

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №4 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>

DOI: 10.15862/112TVN415 (<http://dx.doi.org/10.15862/112TVN415>)

УДК 624.042

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Россия, Саратов¹

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»

Филиал в г. Сочи

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: BridgeArt@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Россия, Саратов

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»

Филиал в г. Сочи

Профессор

Доктор технических наук

E-mail: BridgeSar@mail.ru

Чесноков Георгий Владимирович

«НИИ Графит» Предприятие госкорпорации «Росатом»
Россия, Москва

Главный специалист Проектного офиса «Строительный кластер»

E-mail: gchesnokov@niigrafit.org

Михалдыкин Евгений Сергеевич

«НИИ Графит» Предприятие госкорпорации «Росатом»
Россия, Москва

Главный инженер по строительству «Отдел строительных проектов»

E-mail: emihaldikin@niigrafit.org

¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние проблемы расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой. Проанализировано более 40 диссертационных работ по исследованию трубобетонных конструкций. Показано, что в России широкое применение трубобетонных конструкций сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию и расчету. Несмотря на весьма обстоятельные исследования в этой области, до сих пор нет надежной и приемлемой для практического использования расчетной модели трубобетонного сечения в предельном состоянии. Поэтому дальнейшие исследования в этой области необходимы, полезны и перспективны.

С 1980 года в Академии строительных наук Китая, проводились большие экспериментально-теоретические исследования трубобетонных колонн из обычных и высокопрочных бетонов и совершенствовались методы их расчета. Поэтому в последние десятилетия трубобетон широко применяется в КНР, где создана нормативная база его массового использования в строительстве.

Идеология возведения трубобетонных конструкций базируется на научных работах российских, украинских и белорусских инженеров и ученых, но в России стандарты и технические условия для ее применения отсутствуют.

В последней части статьи приведено описание двух групп методов расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой и их сравнение. Отмечается, что рассмотренные методы нуждаются в дальнейшем совершенствовании и верификации с использованием экспериментальных данных, что позволит повысить точность расчетов и обеспечить более высокую их надежность.

Ключевые слова: трубобетон; металлическая оболочка; исследования трубобетона; методы расчета трубобетона; несущая способность трубобетона; сравнение методов расчета; трубобетон в мостостроении.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/112TVN415

В первой части [1] приведены сведения о трубобетоне, особенностях работы компонентов трубобетона – металлической оболочки и бетонного сердечника, описаны приемы обеспечения совместной работы металлической трубчатой оболочки и бетонного ядра: приваривание стержней к внутренней поверхности труб, создание предварительного напряжения применением бетона на расширяющемся цементе. Также рассмотрен альтернативный прием – исключение сцепления бетонного ядра с металлической оболочкой. Приведены данные об эффективности трубобетона по сравнению с металлическими и железобетонными конструкциями и кратко освещена история создания трубобетонных конструкций с металлической оболочкой.

Рассмотрен опыт применения трубобетонных конструкций с металлической оболочкой в строительстве, в частности при возведении высотных зданий. Описано применение трубобетона при создании 58-этажного здания в Сиэтле (США), 57-этажного здания в Японии, 46 - этажного здания в Австралии. Более подробно рассмотрен опыт Китая в сфере применения трубобетона для возведения высотных зданий и сооружений (72 - этажного здания, телевизионной башни в Гуанчжоу). Приведены экономические, конструкционные, эксплуатационные и технологические преимущества трубобетонной технологии.

Затем рассмотрен опыт применения трубобетона с металлической оболочкой в транспортном строительстве и отмечена роль российских ученых и инженеров. Описан опыт создания железнодорожного трубобетонного моста через реку Исеть, отмечен значительный вклад Китая в трубобетонное мостостроение. Сделан вывод об эффективности применения трубобетона и в высотном строительстве и в мостостроении и предложено использовать трубобетон с металлическими оболочками из старогородных труб.

Во второй части статьи будет рассмотрена проблема расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой.

1. Состояние проблемы расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой

Предварительный анализ проблемы расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой формирует двоякое представление о состоянии этой проблемы.

С одной стороны, существует довольно много отечественных публикаций по расчету трубобетонных конструкций с металлической оболочкой, в которых утверждается, что проблема расчета трубобетонных конструкций якобы уже решена или вот-вот будет решена [2 - 10].

