

## Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений

И.А. Дуванова<sup>1</sup>, И.Д. Сальманов<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

### Информация о статье

УДК 691

Аналитический обзор

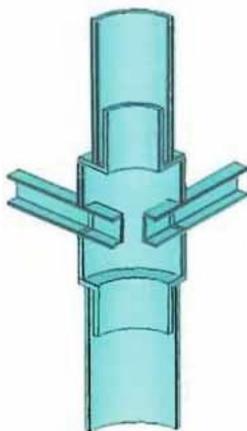
### История

Подана в редакцию 4 мая 2014  
Принята 23 июня 2014

### Ключевые слова

трубобетон,  
трубобетонный элемент,  
композитный материал,  
высотное строительство,  
эксплуатация,  
несущая способность.

### АННОТАЦИЯ



Современное строительство характеризуется увеличением высоты сооружений и пролетов перекрытий. Это требует применения стержней, обладающих высокой несущей способностью при малых поперечных сечениях. Одним из решений этой проблемы является применение трубобетонных конструкций. В статье проведен обзор применения данных конструкций в зарубежных странах. Приводятся основные проблемы их применения в современном строительстве и пути их решения.

### Содержание

Введение	90
Обзор литературы	90
Постановка задачи	90
Опыт других стран	90
Достоинства трубобетонных конструкций	91
Недостатки трубобетонных конструкций	92
Перспективы развития	93
Заключение	93

1

Контактный автор:

+7(921) 799 6988, [duvanova.i@mail.ru](mailto:duvanova.i@mail.ru) (Дуванова Ирина Александровна, бакалавр)

2

+7 (911) 843 3426, [ildussalmanov@gmail.com](mailto:ildussalmanov@gmail.com) (Сальманов Ильдус Динисламович, студент)

## *Введение*

Проблема применения эффективных несущих элементов становится все более актуальной в связи с возросшей тенденцией к возведению высотных зданий и сооружений. Также имеет место снижение веса зданий, уменьшение объема строительных конструкций и общих затрат. Это требует применения стержней в виде стоек и колонн, которые будут способны выдерживать значительные усилия при малых поперечных сечениях.

Одним из решений этой проблемы является применение строительных конструкций из трубобетона. Они представляют собой стальную оболочку (металлическую трубу), заполненную бетоном, образующим внутренне ядро. В такой комбинированной системе наиболее полно используются специфические свойства применяемых материалов, что дает существенную экономию стали и бетона, и как следствие позволяет уменьшить массу и объем всей конструкции, а также сократить общие затраты на строительство.

## *Обзор литературы*

Анализ литературы по данной теме показал, что на сегодняшний день, вопрос, связанный с применением трубобетонных конструкций остается актуальным. Значительный вклад в развитие трубобетонных конструкций внесли такие ученые как Санжаровский Р.С., Росновский В.А., Кикин А.И., Труль В.А., Гвоздев А.А и др. [1, 4-5, 27-28, 32, 88].

Большое внимание трубобетонным конструкциям уделил Кришан А.Л. в своих статьях [6, 9-11, 16].

Изучением особенностей проектирования трубобетонных конструкций занимались [7, 12-15, 55-59, 89-92]. В [24-26, 29-31, 52-54, 60-61, 66-68, 76-81, 84,87] рассматриваются вопросы прочности трубобетонных элементов.

Кришан А.Л. в своей работе [8], изучая мировые тенденции применения сталебетонных конструкций в строительстве и рассматривая различные конструктивные решения, описывает перспективы применения трубобетонных колонн в России.

Несмотря на то, что в научной литературе имеется большое разнообразие публикаций по данной тематике [17-23, 33-51], все же такие конструкции пока не нашли широкого практического применения в строительстве в России.

## *Постановка задачи*

Основная задача – это проведение анализа имеющихся исследований и опыта применения в строительстве зарубежных стран в области трубобетонных конструкций, в том числе выделение основных достоинств и недостатков. Рассмотрение вариантов усовершенствования конструкций трубобетонных элементов.

## *Опыт других стран*

Трубобетонные конструкции эффективно применяются в самых различных областях строительства по всему миру. В частности, в таких ответственных, как мостостроении, строительстве метро, а в последние годы – при строительстве высотных зданий.

В архитектурно-строительном деле трубобетонные конструкции насчитывают более чем 80-летнюю историю своего использования. В Советском Союзе, Европе, США, Японии и других промышленно развитых странах серьезное внимание трубобетонные конструкции привлекли 60 лет тому назад и получили применение в промышленном, городском многоэтажном и высотном строительстве, в многоэтажных уличных развязках и различных специальных сооружениях [7].

В данное время наиболее широко трубобетон используется в Китае, где создана нормативная база его применения в строительстве. По опубликованным данным в течение последних десяти лет в Китае построено уже более 30 небоскребов с колоннами из высокопрочного трубобетона [34]. Некоторые из них расположены в зонах высокой сейсмичности и неоднократно выдерживали мощные удары подземной стихии. Среди них здание небоскреба на площади Сайгэ в Шэньчжэне является на сегодняшний день самым высоким в мире с каркасом из трубобетона. Это многофункциональное комплексное сооружение (рисунок 1) спроектированное и построенное с учетом возможности семи балльного землетрясения [3].

Благодаря технической особенности трубобетона, у которой стальная трубчатая оболочка выступает одновременно в роли опалубки и арматуры, а также жесткого несущего упора, возведение фундамента и подземной части многих зданий в КНР удалось производить методом «обратного хода», без устройства открытого глубокого котлована.



**Рисунок 1. Здание с каркасом из трубобетона на площади Сайгэ в Шэньчжэне, КНР**

По мере бетонирования подземных колонн и перекрытия первого этажа строятся подземные перекрытия по этажам сверху вниз, и одновременно возводится надземная часть здания. Этот метод позволяет сократить общий срок строительства и разрешить ряд проблем, возникающих в связи с его проведением. [54]

### **Достоинства трубобетонных конструкций**

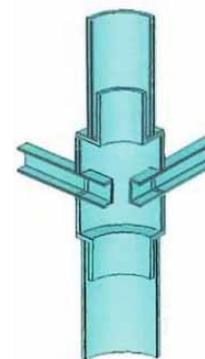
Причиной эффективности трубобетонных конструкций является целый ряд положительных качеств, которыми они обладают.

Их внешняя стальная труба-оболочка, выполняющая одновременно функции как продольного, так и поперечного армирования, способна воспринимать усилия во всех направлениях и под любым углом. Кроме того боковое давление трубы препятствует развитию микротрещин разрыва в бетоне, который, будучи изолированным, стремится увеличить свои размеры в радиальном направлении. Такой эффект обоймы создает идеальные условия для работы бетонного ядра под нагрузкой, тем самым повышая несущую способность всего массива. В результате чего прочность при сжатии возрастает примерно на 50-80%. Стальная труба в свою очередь, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления твердой среды, оказывается в значительной степени, предохраненной от потери

местной и общей устойчивости.

