of applying the code of rules of SP 266.1325800.2016 "Steel-reinforced concrete structures. Design rules" for the design of pipe-concrete structures in small bridge construction]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2023. № 2. P. 112–121.

65. Surdin V. M. Issledovanie napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetonnykh elementov pri osevom zagruzhении s uchyotom reologicheskikh protsessov [Investigation of the stress-strain state of pipe-concrete elements under axial loading, taking into account rheological processes] : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Odessa, 1970, 21 p.

66. Krishan A. L. Novy podkhod k otsenke prochnosti szhatykh trubobetonnykh elementov [A new approach to assessing the strength of compressed pipe concrete elements]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2008. № 3. P. 2–5.

67. Lui J., Zhou X., Gan D. Effect of friction on axially loaded stub circular tubed columns // *Advances in Structural Engineering*, 2016. Vol. 19(3).

68. Li P., Zhang T., Wang Ch. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression // *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. Vol. 2018. P. 1–15.

69. Astankov K. Yu., Permikin A. S., Ovchinnikov I. G. Analiz vozmozhnosti primeneniya rossiyskikh norm proektirovaniya staletrubobetonnykh konstruktsiy v malom mostostroenii [Analysis of the possibility of applying Russian standards for the design of steel-reinforced concrete structures in small bridge construction]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2022. № 2. P. 53–63.

70. Tao Z., Han L. H., Wang L. L. Compressive and flexural behavior of CFRP repaired concrete-filled steel tubes after exposure to fire // *Journal of Constructional Steel Research*, 2007. Vol. 63(8). P. 1116–1126.

71. Nuradinov B. N. Ognestoykost staletrubobetonnykh kolonn [Fire resistance of steel-reinforced concrete columns] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1994, 201 p.

72. Hicks S. J. Design guide for SHS concrete filled columns // *Corus Tubes Structural & Conveyance Business*, 2005, 62 p.



73. Brett C. G., Cenk T., Mark D. D. A Synopsis of Studies of the Monotonic and Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Members, Connections, and Frames // Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008, 371 p.

74. Mathankumar S., Anbarasan M. Finite Element Analysis of Steel Tubular Section Filled with Concrete // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2016. Vol. 5. Issue 6. P. 11775–11779.

75. Ellobody E. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns // Thin-Walled Structures, 2006. Vol. 44(8). P. 919–930.

76. Dai X. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns // Construction Steel Researches, 2010. Vol. 66(4). P. 542–555.

77. Abed F., AlHamaydeh M., Abdalla S. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) // Journal of Constructional Steel Research, 2013. Vol. 80(130). P. 429–439.

78. Garanzha I. M., Tanasoglo A.V., Voitova Zh. N. Chislennoe modelirovanie trubobetonykh elementov konstruktsiy kruglogo secheniya [Numerical modeling of pipe-concrete elements of round-section structures]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2018. № 6(71). P. 14–18.

79. Ahmed A. D., Guneyisi E. M. Structural performance of frames with concrete-filled steel tubular columns and steel beams: Finite element approach // Advanced Composites Letters, 2019. Vol. 28(5). P. 1–15.

80. Dai X. H., Lam D. N., Jamaluddin Ye. J. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression // Thin-Walled Structures, 2014. Vol. 77. P. 26–35.

© П. А. Хазов, А. К. Ситникова, Е. А. Чибаква, 2023

Получено: 29.09.2023 г.