Например, во введении к книге [3], опубликованной еще в 1974 году, утверждается, что «большое внимание в книге уделено изложению результатов новейших теоретических и экспериментальных исследований, а также корректировке ранее применяемых расчетных формул. Например, прочность трубобетонных стержней при осевом сжатии предлагается проверять с учетом ограничения несущей способности стержней предельно возможной деформацией. Устойчивость центрально и внецентренно сжатых стержней рекомендуется проверять по методике, аналогичной для металлических стержней, с помощью коэффициента $\varphi_{\text{вн}}$, определяемого в функции приведенных гибкостей стержней и приведенных эксцентриситетов приложения продольной силы. Для центрально-сжатых стержней следует применять небольшой эксцентриситет, учитывающий начальные несовершенства. Рассмотрены результаты теоретических и опытных исследований влияния ползучести бетона на несущую способность трубобетонных стержней с точки зрения развития теории выпучивания в условиях ползучести, освещены вопросы устойчивости составных

трубобетонных стержней при кратковременном и длительном нагружении, методы расчета элементов».

Но в следующей книге [6], опубликованной в 1991 году, то есть через 17 лет после [3] говорится, что «широкое применение трубобетонных конструкций в строительстве сдерживается отсутствием литературы по их расчету и проектированию. Предлагаемая книга устранил этот пробел. В ней изложен инженерный метод расчета, позволяющий оценивать изменение напряженно-деформированного состояния конструкций (от начала нагружения до достижения предельного состояния по несущей способности) при комплексном учете свойств материалов, особенностей и специфики сопротивления трубобетона деформированию в зависимости от характера нагрузки. Задача решена как в упругой, так и в пластической стадии. Математическая модель трубобетонной конструкции позволяет при известных физико-механических свойствах материалов вычислять развивающиеся деформации, перемещения и напряжения в зависимости от вида напряженного состояния конструкций». В этой книге для учета упругопластического состояния применен метод переменных модулей упругости. Рассмотрены задачи расчета сжатых и изгибаемых конструкций при длительных и повторных нагрузках. Составлены алгоритмы расчета на ЭВМ.

В последнее время в области расчета трубобетонных конструкций интенсивно работает А.Л. Кришан, опубликовавший книги [9, 10], в которых рассматриваются трубобетонные колонны высотных зданий и трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром и защитивший докторскую диссертацию по этим проблемам [46].

Так как обычно довольно подробный анализ состояния проблемы проводится в диссертационных исследованиях, то рассмотрим кратко некоторые диссертации, посвященные проблеме расчета трубобетонных конструкций. В списке литературы в хронологическом порядке приведены названия диссертаций, посвященных проблеме расчета трубобетонных элементов различного вида и конструкций из них, в период с 1959 года по 2014 год [11 - 49]. К сожалению, проблеме применения трубобетона в мостостроении посвящено значительно меньше диссертационных исследований. Отметим докторскую диссертацию Н.Ф. Скворцова [50], по материалам которой написана книга «Применение сталетрубобетона в мостостроении» [2], а также кандидатские диссертации А.Ф. Липатова [51], и Е.Е. Кузнецовой [52].

Диссертационная работа С.В. Коврыги [35], защищенная в 1992 году, посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию прочности и деформативности сталетрубобетонных элементов с сердечником из высокопрочного бетона повышенной деформативности. В ней приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния на нескольких стадиях нагружения сталетрубобетонных элементов, рассмотрена методика расчета напряженно-деформированного состояния сталетрубобетонных элементов, подвергающихся сжатию; приведена методика расчета сталетрубобетонных элементов с учетом влияния прочности и деформативности бетона, влияния масштабного фактора и коэффициента армирования. В заключении отмечено, что результаты работы будут использованы при разработке «Рекомендаций по расчету и проектированию трубобетонных конструкций». Правда, несмотря на все наши усилия, подобных рекомендаций нам найти не удалось.

В диссертационной работе Б.Н. Нурадинова [36], защищенной в 1994 году, и посвященной исследованию огнестойкости трубобетонных колонн с металлической оболочкой, отмечается, что работа сталетрубобетонных элементов в обычных условиях эксплуатации широко исследована и установлено, эти конструкции в предельном состоянии теряют несущую способность не мгновенно, как железобетонные, а могут длительное время выдерживать эксплуатационную нагрузку. Но без оценки реальных пределов огнестойкости

сталежелезобетона невозможно определить рациональную область их применения, тем более что исследований огнестойкости сталетрубобетона до исследований Б.Н. Нурадинова не проводились. Поэтому в этой диссертации проводилось экспериментальное и теоретическое определение пределов огнестойкости сталетрубобетонных колонн при разном уровне их нагружения, при разных конструктивных особенностях колонн (диаметре, толщине стенки стальной трубы, классе бетона и наличии огнезащитного покрытия). Отмечено, что разработанные рекомендации по уточнению методов расчета пределов огнестойкости сталежелезобетонных колонн позволят в ряде случаев отказаться от проведения трудоемких испытаний.