Конструкции из трубобетона очень надежны в эксплуатации. При строительстве высотных зданий и сооружений важным является тот факт, что испытывая большие деформации, они могут еще длительное время выдерживать значительную нагрузку, в то время как железобетонные колонны в таких условиях теряют несущую способность мгновенно [70]. Стоит отметить, что в таких конструкциях возможно использование современных высокопрочных бетонов. Здесь практически преодолевается один из их основных недостатков – высокая хрупкость.

Трубобетонные конструкции сохраняют все преимущества трубчатых металлических конструкций. За ненадобностью опалубочного оборудования (стальная труба уже является опалубочной системой), значительно упрощается монтаж, и улучшаются условия возведения сооружений. Заполнение труб бетоном также не вызывает сложностей технологического характера и осуществляется в основном с помощью насосов. Таким образом, процесс изготовления трубобетонных элементов облегчается и становится выгоднее как по трудозатратам, так и по стоимости. Использование трубобетонных конструкций позволяет вести строительство круглый год: в зимнее время можно выполнять монтаж труб-оболочек, их сварку с закладными деталями, элементами перекрытия (рисунок 2 [2]), а их бетонирование производить весной.



**Рисунок 2. Узел сопряжения трубобетонной колонны с перекрытием**

Наружная поверхность трубобетонных элементов имеет хорошую обтекаемость. Благодаря этому на поверхности не задерживается грязь и влага, поэтому они более коррозионностойки и долговечны. Заполнение стальной трубы бетоном защищает ее внутреннюю поверхность от коррозии и повышает сопротивление вмятию при ударных воздействиях. Конструкции из трубобетона легче очищать, окрашивать и осматривать, что также повышает их долговечность. Также стоит отметить, что огнестойкость трубобетонных элементов значительно выше, чем металлических, и при величине наружного диаметра 400 мм составляет около 2 часов без какой-либо защиты, а при нанесении защитной оболочки можно обеспечить практически любую требуемую огнестойкость.

Требования технологического процесса производства практически не ограничивают область применения трубобетона. Он хорошо работает в сложном температурно-влажностном режиме, в агрессивной среде, при любых пролетах зданий и сооружений, любом характере производственного оборудования, когда использование обычного железобетона затруднительно.

## *Недостатки трубобетонных конструкций*

Наряду с достоинствами можно отметить и некоторые недостатки трубобетонных конструкций. Наиболее значительным из них является сложность обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Вследствие разницы в коэффициентах поперечной деформации бетона и стали ( $\nu_b \approx 0,18 \div 0,25$ ,  $\nu_s \approx 0,3$ ) при таких условиях бетонное ядро и стальная обойма работают неэффективно [69].

В процессе постепенного увеличения приложенной к трубобетонной конструкции сжимающей силы, ядро и обойма работают совместно только в начальный период времени. Затем внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений. В результате эффект бокового обжатия и соответственно упрочнения бетонного ядра пропадает, и становится невозможным полностью использовать ресурс обжатия стальной оболочки в связи с наличием в ней продольных усилий. Бетон начинает работать отдельно от оболочки в условиях одноосного сжатия, а труба – только как продольная арматура. Фактором, который может способствовать этому процессу, является усадка бетона. Известно, что усадка бетона, твердеющего в стальной трубчатой оболочке, существенно меньше усадки бетона, твердеющего на воздухе. Причем в течение первых лет твердения происходит набухание бетонного ядра [3]. Дальнейшие усадочные деформации зависят от ряда факторов, таких как состав бетонной смеси, климатические параметры внешней среды и геометрические размеры самих трубобетонных элементов.

Таким образом, классический трубобетон представляет собой недостаточно технически совершенную конструкцию. Теоретические исследования, выполненные в этом направлении, подтверждают вывод о том, что стальная труба начинает работать как внешняя обойма только при достижении нагрузок, близких к разрушающим, когда в бетоне начинается процесс микротрещинообразования. Эффект обоймы положительно сказывается только на дальнейшей работе сжатых трубобетонных элементов, блокируя дальнейший рост уже образовавшихся в бетонном ядре трещин и отдалая момент его разрушения [78].

В настоящее время нет общепризнанных инженерных методик расчета несущей способности трубобетонных конструкций с учетом эффекта обоймы, недостаточно экспериментальных данных о работе высокопрочных бетонов в условиях пассивного бокового обжатия.

При описании предельного состояния трубобетонных элементов исходят из того, что при малых нагрузках стальная труба деформируется упруго, а в бетонном ядре начинают проявляться пластические деформации. По мере того, как нагрузка возрастает, в бетоне образуются микротрещины, увеличивается давление между бетоном и косвенной арматурой. При дальнейшем увеличении нагрузки продольные напряжения в трубе достигают предела текучести, в бетонном ядре продолжается образование трещин в плоскостях, параллельных плоскости действующего усилия. Несмотря на значительные деформации, сжатый трубобетонный элемент способен и дальше воспринимать возрастающую нагрузку. Таким образом, совершенствование трубобетонных колонн и разработка новой методики расчета, наиболее полно учитывающей их напряженно-деформированное состояние, является весьма актуальной задачей на данный момент.

При применении трубобетонных конструкций возникает необходимость в дополнительной проработке основных конструктивных узлов сопряжения с другими конструкциями здания. Необходимо учитывать особенности применения таких конструкций при разработке объемно-планировочных решений [10]. Кроме того, трубобетон допустимо применять в нормальных условиях среды с относительной влажностью до 70% и слабоагрессивных воздушных средах. В тяжелых и агрессивных условиях, а также при влажности более 75% требуется применения специальных средств защиты стальной оболочки от коррозии.

Несмотря на то, что работа трубобетонных конструкций при сжатии изучена с достаточной полнотой, работа при изгибе остается не исследованной. Отсутствие рекомендаций по расчету и проектированию изгибаемых трубобетонных элементов также в значительной степени препятствует их широкому внедрению в строительство.

## *Перспективы развития*

В последнее время предпринимаются попытки устранить некоторые конструктивные недостатки трубобетонных элементов.

Совершенствование трубобетонных конструкций связано, во-первых, с применением высокопрочных бетонов, что позволит существенно снизить размеры поперечных сечений, а следовательно, и общие затраты на строительство, и, во-вторых, с обеспечением наиболее благоприятных условий совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки на всех этапах нагружения [2].

Одним из способов усовершенствования трубобетонных конструкций является применение в них бетона, твердеющего под воздействием прессующего давления. За счет приложения избыточного давления на бетонную смесь значительно увеличиваются прочностные и деформативные свойства бетона. В процессе прессования бетонной смеси при изготовлении сталетрубобетонных элементов внешняя стальная оболочка получает предварительное растяжение и после сброса прессующего давления обжимает бетонное ядро.

В России разработаны основы технологии индустриального строительства любых типов домов, в том числе и для высотного строительства, разворачивающегося в Москве. Суть новых технологий в сочетании применения двух подходов - возведения каркасов здания из трубобетона, а ограждающих конструкций с применением нового материала "Капсимэт", что используется в высотном строительстве, и в частности для реализации крупнейшей городской строительной программы "Новое кольцо Москвы".

Широкое применение трубобетонных конструкций в России сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию и расчету.

## *Заключение*

В результате проведенного анализа было можно сказать, что трубобетонные конструкции имеют множество положительных особенностей. Несмотря на весьма обстоятельные исследования в этой области, надо признать, что до сих пор нет надежной и приемлемой для практического использования расчетной модели трубобетонного сечения в предельном состоянии, адекватно отражающей его специфические особенности. В результате исследования можно сделать вывод, что дальнейшие исследования в этой области необходимы, полезны и перспективны.

## Литература

1. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Трулль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
2. Иноземцев В.Л. Глава IV. Некоторые направления модернизации // Сборник статей и материалов (Принуждение к инновациям: стратегия для России). М.: АНО «Центр исследований постиндустриального общества», 2009. 77-83 с.
3. Етекбаева А.Б. Прочность и деформация трубобетонных сжатых элементов при знакопеременных горизонтальных нагрузках: Дисс.на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец.05.23.01. – Алматы, 2010. 132 с.
4. Гвоздев А.А. Задачи и перспективы развития теории железобетона // Строительная механика и расчет сооружений. 1981. № 6. С. 14-17.
5. Кикин А.И., Трулль В.А., Санжаровский Р.С. К проблеме прочности стальных труб, заполненных бетоном // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1977. № 6. С. 3-7.
6. Кришан А.Л., Сагадатов А.И., Аткишкин И.В. Распределение прессующего давления в толще бетонной смеси // Строительство и образование: сб. науч. тр. Вып. 7. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ». 2004. С. 108-110.
7. Афанасьев А.А., Курочкин А.В. Использование трубобетона в жилищном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 14-15.
8. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 75-80.
9. Катаев В.А. Теоретическое исследование и расчет трубобетонных стержней // Бетон и железобетон. 1993. № 2. С. 26-28.
10. Кришан А.Л. Новое конструктивное решение трубобетонных колонн // III тысячелетие – новый мир: Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. Т. 2. 2006. С. 81-84.
11. Кришан А.Л., Ремнев В.В. Трубобетонные колонны для высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №10. С. 22-24.
12. Курочкин А. В. Возведение каркасных зданий с несущими конструкциями из трубобетонных элементов // Вестник МГСУ. 2010. № 3. С. 82-86.
13. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology. 2005. No. 1. Vol. 4. Pp. 51-73.
14. Узун И. А. Новые технологии возведения зданий из трубобетонных элементов и их расчет // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 2. С. 42-43.
15. Шефер Ю.В., Ордобаев Б.С., Романенко С.В. // Концепция малоэтажного сейсмоустойчивого энергоэффективного строительства. Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С. 76-81.
16. Кришан А.Л., Мельничук А.С. Трубобетонные колонны квадратного сечения // Жилищное строительство. 2012. № 5. С. 19-21.
17. Амирасланов З.А.О. О сцеплении бетонного ядра и стальной оболочки опорного блока платформы // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2009. № 10. С. 16-21.
18. Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д. Методы безопасного производства высокоэффективных строительных материалов для использования в особых условиях эксплуатации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 17. С. 74-82.
19. Санталова Т.Н., Дроженко К.В., Санталов А.Ю. Новые технические решения при строительстве высотных зданий // Сборник научных трудов Sworld. 2010. Т. 23. № 2. С. 21-22.
20. Glazunov Y. (2007). Experimental researches of steel concrete columns at different ways of loading application. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2007. Issue 36. Pp. 108-110.
21. Glazunov Y. (2008). The rise of strength of beton when the reinforcement of constructions is used. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2008. Issue 41. Pp. 129-131.
22. Беккер А.Т., Цимбельман Н.Я. Применение оболочечных конструкций с упругим наполнителем в строительстве // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2010. № 2 (4). С. 27-34.

23. Eden E.F. The Go-con process for large pressed panels. Concrete. 1971. Issue 5. Pp. 149-154.
24. Липатов А.Ф. Исследование прочности трубобетонных элементов / Сб. статей «Труды ЦНИИИС». Вып. 19. М: Трансжелдориздат, 1956. С. 15-25.
25. Людковский И.Г., Фонов В.М., Макаричева Н.В. Исследование сжатых трубобетонных элементов, армированных высокопрочной продольной арматурой // Бетон и железобетон. 1980. № 7. С. 17-19.
26. Маренин В.Ф., Ренский А.Б. Вопросы прочности стальных труб, заполненных бетоном // Материалы по металлическим конструкциям. 1959. № 4. С. 58-64.
27. Росновский В.А. Трубобетон в мостостроении. М.: Трансжелдориздат, 1963. 110 с.
28. Росновский В.А., Липатов А.Ф. Исследование труб, заполненных бетоном // Железнодорожное строительство. 1952. № 11. С. 27-30.
29. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции. Киев: Будивельник, 1978. 81 с.
30. Стороженко Л.И. Прочность и деформативность трубобетонных элементов // Бетон и железобетон. 1980. № 12. С. 8-9.
31. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий // Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.
32. Трулль В.А., Санжаровский Р.С. Экспериментальные исследования несущей способности трубы, заполненной бетоном // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1968. № 3. С. 27-30.
33. Фонов В.М., Макаричева Н.В. Исследование сжатых трубобетонных элементов // Бетон и железобетон. 1984. № 7. С. 22-24.
34. Цай Шаохуай. Новейший опыт применения трубобетона в КНР // Бетон и железобетон. 2001. № 3. С. 20-24.
35. Boyd P.F., Cofer W.F., McLean D.I. (1995). Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading. Journal of ACL 1995. Vol. 92. Issue. 3. Pp. 353-364.
36. Attard M.M., Setung S. (1996). Stress-Strain Relationship of Confined and Unconfined Concrete // ACI Materials Journal, Sep.-Oct., Title no: 93-M49, 1996. Pp. 432-442.
37. Cai S.-H., Jiao Z.-S. (1983). Ultimate strength of concrete-filled steel tube columns: experiment, analysis and design. Institute of structures China Academy of Building Research Beijing. 1983. No. 1. Pp. 56-69.
38. Gardner N.J., Jacobson E.R. (1967). Structural behavior of concrete filled steel tubes. Journal of ACI. 1967. Vol. 64. Issue 7. Pp. 404-413.
39. Georgios G., Lam D. (2004). Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. Journal of Constructional Steel Research. 2004. Vol. 60. Pp. 1049-1068.
40. Gerstle K.H. (1981). Simple formulation of triaxial concrete behavior. Journal of ACI. 1981. Vol. 75, No. 5. Pp. 382-387.
41. Gong C.- J. Lin X. Cai S.- H. (1994). Application of concrete-filled steel tubular columns in tall buildings in earthquake area. Structures Congress XII. Proceedings of the ASCE Structures Congress 94, Atlanta. GA. 1994. Vol. 1. Pp. 146-151.
42. Johnson R.S. (1984). Concrete-Filled Steel Tubes. Composite Structures of steel and Concrete. 1984. Vol.1. Chapter 5. Pp.171-177.
43. Kotsivos M.D. (1980). A mathematical model of the deformational behavior of concrete under generalized stresses based of fundamental material properties. Material of construction. 1980. Issue. 13. Pp. 289-297.
44. Leon R.T., Kim D.K., Hajjar J.F. (2007). Limit State Response of Composite Columns and Beam-Columns Part 1: Formulation of Design Provisions for the 2005 AISC Specification. Eng. Journal. Fourth Quarter. 2007. 341 p.
45. Cai S.-H. (2003). Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Communication Press China. 2003. 358 p.
46. Robins P. L, Kong F. K. (1973). Modified finite element method applied to RG deep beams. Civil engineering and public works review. 1973. Issue 11. Pp.1061-1072.
47. Schneider S.P. (1998). Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. Journal of Structural Engineering, 1998. Vol. 124. Issue 10. Pp. 1795-1805.
48. Sewell J.S. (1902). Columns for Buildings. Engineering News. 1902. Vol. 48. Issue 17. Pp.10-13.