В диссертации Д.Т. Нугуманова [37], защищенной в 1997 году, отмечается, что конструкции из труб, заполненных бетоном, являются эффективными и широко применяются в странах СНГ и Европы, а также в Японии и США. Они имеют высокую огнестойкость и коррозионную стойкость. Специфика работы бетона в стальной трубе позволяет увеличить несущую способность трубобетона на осевое сжатие до 80% для круглых и до 45% для прямоугольных поперечных сечений за счет трехосного сжатия бетона в обойме. В работе исследуется напряженно-деформированное состояние и устойчивость двухшарнирных трубобетонных арок прямоугольного сечения при кратковременном нагружении. Обращается внимание на то, что задача расчёта арки не может считаться разрешенной полностью, если не учитывается изменение формы оси арки в процессе нагружения, так как даже незначительные упругие перемещения оси арки приводят к заметному отклонению от кривой давления и вызывают появление дополнительных изгибающих моментов. То есть задача расчета арки становится конструктивно нелинейной и требуется учет изменения расчетной схемы в процессе нагружения. В диссертации разработана методика исследования устойчивости и напряженно-деформированного состояния двухшарнирных трубобетонных арок, учитывающая изменение их расчетной схемы под нагрузкой. Результаты расчета хорошо коррелируют с результатами эксперимента. В заключение предложены практические рекомендации по изготовлению и применению двухшарнирных трубобетонных арок.

В диссертации А.И. Шарохвостова [39], защищенной в 2000 году, исследуется напряженно-деформированное состояние трубобетона на напрягающем цементе. Отмечается, что предварительное напряжение в трубобетоне можно создать химическим путем - за счёт энергии расширения бетона на напрягающем цементе. При этом появляется возможность упростить технологию изготовления трубобетона с одновременным получением объёмного предварительного напряжения. Применение напрягающего цемента повышает эксплуатационные качества трубобетона (несущую способность, долговечность).

В диссертационной работе М.Ш. Гареева [40], защищенной в 2004 году, отмечается, что одним из способов усовершенствования трубобетонных конструкций является применение для заполнения трубы бетона, твердеющего под действием прессующего давления, что приводит и к повышению прочности бетона ядра и к его предварительному обжатию.

В диссертации указывается, что, несмотря на множество проведенных исследований трубобетонных конструкций, вопрос о выборе критерия, характеризующего наступление в них предельного состояния, остается открытым. Предлагаемые методики расчета сталетрубобетонных элементов не учитывают реального напряженно-деформированного состояния бетонного ядра и стальной оболочки и часто демонстрируют значительное расхождение с опытными данными. В действующих нормативных документах отсутствуют какие-либо предложения по расчету и проектированию трубобетонных конструкций. Поэтому цель диссертационного исследования заключается в разработке методики расчета прочности

сталетрубетонных элементов с предварительно обжатым ядром, работающих на сжатие в области случайных эксцентриситетов.

В диссертации И.В. Аткишкина [41], защищенной в 2006 году, рассматривается работа сжатых трубетонных элементов с внутренним стальным сердечником в течение длительного времени. Отмечается, что экспериментально-теоретические исследования выявили и недостатки трубетона, одним из которых является отрыв металлической оболочки от бетонного сердечника из-за отличия начальных коэффициентов поперечных деформаций бетона и металла, а также из-за проявления усадочных деформаций бетонного сердечника. Поэтому на начальной стадии загрузки бетонный сердечник работает в условиях одноосного напряженного состояния, что отрицательно сказывается на несущей способности всего трубетонного элемента. Так как трубетон применяется в сооружениях, эксплуатируемых длительное время, то необходимо изучение работы трубетона под длительно действующей нагрузкой, то есть определение такой расчетной характеристики как длительная прочность. В работе указывается, что длительные исследования сталетрубетонных элементов немногочисленны, а исследования предварительно обжатых трубетонных конструкций проведены автором.