49. Tang C., Zhao B., Zhu H. et. al. (1982). Study on the Fundamental Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubular Columns. Journal of Building Structures. 1982. Vol. 3. Issue 1. Pp. 13-31.
50. Tsuda K., Matsui C., Fujinaga T. (2000). Simplified Design Formula of Slender Concrete-Filled Steel Tubular Beam-Columns. Proceedings, 6th ASCCS Conference on Composite and Hybrid Structures. Los Angeles. 2000. Vol. 1. Pp. 457-464.
51. Zhou C. (1982). Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading. Journal of Harbin Institute of Civil Engineering. 1982. Issue 4. Pp. 29-46.
52. Нормативы китайской ассоциации инженерно-строительных работ. Инструкция по проектированию и строительству трубобетонных конструкций CECS 28:90.
53. Фонов В.М., Нестерович А.П. Прочность и деформативность трубобетонных элементов при осевом сжатии // Бетон и железобетон. 1989. № 1. С. 4-6.
54. Людковский И.Г., Фонов В.М., Макаричева Н.В. Исследование сжатых трубобетонных элементов, армированных высокопрочной продольной арматурой // Бетон и железобетон. 1980. № 7. С. 17-19.
55. Береснев А.С., Большаков А.Ю., Колмогоров Г.Л. Исследование НДС композитной сейсмостойкости трубобетонной колонны // Вестник Пермского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 99-104.
56. Резван И.В., Маилян Д.Р. Несущая способность бетонного ядра трубобетонных колонн // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2011. № 3. С. 18-25.
57. Yu Q., Tao Z., Chen Z.-B. et. al. (2010). Analysis and calculations of steel tube confined concrete (stcc) stub columns. Journal of Constructional Steel Research. 2010. Vol. 66. Issue 1. Pp. 53-64.
58. Liu F.-Q., Yang H. (2010). Fe analysis of fire-resistance performance of concrete filled steel tubular columns under different loading cases. Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology. 2010. Vol. 42. Issue 1. Pp. 201-204.
59. Qian J., Jiang Z., Ji X. (2010). Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. Jianzhu Jiegou Xuebao. Journal of Building Structures. 2010. Vol. 31. Issue 7. Pp. 40-48.
60. Колпишон Э.Ю., Ерошкин С.Б. Новые возможности российской металлургии и некоторые перспективы использования высокопрочных коррозионноустойчивых сталей в строительстве и промышленности // Тяжелое машиностроение. 2013. № 8. С. 24-28.
61. Марков А.И. О пределе прочности бетона при стабилизации факторов варьирования объема заполнителей и размеров пор // Труды ВНИ ИФТРИ. 1976. № 26 (56). С. 67-73.
62. Долженко А. А. Трубобетонные конструкции на строительстве производственного здания // Промышленное строительство. 1965. № 6. С. 23-26.
63. Воскобійник О.П., Пархоменко І.О., Томілін Я.В. Особливості роботи трубобетонних стійок з корозійними пошкодженнями сталеві оболонки // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. - Полтава: Изд-во: ПолтНТУ, 2011. № 1 (29). С. 93-98.
64. Воскобійник О.П. Деякі аспекти надійності стиснутих трубобетонних елементів // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. -Київ: НДІБК, 2006. № 65. С. 152-159.
65. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Київ: Сталь. 2004. 316 с.
66. Митрофанов В.П., Дергам Али Н. Пособие по расчету прочности трубобетонных элементов при осевом сжатии: Монография. Полтава: ПолтНТУ им. Юрия Кондратюка, 2008. 91 с.
67. Мурашкин Г.В. Экспериментальные исследования диаграммы деформирования бетонов на песчано-гравийных смесях различных составов // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья: сб. тр. II Всероссийской научно-техн. конф. / ТГУ. Тольятти. 2009. С. 94-103.
68. Нестерович А.П. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при осевом сжатии: Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец. 05.23.01. – М., 1987. 236 с.
69. Панышин Л.Л., Крашенинников М.В. Опыт реализации неупругой деформационной модели в практических расчетах конструкций высотных зданий // Бетон и железобетон -пути развития: Науч. тр. 2-й Всероссийской (Международной) конф. по бетону и железобетону. Т. 6. М.: Дипак, 2005. С. 249-256.

70. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. Орел, 2007, № 3 (15). С. 53-56.
71. Сахаров А.А. Несущая способность трубобетонных элементов с бетоном, твердеющим под давлением: Дисс на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец. 05.23.01. – Самара, 1991. 159 с.
72. Стороженко Л.И. Эффективность сжатых элементов с различными способами армирования // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1981. № 6. С. 26-29.
73. Стороженко Л.И., Плахотный П.И. Центральное сжатие облегченного трубобетонного элемента // Строительная механика и расчет сооружений. 1986. № 6. С. 45-48.
74. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Дядюра В.В. Центральное сжатие трубобетонного элемента прямоугольного поперечного сечения // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1986. № 9. С. 5-9.
75. Сурдин В.М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов. Автореф. Дисс. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1970. 21 с.
76. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 13-15.
77. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А. Оценка несущей способности сталебетонных колонн квадратного поперечного сечения под действием осевой нагрузки // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2009. № 4. С. 71-76.
78. Лукша Л.К. К расчету прочности бетона в обойме // Бетон и железобетон, 1973, № 1. С. 23-25.
79. Михайлов В.В. Трехосно-преднапряженные элементы // Бетон и железобетон, 1970. № 5. С. 1-6.
80. Пак А.П. О теории прочности хрупких материалов // Сб. докл. по гидротехнике. М.: Госэнергоиздат, 1963. № 5. С. 18-21.
81. Яшин А.В. Макромеханика разрушения бетона при сложных (многоосных) напряженных состояниях // Прочностные и деформативные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1981. С.3-29.
82. Bellamy C.I. Strength of concrete under combined stress // Journal of ACI. 1971. No. 8. Pp. 642-647.
83. Mills L.L., Zimmerman R.M. (1970). Compressive strength of plain concrete under multi-axial loading conditions. Journal of ACI. 1970. Issue 10. Pp. 802-807.
84. Рутгерс Т.Я. Теория прочности бетона при сжатии. М.: Стройиздат. 1939. 79 с.
85. Васильев А.П., Матков Н.Г. Работа внецентренно-сжатых железобетонных элементов с косвенным армированием // Теория железобетона. М.: Стройиздат. 1972. С. 101-111.
86. Крылов С.М., Коровин Н.Н. Исследование стыка элементов сборного железобетонного каркаса // Строительная промышленность. 1955. № 6. С. 33-36.
87. Касимов Р.Г. Прочность бетона при трехосном неравномерном сжатии // Бетон и железобетон. 1977. № 10. С. 27-28.
88. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / под ред. Гвоздева А.А. М.: Стройиздат. 1978. 297 с.
89. Гамаюнов Е.И., Смирнов Н.В. Влияние поперечной арматуры на несущую способность конструкции // Транспортное строительство. 1968. № 12. С. 14-15.
90. Chah S.P., Naamam A.E., Moreno I. (1983). Effect of confinement on the ductility of lightweight concrete // Inter. Journal of Cement Composite a Lightweight Concrete. 1983. Vol.5. Issue 1. Pp. 15-25.
91. Sheikh S.A., Urumeri S.M. (1982). Analitical model model for concrete confinement in tied columns // Journal of the Structural Division. 1982. Vol. 108. Issue 12. Pp. 2707-2722.
92. Kupfer H.B., Hilsdorf H.K., Rusch H. (1969). Behavior of concrete under biaxial stresses. Journal of ACI. 1969. Issue 8. Pp. 656-666.
93. СТО 36554501-025-2011 «Трубобетонные колонны».

## Concrete-filled steel tube columns in construction high-rise building and structures

I.A. Duvanova<sup>1</sup>, I.D. Salmanov<sup>2</sup>

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

### ARTICLE INFO

#### Analytical review

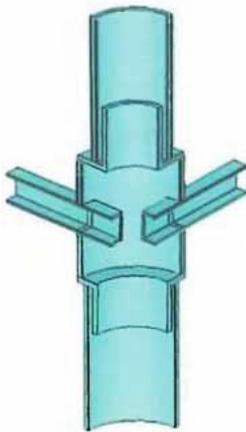
### Article history

Received 4 May 2014  
Accepted 23 June 2014

### Keywords

tube-reinforced concrete,  
tube-reinforced concrete element,  
composite material,  
high-rise building,  
exploitation,  
bearing capacity.

### ABSTRACT



Modern construction is characterized by an increase in height of buildings and spans of overlaps, etc. This requires the use of columns having a high load bearing capacity at small cross-sections. One of solutions to this problem is to use concrete-filled steel structures. The article provides an overview of the application of these structures in foreign countries. The basic advantages and disadvantages of concrete-filled steel structures are stated. The basic problems of their application in modern construction and ways of their solution are given.

<sup>1</sup> Corresponding author:  
+7(921) 799 6988, duvanova.i@mail.ru (Irina Aleksandrovna Duvanova, B.Sc.)  
<sup>2</sup> +7 (911) 843 3426, ildussalmanov@gmail.com (Ildus Dinislamovich Salmanov, Student)

## References

1. Kikin A.I., Sanzharovskii R.S., Trull' V.A. (1974). *Konstruktsii iz stal'nykh trub, zapolnennykh betonom* [Construction of steel pipes filled with concrete] Moscow: Stroizdat, 1974. 144 p. (rus)
2. Inozemtsev V.L. Glava IV. (2000). *Nekotorye napravleniya modernizatsii* [Some directions of modernization] // *Sbornik statei i materialov (Prinuzhdenie k innovatsiyam: strategiya dlya Rossii)*. Moscow: ANO «Tsentri issledovaniy postindustrial'nogo obshchestva», 2009. Pp. 77-83. (rus)
3. Etekbayeva A.B. (2010). *Prochnost' i deformatsiya trubobetonnykh szhatykh elementov pri znakoperemennykh gorizontal'nykh nagruzkakh* [Strength and deformation of pipe-concrete struts under alternating horizontal loads] PhD Dissertation. – Almaty, 2010. 132 p. (rus)
4. Gvozdev A.A. (1981). *Zadachi i perspektivy razvitiya teorii zhelezobetona* [Challenges and prospects of development of the theory of reinforced concrete] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 1981. Issue 6. Pp. 14-17. (rus)
5. Kikin A.I., Trull' V.A., Sanzharovskii P.C. (1977). *K probleme prochnosti stal'nykh trub, zapolnennykh betonom* [Problem of strength of steel pipes filled with concrete]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1977. No. 6. Pp. 3-7. (rus)
6. Krishan A.L., Sagadatov A.I., Atkishkin I.V. (2004). *Raspredelenie pressuyushchego davleniya v tolshche betonnoi smesi* [Pressing pressure distribution in the thickness of concrete]. *Stroitel'stvo i obrazovanie: sb. nauch. tr. Vyp. 7. Ekaterinburg: GOU VPO «UGTU-UPI»*. 2004. Pp. 108-110. (rus)
7. Afanas'ev A.A., Kurochkin A.V. (2011). *Ispol'zovanie trubobetona v zhilishchnom stroitel'stve* [The use of pipe-concrete in residential construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. Issue 3. Pp. 14-15. (rus)
8. Krishan A.L. (2009). *Trubobetonnye kolonny dlya mnogoetazhnykh zdaniy* [Pipe-concrete columns for multistory buildings]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsii i sooruzhenii*. 2009. Issue 4. Pp. 75-80. (rus)
9. Kataev V.A. (1993). *Teoreticheskoe issledovanie i raschet trubobetonnykh sterzhnei* [Theoretical study and calculation pipe-concrete rods]. *Beton i zhelezobeton*. 1993. Issue 2. Pp. 26-28. (rus)
10. Krishan A.L. (2006). *Novoe konstruktivnoe reshenie trubobetonnykh kolonn*. [New design pipe-concrete columns] *III tisyacheletie -novyi mir: Trudy mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2006. Vol. 2. Pp. 81-84. (rus)
11. Krishan A.L., Remnev V.V. (2009). *Trubobetonnye kolonny dlya vysotnykh zdaniy*. [Pipe-concrete columns for high rise buildings] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2009. Issue 10. Pp. 22-24. (rus)
12. Kurochkin A. V. (2010). *Vozvedenie karkasnykh zdaniy s nesushchimi konstruktsiyami iz trubobetonnykh elementov* [Modular frame buildings with load-bearing structures of the pipe-concrete elements]. *Vestnik MGSU*. 2010. Issue 3. Pp. 82-86. (rus)
13. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan // *Earthquake and Engineering Seismology*. 2005. No. 1. Vol. 4. Pp. 51-73.
14. Uzun I. A. (2006). *Novye tekhnologii vozvedeniya zdaniy iz trubobetonnykh elementov i ikh raschet*. [Newest construction technology of pipe-concrete building elements and their calculation] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2006. Issue 2. Pp. 42-43. (rus)
15. Shefer Y.V., Ordobaev B.S., Romanenko S.V. (2012). *Kontseptsiya maloetazhnogo seismoustoichivogo energoeffektivnogo stroitel'stva*. [The concept of low-rise earthquake-proof energy-efficient construction] *Vestnik nauki Sibiri*. 2012. Vol. 6. Issue 5. Pp. 76-81. (rus)
16. Krishan A.L., Mel'nichuk A.S. (2012). *Trubobetonnye kolonny kvadratnogo secheniya* [Pipe-concrete columns of square section]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2012. Issue 5. Pp. 19-21. (rus)
17. Amiraslanov Z.A.O. (2009). *O stseplenii betonnogo yadra i stal'noi obolochki opornogo bloka platform*. [About clutch concrete core and the steel shell of the support block platform] *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2009. Issue 10. Pp. 16-21. (rus)
18. Sidel'nikova O.P., Kozlov Yu.D. (2006). *Metody bezopasnogo proizvodstva vysokoeffektivnykh stroitel'nykh materialov dlya ispol'zovaniya v osobykh usloviyakh ekspluatatsii*. [Safe production methods of high-performance building materials for use in special environments] *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2010. Issue 17. Pp. 74-82. (rus)