Диссертация А.И. Сагадатовой [42], защищенная в 2006 году, посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния сжатых трубетонных элементов с внутренним стальным сердечником. В работе отмечается, что действие на бетон избыточного механического давления повышает прочностные и деформативные свойства бетона, а наружная металлическая оболочка при этом получает предварительное напряжение, повышающее несущую способность трубетона. Также указывается, что практически все трубетонные элементы загружены с эксцентриситетом, причиной появления которого могут быть: неточность изготовления конструкции, погрешности монтажа, неоднородная структура бетона, включающая в себя раковины, поры и т.д. Поэтому актуальны исследования трубетонных конструкций с эксцентриситетом. Обращается внимание, что характер работы трубетона при внецентренном сжатии требует соответствующего подхода к их расчету и конструированию, в то время как в действующих нормативных документах отсутствуют какие-либо предложения по расчету и проектированию трубетонных конструкций с металлической оболочкой. Поэтому в диссертации разрабатывается методика расчета прочности трубетона при действии сжимающей нагрузки, причем с учетом действительного напряженно-деформированного состояния и бетонного сердечника и металлической оболочки.

В диссертации Кузнецова К.С. [43], защищенной в 2007 году, указывается, что отечественные нормативные документы не содержат указаний по расчету прочности и устойчивости сжатых трубетонных элементов, несмотря на то, что прочность трубетона изучалась многими исследователями на протяжении десятков лет. Причем существующие методики расчета существенно отличаются друг от друга и в них не учитываются в комплексе свойства материалов, неполно отражаются основные особенности и специфика сопротивления железобетона деформированию в зависимости от характера действующей нагрузки. Характеризуя предельные состояния трубетонных колонн, исследователи обычно исходят из того, что при небольших нагрузках труба деформируется упруго, а в бетоне начинают проявляться пластические деформации. С возрастанием нагрузки в бетоне образуются микротрещины, при дальнейшем увеличении нагрузки продольные напряжения в трубе достигают предела текучести, в бетонном ядре продолжается образование трещин в плоскостях, параллельных плоскости действующего усилия. И в таком состоянии сжатый трубетонный элемент способен воспринимать возрастающую нагрузку, хотя при этом и наблюдаются весьма значительные деформации. Делается вывод, что дальнейшее совершенствование трубетонных колонн и разработка новой методики расчета,

позволяющей наиболее полно учитывать их напряженно-деформированное состояние, является актуальной задачей.

В докторской диссертации Шеховцева В.А. [45], защищенной в 2010 году, и посвященной обоснованию прочности и устойчивости трубобетонных конструкций опорных блоков морских стационарных платформ при квазистатических и периодических внешних воздействиях, отмечается, что для глубоководных и ледостойких платформ перспективными конструкционными материалами становятся композитные трубобетонные стержневые элементы для решетчатых конструкций и мощные моноподные сталебетонные опорные блоки. Далее говорится, что при всей многочисленности исследований самых разнообразных аспектов поведения трубобетонных опорных элементов платформ, исследователи ограничивались при определении несущей способности таких стержней применением упрощенной расчетной схемы внецентренного сжатия, заменяя действие поперечной нагрузки действием эквивалентных концевых моментов. Указывается, что в случае трубобетонных элементов это вряд ли допустимо, поскольку уже с начальных уровней нагружения начинают сказываться нелинейные эффекты, а результаты расчетов по упрощенной схеме получаются не адекватными действительному уровню его предельного состояния. В связи с этим важно проведение теоретических и экспериментальных исследований работы конструктивных комплексных элементов морских стационарных платформ при одновременном действии продольных и поперечных сил, чему и посвящена диссертация.

Докторская диссертация Кришана А.Л. [46], защищенная в 2011 году, посвящена исследованию проблемы прочности трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром. В работе отмечается, что применение трубобетонных колонн является одним из путей эффективного использования высокопрочных бетонов. При этом трубобетонные колонны имеют значительную жесткость и малые эксцентриситеты приложения продольной силы (характерные для вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий), обладают очень высокой несущей способностью при относительно малых поперечных сечениях. Их применение дает существенную экономию стали и бетона, приводит к уменьшению размеров сечений элементов, их массы и транспортных затрат, при этом сохраняет все достоинства металлических конструкций с точки зрения удобства монтажа.

В диссертации отмечается, что широкому применению трубобетонных колонн в России препятствуют два фактора.

Первый фактор - это отсутствие отечественных норм по их проектированию и расчету трубобетонных конструкций. Существующие методики расчета существенно отличаются друг от друга, не учитывают или же учитывают не в комплексе свойства материалов и особенности сопротивления трубобетонных элементов деформированию, как при кратковременной, так и при длительной нагрузке.