19. Santalova T.N., Drozhenko K.V., Santalov A.Yu. (2010). *Novye tekhnicheskie resheniya pri stroitel'stve vysokotnykh zdaniy* [New technical solutions in the construction of high rise buildings] *Sbornik nauchnykh trudov Sworld*. 2010. Vol. 23. No. 2. Pp. 21-22. (rus).
20. Glazunov Y. (2007). Experimental researches of steel concrete columns at different ways of loading application. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2007. Issue 36. Pp. 108-110.
21. Glazunov Y. (2008). The rise of strength of beton when the reinforcement of constructions is used. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2008. Issue 41. Pp. 129-131.
22. Bekker A.T., Tsimbelman N.Y. (2010). Construction applications of elastic core shell structures. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2010. Vol. 4 Issue 2. Pp. 27-34. (rus)
23. Eden E.F. The Go-con process for large pressed panels. *Concrete*. 1971. №5. Pp. 149-154.
24. Lipatov A.F. (1956). *Issledovanie prochnosti trubobetonnykh elementov*. [Strength of pipe-concrete elements] *Sb. statei «Trudy TsNIIS»*. Vyp. 19. Moscow: Transzheldorizdat, 1956. Pp. 15-25. (rus)
25. Lyudkovskii I.G., Fonov V.M., Makaricheva N.V. (1980). *Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov, armirovannykh vysokoprochnoi prodol'noi armaturoi*. [Study compressed pipe-concrete elements reinforced with high-strength longitudinal reinforcement] *Beton i zhelezobeton*. 1980. Issue 7. Pp. 17-19. (rus)
26. Marenin V.F., Renskii A.B. (1959). *Voprosy prochnosti stal'nykh trub, zapolnennykh betonom*. [Questions strength steel pipes filled with concrete] *Materialy po metallicheskim konstruktsiyam*. 1959. Issue 4. Pp. 58-64. (rus)
27. Rosnovskii V.A. (1963). *Trubobeton v mostostroenii*. [Pipe-concrete in bridge construction] Moscow: Transzheldorizdat, 1963. 110 p. (rus)
28. Rosnovskii V.A., Lipatov A.F. (1952). *Issledovanie trub, zapolnennykh betonom* [Investigation of pipes filled with concrete]. *Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo*. 1952. Issue 11. Pp. 27-30. (rus)
29. Storozhenko L.I. (1978). *Trubobetonnye konstruktsii* [Pipe-concrete structure]. Kiev: Budivel'nik, 1978. 81 p. (rus)
30. Storozhenko L.I. (1980). *Prochnost' i deformativnost' trubobetonnykh elementov*. [Strength and deformability of pipe-concrete elements] *Beton i zhelezobeton*. 1980. Issue 12. Pp. 8-9. (rus)
31. Tamrazyan A.G. (2004). *Osobennosti raboty vysokotnykh zdaniy*. [Features of high rise buildings] *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2004. Issue 3. Pp. 19-20. (rus)
32. Trull' V.A., Sanzharovskii P.C. (1968). *Eksperimental'nye issledovaniya nesushchei sposobnosti truby, zapolnennoi betonom*. [Experimental studies of the bearing capacity of the pipe filled with concrete] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1968. Issue 3. Pp. 27-30. (rus)
33. Fonov V.M., Makaricheva N.V. (1984). *Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov*. [Study compressed pipe-concrete elements] *Beton i zhelezobeton*. 1984. Issue 7. Pp. 22-24. (rus)
34. Tsai Shaokhuai. (2001). *Noveishii opyt primeneniya trubobetona v KNR*. [Recent experience in the application of pipe-concrete in China]. *Beton i zhelezobeton*. 2001. Issue 3. Pp. 20-24. (rus).
35. Boyd P.F., Cofer W.F., McLean D.I. (1995). Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading. *Journal of ACL* 1995. Vol. 92. Issue. 3. Pp. 353-364.
36. Attard M.M., Setung S. (1996). Stress-Strain Relationship of Confined and Uncon-fined Concrete // *ACI Materials Journal*, Sep.-Oct., Title no: 93-M49, 1996. Pp. 432-442.
37. Cai S.-H., Jiao Z.-S. (1983). Ultimate strength of concrete-filled steel tube columns: experiment, analysis and design. *Institute of structures China Academy of Building Research Beijing*. 1983. No. 1. Pp. 56-69.
38. Gardner N.J., Jacobson E.R. (1967). Structural behavior of concrete filled steel tubes. *Journal of ACI*. 1967. Vol. 64. Issue 7. Pp. 404-413.
39. Georgios G., Lam D. (2004). Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. *Journal of Constructional Steel Research*. 2004. Vol. 60. Pp. 1049-1068.
40. Gerstle K.H. (1981). Simple formulation of triaxial concrete behavior. *Journal of ACI*. 1981. Vol. 75, No. 5. Pp. 382-387.
41. Gong C.- J. Lin X. Cai'S.- H. (1994). Application of concrete-filled steel tubular columns in tall buildings in earthquake area. *Structures Congress XII. Proceedings of the ASCE Structures Congress 94, Atlanta. GA*. 1994. Vol. 1. Pp. 146-151.
42. Johnson R.S. (1984). *Concrete-Filled Steel Tubes. Composite Structures of steel and Concrete*. 1984. Vol.1. Chapter 5. Pp.171-177.