Второй фактор заключается в существенном конструктивном недостатке сжатых трубобетонных элементов, сводящемся к сложности обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. В связи со сказанным цель диссертационной работы сформулирована как решение проблемы повышения эффективности трубобетонных колонн путем усовершенствования их конструкции и разработки комплекса методов расчета прочности, наиболее полно учитывающих особенности напряженно-деформированного состояния бетонного ядра и стальной оболочки при действии как кратковременной, так и длительной нагрузки с позиций единого комплексного подхода. Заметим, что в работе ничего не говорится про разработку отечественных норм по проектированию и расчету трубобетонных конструкций.

Диссертационная работа И.В. Резвана [47], защищенная в 2012 году, посвящена рассмотрению трубобетонных колонн из высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона.

В ней так же, как и в других диссертациях, обращается внимание на то, что в основном преимуществе трубобетона - эффективном сочетании бетонного сердечника и металлической оболочки, содержатся и его недостатки, ибо из-за разницы в коэффициентах Пуассона металла (0,3) и бетона (0,2) в начале нагружения, а также из-за усадки бетона, бетонный сердечник может работать независимо от металлической оболочки даже в условиях замкнутого пространства трубчатой оболочки. В этом случае пропадает эффект бокового обжатия и упрочнения бетонного сердечника и из-за наличия продольных напряжений в оболочке не удается полностью использовать ее ресурс обжатия. При этом меньше половины прочности металлической оболочки используется для создания усилий обжатия в бетонном сердечнике и есть опасность потери локальной устойчивости оболочки при малой толщине стенки. Этот эффект отслоения или слабого контакта между сердечником и оболочкой до начала интенсивного трещинообразования в бетоне сердечника и перехода металла оболочки в пластическую стадию почему-то называют дилатационным эффектом. Хотя обычно под дилатацией бетона понимается возрастание объема материала (образца) при осевом и многоосном сжатии в стадиях близких к разрушению [53]. Как утверждает автор, отсутствие общепризнанных инженерных методик расчета несущей способности трубобетонных конструкций с учетом эффекта обоймы, недостаток экспериментальных данных о работе высокопрочных бетонов в условиях пассивного бокового обжатия предопределяет актуальность исследований по оценке несущей способности трубобетона с применением высокопрочных бетонов (В40 и выше), в том числе на напрягающем цементе.

Диссертационная работа Е.Е. Кузнецовой [52], защищенная в 1993 году, посвящена проблеме расчета и конструирования трубобетонных элементов применительно к объектам транспортного строительства.

В ней отмечается, что перспективным видом конструкций для отрасли транспортного строительства являются трубобетонные конструкции, выполненные из стальных труб, заполненных бетоном. Обращается внимание на то, что при заключении бетона в стальную трубу создается новый тип несущей конструкции - композитный элемент, который наилучшим образом работает при осевом сжатии, однако сохраняет достаточную эффективность и при других видах силовых воздействий. Такая композитная конструкция имеет: высокую прочность вследствие работы бетонного ядра в условиях объемного сжатия; повышенную жесткость вследствие увеличения приведенного модуля упругости элемента за счет модуля упругости металла оболочки; высокую пластичность в предельном состоянии, исключаящую опасность внезапного разрушения конструкции; равноустойчивость благодаря осевой симметрии поперечного сечения. В работе указывается, что исследованиями установлено набухание бетона в трубе вместо ожидаемой усадки, что создает благоприятные условия для его работы. Использование цилиндрических трубобетонных элементов в сооружениях, подверженных ветровым нагрузкам, позволяет снизить эти нагрузки за счет улучшения аэродинамических свойств. В агрессивных условиях эксплуатации трубобетон также эффективен, так как в нем бетон защищен стальной трубой.

Представляет интерес высказывание автора о том, что «главными причинами малого распространения трубобетонных конструкций являются нерешенные проблемы технологии, конструктивных форм, а также отсутствие надежной теории расчета, что объясняется недостаточностью исследований в этой области, хотя прочность данных конструкций изучается уже на протяжении последних 50 лет».

Поэтому в качестве цели работы сформулировано создание непротиворечивого метода расчета трубобетонных элементов на прочность с разработкой предложений по конструктивным решениям для автодорожных мостов. В результате проведенных исследований в работе «предложена обобщенная модель и метод расчета прочности трубобетонных элементов в предельном состоянии, объединяющие все частные случаи работы элементов с различными механическими и геометрическими параметрами и способами приложения нагрузки».

Представляет интерес проведенный автором работы [52] обзор экспериментальных исследований, который показал, что существуют противоречивые суждения о том, как работает оболочка трубобетона в предельном состоянии. Одни авторы работ по трубобетону утверждают, что труба работает в основном только в продольном направлении (В.А. Росновский, А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.Л. Труль), другие - только в поперечном (О.Н. Альперина, В.Ф. Маренин), третьи полагают, что трубобетонный элемент может достичь как «продольной», так и «поперечной» текучести стали оболочки в зависимости от ее толщины. При этом считается, что так называемые «тонкостенные» оболочки в предельном состоянии достигают «поперечной» текучести, а «толстостенные» в предельном состоянии работают в основном как продольная арматура. Из этого авторы, поддерживавшие третью точку зрения (Л.К. Лукша, А.Б. Квядарас), заключают, что чем тоньше труба, тем выше эффективность ее использования.

Также нет единого мнения по вопросу класса бетона, используемого в композитном элементе. А.А. Довженко считает, что в трубобетоне эффективнее применять бетоны низших классов. Такой же вывод вытекает из метода расчета В.М. Сурдина и А.Б. Квядараса. В отличие от них Л.К. Лукша, Л.И. Стороженко, В.В. Ситников, наоборот, считают более эффективным применение высокопрочных бетонов.

Противоречия во мнениях исследователей возникают и при рассмотрении способа приложения нагрузки на трубобетонный элемент. Так Л.И. Стороженко и А.Ф. Липатов, считают, что элементы, у которых нагрузка приложена ко всему сечению или только к бетону, имеют почти одинаковую прочность. С этим мнением не согласен В.Ф. Маренин, который на базе своих экспериментов делает вывод о том, что нарушение сцепления между трубой и бетонным ядром и передача давления в процессе испытания лишь на бетон приводит к увеличению предельной нагрузки.

Завершая этот краткий обзор диссертационных исследований, из которых мы постарались выбрать в основном критические замечания, можно отметить следующее:

- Широкое применение трубобетонных конструкций сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию и расчету. 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. Это и неудивительно, принимая во внимание серьезные и многочисленные трудности, обусловленные сложностью самой системы ядро-оболочка, работающей в условиях объемного сжатия, и сложностью описания процессов перераспределения усилий между компонентами системы в этих условиях. Поэтому можно полагать, что дальнейшие исследования в этой области необходимы, полезны и перспективны [54].
- С 1980 года преимущественно в Академии строительных наук Китая, проводились большие экспериментально-теоретические исследования

трубобетонных колонн из обычных и высокопрочных бетонов и совершенствовались методы их расчета [55-57]. На основе проведенных исследований и опыта строительства была составлена и в 1991 г. опубликована национальная «Инструкция по проектированию и возведению трубобетонных конструкций (SECS 28:90)», из бетона прочностью на сжатие 30-60 МПа [58]. В 1999 г. издана «Техническая инструкция по высокопрочным бетонным конструкциям» (SECS 104:99) из бетона прочностью на сжатие до 80 МПа, в которую включена отдельная глава «Трубобетонные колонны» [59, 60].

- Наиболее широко в последние десятилетия трубобетон начал применяться в КНР, где создана нормативная база его массового использования в строительстве, в значительной степени заимствованная из опыта США, Японии, Великобритании, Германии и Австралии. И хотя вся идеология возведения трубо - сталебетонных конструкций базируется на научных работах российских, украинских и белорусских инженеров и ученых, в России стандарты и технические условия для ее применения отсутствуют [61].

2. Различные подходы к расчету трубобетонных конструкций

В настоящее время заполненные бетоном конструкции могут изготавливаться не только на основе круглых трубчатых оболочек. Возможно применение полигональных трубчатых оболочек холодного формования с различным количеством граней, что уже находит применение в ряде конструкций. Эта перспективная модификация трубобетонных конструкций позволяет расширить спектр проектных решений сталебетонных конструкций (например, при использовании их в качестве опор линий электропередач, особенно расположенных в городах), что увеличивает их эстетические качества.

Качество проектирования и изготовления таких трубобетонных конструкций зависит от нескольких аспектов (наличия соответствующей нормативной базы, накопленного опыта проектирования конструкций этого типа, уровня знаний о поведении трубобетонных конструкций под нагрузкой, квалификации проектировщиков и так далее), каждый из которых оказывает значительное влияние на эффективное функционирование трубобетонных конструкций.