43. Kotsovos M.D. (1980). A mathematical model of the deformational behavior of concrete under generalized stresses based of fundamental material properties. *Material of construction*. 1980. Issue. 13. Pp. 289-297.
44. Leon R.T., Kim D.K., Hajjar J.F. (2007). Limit State Response of Composite Columns and Beam-Columns Part 1: Formulation of Design Provisions for the 2005 AISC Specification. *Eng. Journal*. Fourth Quarter. 2007. 341 p.
45. Cai S.-H. (2003). *Modern Street Tube Confined Concrete Structures*. Communication Press China. 2003. 358 p.
46. Robins P. L, Kong F. K. (1973). Modified finite element method applied to RG deep beams. *Civil engineering and public works review*. 1973. Issue 11. Pp.1061-1072.
47. Schneider S.P. (1998). Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. *Journal of Structural Engineering*, 1998. Vol. 124. Issue 10. Pp. 1795-1805.
48. Sewell J.S. (1902). Columns for Buildings. *Engineering News*. 1902. Vol. 48. Issue 17. Pp.10-13.
49. Tang C., Zhao B., Zhu H. et. al. (1982). Study on the Fundamental Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubular Columns. *Journal of Building Structures*. 1982. Vol. 3. Issue 1. Pp. 13-31.
50. Tsuda K., Matsui C., Fujinaga T. (2000). Simplified Design Formula of Slender Concrete-Filled Steel Tubular Beam-Columns. *Proceedings, 6th ASCCS Conference on Composite and Hybrid Structures*. Los Angeles. 2000. Vol. 1. Pp. 457-464.
51. Zhou C. (1982). Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading. *Journal of Harbin Institute of Civil Engineering*. 1982. Issue 4. Pp. 29-46.
52. *Normativy kitaiskoi assotsiatsii inzhenerno-stroitel'nykh rabot. Instruktsiya po proektirovaniyu i stroitel'stvu trubobetonnykh konstruktsii CECS 28:90* [Standards Association of Chinese engineering and construction works. Instructions for design and construction of pipe-concrete structures CECS 28:90].
53. Fonov V.M., Nesterovich A.P. (1989). *Prochnost' i deformativnost' trubobetonnykh elementov pri osevom szhatii*. [Strength and deformability of pipe-concrete elements of under axial compression] *Beton i zhelezobeton*. 1989. Issue 1. Pp. 4-6. (rus)
54. Lyudkovskii I.G., Fonov V.M., Makaricheva N.V. (1980) *Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov, armirovannykh vysokoprochnoi prodol'noi armaturoi*. [Investigation of compressed pipe-concrete elements of reinforced with high-strength longitudinal reinforcement] *Beton i zhelezobeton*. 1980. Issue 7. Pp. 17-19. (rus)
55. Beresnev A.S., Bol'shakov A.Yu., Kolmogorov G.L. (2010) *Issledovanie NDS kompozitnoi seismostoikosti trubobetonnoi kolonny*. [Investigation of of seismic stability pipe-concrete composite VAT columns] *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. Issue 1. Pp. 99-104. (rus)
56. Rezvan I.V., Mailyan D.R. (2011). *Nesushchaya sposobnost' betonного yadra trubobetonnykh kolonn*. [Bearing capacity of concrete core pipe-concrete columns] *Vestnik Maikopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2011. Issue 3. Pp. 18-25. (rus).
57. Yu Q., Tao Z., Chen Z.-B. et. al. (2010). Analysis and calculations of steel tube confined concrete (stcc) stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*. 2010. Vol. 66. Issue 1. Pp. 53-64.
58. Liu F.-Q., Yang H. (2010). Fe analysis of fire-resistance performance of concrete filled steel tubular columns under different loading cases. *Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology*. 2010. Vol. 42. Issue 1. Pp. 201-204.
59. Qian J., Jiang Z., Ji X. (2010). Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. *Jianzhu Jiegou Xuebao*. *Journal of Building Structures*. 2010. Vol. 31. Issue 7. Pp. 40-48.
60. Kolpishon E.Y., Eroshkin S.B. (2013). *Novye vozmozhnosti rossiiskoi metallurgii i nekotorye perspektivy ispol'zovaniya vysokoprochnykh korroziionostoikikh stalei v stroitel'stve i promyshlennosti*. [New features of the Russian metallurgy and some prospects for the use of high-strength corrosion-resistant steel in construction and industry] *Tyazheloe mashinostroenie*. 2013. Issue 8. Pp. 24-28. (rus)
61. Markov A.I. (1976). *O predele prochnosti betona pri stabilizatsii faktorov var'irovaniya ob'ema zapolnitelei i razmerov por*. [About tensile strength of concrete at stabilizing factors varying volume fillers and pore size] *Trudy VNI IFTRI*. 1976. Vol 56. Issue 26. Pp. 67-73. (rus)
62. Dolzhenko A. A. (1965). *Trubobetonnye konstruktsii na stroitel'stve proizvodstvennogo zdaniya*. [Pipe-concrete structures in the construction of industrial buildings] *Promyshlennoe stroitel'stvo*. 1965. Issue 6. Pp. 23-26. (rus)