Интерес представляют существующие методики расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой. В [62] отмечается, что сталетрубобетонные конструкции могут рассчитываться с использованием разных подходов: или как железобетонные конструкции с косвенным армированием [63], или с использованием методики приведения бетона к стали [64], с использованием методики Еврокода 4 [65], а также с использованием других методов [3, 4]. К сожалению, в странах СНГ до сих пор отсутствуют нормы расчета трубобетонных конструкций. В [62] проведено сопоставление результатов расчета несущей способности трубобетонной колонны многоэтажного жилого здания, выполненного по разным методикам. Колонна имеет постоянное по высоте сечение и представляет собой стальную трубу из стали ВСтЗкп2-1 с внешним диаметром 530 мм и стенкой толщиной 8 мм, заполненную бетоном класса В30. Расчетная высота колонны 3 м. На колонну действуют следующие нагрузки: продольная сжимающая сила $N = 4257,1$ кН; изгибающие моменты $M_y = 16,6$ кНм, $M_z = 51$ кНм; перерезывающая сила $Q_y = 24$ кН.

Для расчета использовались следующие методики:

1) Приведение трубобетонного сечения к стали [64].

Согласно этому подходу составное поперечное сечение трубобетонной колонны приводится к одному материалу – стали, при этом учитывается, что кроме продольной силы

на колонну действуют и изгибающие моменты, поэтому колонна рассчитывается как внецентренно сжатая. Причем расчет проводится в двух вариантах – с учетом только упругих свойств и с учетом пластических деформаций.

а) При расчете в упругой стадии принимается площадь стали $A_s = 131 \text{ см}^2$, площадь бетона $A_b = 2074 \text{ см}^2$. Расчетное сопротивление стали $R_s = 235 \text{ Мпа}$, бетона $R_b = 17,3 \text{ Мпа}$. Коэффициент приведения $n = E_b/E_s = 0,13$.

Расчет производился по формуле

$$N/A_n \pm M y/I_n \leq R_n \gamma$$

При этом в запас прочности полагалось что при внецентренном сжатии изгибающий момент воспринимается только стальной трубой.

Действующие напряжения оказались равными 138,1 Мпа, что значительно меньше расчетного сопротивления $R_s = 235 \text{ Мпа}$. Коэффициент запаса по прочности $k = 235/138,1 = 1,7$.

б) При расчете с учетом пластических деформаций бетона учитывалось снижение модуля упругости бетона введение коэффициенты $\beta = 0,45$ и потому коэффициент приведения $n = \beta E_b/E_s = 0,06$.

Действующие напряжения оказались равными 198,4 Мпа, что также меньше расчетного сопротивления $R_s = 235 \text{ Мпа}$. Коэффициент запаса по прочности $k = 235/198,4 = 1,18$.

2) Расчет как железобетонной конструкции с жестким армированием [66];

В этом случае определялась предельная несущая способность трубобетонного сечения колонны, которая оказалась равной $N_{пр} = 5994 \text{ кН}$, что превышает действующее усилие $N = 4257 \text{ кН}$, то есть запас прочности составляет $k = 5994/4257,1 = 1,41$.

3) По проекту нормативного документа, разрабатываемого под руководством «ЦНИИпроектстальконструкция» [67]. Эта методика изложена в книге [68] и согласно ей несущая способность сжатой трубобетонной колонны определяется выражением:

$$N \leq N_{пер} = \varphi \gamma_{bs} (R_b^* A_b + \gamma_{s2} R_s A_s).$$

Здесь φ – коэффициент продольного изгиба, R_b^* – расчетное сопротивление бетона в трубобетоне:

$$R_b^* = 0,65B(1 + \mu_{рб} \alpha),$$

где $\alpha = 0,35$; B – класс бетона по прочности, $\mu_{рб}$ – коэффициент армирования, причем $\mu_{рб} = 131/2074 = 0,063$. В данном случае $R_b^* = 27,2 \text{ Мпа}$.

В результате получилось $N_{пер} = 5639,1 \text{ кН}$, то есть запас прочности составляет $k = 5639,1/4257,1 = 1,33$.

4) Проверка с использованием методики Еврокода 4 [65].

а) Расчет трубобетонной колонны на осевое сжатие соответствии с международным нормативным документом Eurocode 4 дает следующее значение несущей способности колонны $N_{оссж} = 5571,76 \text{ кН}$, то есть запас прочности составляет $k = 5571,76/4257,1 = 1,31$.

б) Расчет трубобетонной колонны на внецентренное сжатие соответствии с международным нормативным документом Eurocode 4 дает следующее значение несущей способности колонны $N_{внецсж} = 5544 \text{ кН}$, то есть запас прочности составляет $k = 5544/4257,1 = 1,30$.