63. Voskobiinik O.P., Parkhomenko I.O., Tomilin Ya.V. (2011). *Osoblivosti roboti trubobetonnykh stiyok z koroziiymi poshkodzhennyami stalevoi obolonki*. [Features the work of trubobetonnykh stiyok korozivnyymi damaged steel shell] *Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo: zb. nauk. prats'*. -Poltava Izd-vo PoltNTU, 2011. Vol. 29. Issue 1. Pp. 93-98. (ukr)
64. Voskobiinik O.P. (2006). *Deyaki aspekty nadiinosti stisnutikh trubobetonnykh elementiv*. [Some aspects of the reliability of compressed trubobetonnykh elements] *Budivel'ni konstruksii: zb. nauk. prats'*. -Kiiv: NDIBK, 2006. Issue 65. Pp. 152-159. (ukr)
65. Semko O.V. (2004). *Imovirnisni aspekty rozrakhunku stalezalizobetonnykh konstruksii: monografiya*. [Imovirnisni aspects calculate stalezalizobetonnykh constructions: monographs.] *Kiiv: Stal'*. 2004. 316 p. (rus)
66. Mitrofanov V.P., Dergam Ali N. (2008). *Posobie po raschetu prochnosti trubobetonnykh elementov pri osovom szhatii*. [Manual for the calculation of the strength of pipe-concrete elements of under axial compression] *Monografiya. Poltava: PoltNTU im. Yuriya Kondratyuka*, 2008. 91 p. (rus)
67. Murashkin G.V. (2009). *Eksperimental'nye issledovaniya diagrammy deformirovaniya betonov na peschano-graviinykh smesyakh razlichnykh sostavov // Gradostroitel'stvo, rekonstruksiya i inzhenernoe obespechenie ustoychivogo razvitiya gorodov Povolzh'ya: sb. tr. 2 Vserossiiskoi nauchno-tekhn. konf. / TGU. Tol'yatti. 2009. Pp. 94-103. (rus)*
68. Nesterovich A.P. (1987). *Prochnost' trubobetonnykh elementov diametrom 500 mm i bolee pri osovom szhatii* [Strength pipe-concrete elements of a diameter of 500 mm or more under axial compression]. Ph.D. Dissertation. – Moscow, 1987. 236 p. (rus)
69. Pan'shin L.L., Krashennikov M.V. (2005). *Opyt realizatsii neuprugoi deformatsionnoi modeli v prakticheskikh raschetakh konstruksii vysotnykh zdaniy*. [Experimental investigations of the strain diagram of concrete on sand-gravel mixtures of different compositions] *Beton i zhelezobeton -puti razvitiya: Nauch. tr. 2-i Vserossiiskoi (Mezhdunarodnoi) konf. po betonu i zhelezobetonu*. Vol. 6. Moscow: Dipak, 2005. Pp. 249-256. (rus)
70. Rimshin V.I., Kustikova Yu.O. (2007). *Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya usilennykh zhelezobetonnykh konstruksii*. [Experience of implementation of inelastic deformation model in practical calculations of structures high rise buildings] *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*. Orel, 2007. No. 3 (15). Pp. 53-56. (rus)
71. Sakharov A.A. (1991). *Nesushchaya sposobnost' trubobetonnykh elementov s betonom, tverdeyushchim pod davleniem* [The bearing capacity of pipe-concrete elements of with concrete hardening under pressure] Ph. D., Dissertation. – Samara, 1991. 159 p. (rus)
72. Storozhenko L.I. (1981). *Effektivnost' szhatykh elementov s razlichnymi sposobami armirovaniya*. [Effectiveness of compression members with different ways of reinforcing] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1981. Issue 6. Pp. 26-29. (rus)
73. Storozhenko L.I., Plakhotnyi P.I. (1986). *Tsentral'noe szhatie oblegchennogo trubobetonnogo elementa*. [Central compression lightweight pipe-concrete element] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 1986. Issue 6. Pp. 45-48. (rus)
74. Storozhenko L.I., Plakhotnyi P.I., Dyadyura V.V. (1986). *Tsentral'noe szhatie trubobetonnogo elementa pryamougol'nogo poperechnogo secheniya*. [Central compression pipe-concrete element of rectangular cross section] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1986. Issue 9. Pp. 5-9. (rus)
75. Surdin V.M. (1970). *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetonnykh elementov pri osovom zagruzhennii s uchedom reologicheskikh protsessov* [Investigation of the stress-strain state pipe-concrete elements of under axial uploading considering rheological processes]. Ph.D. Dissertation. – Odessa, 1970. 21 p. (rus)
76. Chikhladze E.D., Arslankhanov A.D. (1993). *Raschet stalebetonnykh elementov pryamougol'nogo secheniya na prochnost' pri osovom szhatii*. [Calculation of steel-concrete elements of rectangular cross-section strength under axial compression] *Beton i zhelezobeton*. 1993. Issue 3. Pp. 13-15. (rus)
77. Chikhladze E.D., Verevicheva M.A. (2009). *Otsenka nesushchei sposobnosti stalebetonnykh kolonn kvadratnogo poperechnogo secheniya pod deistviem osevoi nagruzki*. [Evaluation of bearing capacity steel-concrete columns of square cross section under axial load] *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2009. Issue 4. Pp. 71 -76. (rus)
78. Luksha L.K. (1973). *K raschetu prochnosti betona v oboime*. [On the calculation of the strength of concrete in a cage] *Beton i zhelezobeton*, 1973, No. 1. Pp. 23-25. (rus)
79. Mikhailov V.V. (1970). *Trekhsno-prednapryazhennye element*. [Triaxial-prestressed elements] *Beton i zhelezobeton*, 1970. No. 5. Pp. 1-6. (rus)

80. Pak A.P. (1963). *O teorii prochnosti khrupkikh materialov*. [About theory of the strength of brittle materials] *Sb.dokl. po gidrotekhnike*. Moscow: Gosenergoizdat, 1963. No. 5. Pp. 18-21. (rus)
81. Yashin A.V. (1981). *Makromekhanika razrusheniya betona pri slozhnykh (mnogoosnykh) napryazhennykh sostoyaniyakh*. [Macromechanics concrete deterioration in complex (multi-axis) states of stress] *Prochnostnye i deformativnye kharakteristiki elementov betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii*. Moscow: NIIZhB, 1981. Pp. 3-29. (rus).
82. Bellamy C.I. Strength of concrete under combined stress // *Journal of ACI*. 1971. No. 8. Pp. 642-647.
83. Mills L.L., Zimmerman R.M. (1970). Compressive strength of plain concrete under multi-axial loading conditions. *Journal of ACI*. 1970. Issue 10. Pp. 802-807.
84. Rutgers T.Ya. (1939). *Teoriya prochnosti betona pri szhatii*. [The theory of compressive strength of concrete] Moscow: *Stroiizdat*. 1939. 79 p. (rus)
85. Vasil'ev A.P., Matkov N.G. (1972). *Rabota vnetsentrenno-szhatykh zhelezobetonnykh elementov s kosvennym armirovaniem. Teoriya zhelezobetona*. [Work eccentrically-compressed concrete elements with lateral reinforcement] Moscow: *Stroiizdat*. 1972. Pp. 101-111. (rus)
86. Krylov S.M., Korovin N.N. (1955). *Issledovanie styka elementov sbornogo zhelezobetonnoho karkasa*. [Investigation of joint precast frame] *Stroitel'naya promyshlennost'*. 1955. Issue 6. Pp. 33-36. (rus)
87. Kasimov R.G. (1977). *Prochnost' betona pri trekhosnom neravnomernom szhatii*. [Strength of concrete under triaxial compression uneven] *Beton i zhelezobeton*. 1977. Issue 10. Pp. 27-28. (rus)
88. *Prochnost', strukturnye izmeneniya i deformatsii betona*. (1978). *Pod red. Gvozdeva A.A.* [Durability, structural changes and deformation of concrete] Moscow: *Stroiizdat*. 1978. 297 p. (rus)
89. Gamayunov E.I., Smirnov N.V. (1968). *Vliyanie poperechnoi armatury na nesushchuyu sposobnost' konstruksii*. [Influence of transverse reinforcement on the bearing capacity of the structure] *Transportnoe stroitel'stvo*. 1968. Issue 12. Pp. 14-15. (rus).
90. Chah S.P., Naamam A.E., Moreno I. (1983). Effect of confinement on the ductility of lightweight concrete. *Inter. Journal of Cement Composite a Lightweight Concrete*. 1983. Vol.5. Issue 1. Pp. 15-25.
91. Sheikh S.A., Urumeri S.M. (1982). Analitical model model for concrete confinement in tied columns. *Journal of the Structural Division*. 1982. Vol. 108. Issue 12. Pp. 2707-2722.
92. Kupfer H.B., Hilsdorf H.K., Rusch H. (1969). Behavior of concrete under biaxial stresses. *Journal of ACI*. 1969. Issue 8. Pp. 656-666.
93. STO 36554501-025-2011 «Трубобетонные колонны» [STO 36554501-025-2011 "Pipe-concrete columns"].