Сведем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

Сопоставление результатов расчета по разным методикам (составлена авторами)

Методика	1а	1б	2	3	4а	4б
Несущая способность трубобетонной колонны, кН	-	-	5994	5639,1	5571,76	5544
Коэффициент запаса прочности k	1,7	1,18	1,41	1,33	1,31	1,30

Сравнительный анализ показывает, что расчет трубобетонной колонны с использованием второй, третьей и четвертой методик дает близкие результаты, в то время как расчет с использованием приведенного сечения дает значительно отличающиеся результаты, причем учет пластических деформаций приводит не к увеличению, а к снижению коэффициента запаса по прочности.

3. Существующие методы расчета трубобетонных элементов на действие осевой сжимающей нагрузки и их сравнение

Анализ публикаций по расчету трубобетонных конструкций позволяет в качестве отдельной проблемы выделить задачу аналитического расчета несущей способности трубобетонных конструкций, особенно когда они рассматриваются как стержневые конструкции, работающие в условиях осевого сжатия (возможно, совместно с изгибом), исключая случай трехосного напряженного состояния, который имеет место в реальных трубобетонных конструкциях.

Такой подход может быть применен для расчета облегченных башенных сооружений, одностолбчатых опор линий электропередач и их оснований, когда определяющими являются вертикальные нагрузки, вызывающие сжатие и объемомностью напряженного состояния можно пренебречь (например, при предварительных расчетах на предпроектной стадии или для проверки результатов, полученных с использованием конечно-элементного моделирования).

Следовательно, необходимо выполнить анализ методик определения несущей способности и сравнить получаемые с их помощью результаты.

Полученные данные могут служить основой для проведения дальнейших исследований реального поведения заполненных бетоном труб под нагрузкой, их эксплуатационной надежности, что позволит существенно расширить область применения трубобетонных конструкций.

Можно выделить четыре аналитических метода расчета несущей способности трубобетонных элементов [69]:

1) **«унифицированный китайский» метод**, предложенный китайскими учеными Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li для расчета прочности и устойчивости трубобетонных элементов с произвольным поперечным сечением (включая пустотелые трубы) при осевом нагружении [70] (рис. 1);

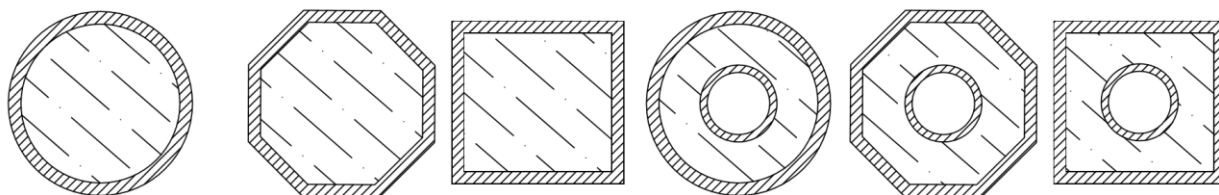


Рис. 1. Виды поперечных сечений трубобетонных элементов (составлено авторами)

В этом методе определяются величины несущей способности при сжатии трубобетонных элементов по прочности N_0 (1) и устойчивости $N_{уст}$ (2). Причем этот подход применим не только к трубобетонным элементам круглого поперечного сечения, но и к элементам с полигональным сечением, в том числе и прямоугольным.

Согласно этому методу несущая способность по прочности при осевом сжатии определяется из выражения:

$$N_0 = (1 + \eta)(f_y A_s + f_c A_{ck}) \quad (1)$$

где: η - коэффициент увеличения прочности за счет сжатия бетона в трубе, зависящий от количества граней в трубе n , свойств материалов, а также коэффициента сплошности ψ (для случая не сплошных трубобетонных элементов). При использовании формулы (1) для расчета круглых трубобетонных элементов коэффициент η принимается равным 0.

В этом случае величины f_y и $f_c = f_{ck}$ [76, 77] рассматривает только для упругой стадии работы соответственно стали и бетона, как компонентов трубобетонной конструкции. Правда остается неясным, можно ли использовать выражение (1) для расчета за пределами упругой стадии работы, то есть когда в расчетах необходимо использовать временное сопротивление f_u для стали и для бетона сопротивление сжатию бетона стесненного стальной оболочкой f_{cc} [78].

Эта методика экспериментально проверена при испытании квадратного и восьмигранного трубобетонных элементов [79].

Несущая способность по устойчивости при действии осевого сжатия определяется из выражения (2):

$$N_{st} = \varphi_{st} N_0 \quad (2)$$

где φ_{st} - коэффициент продольного изгиба, величина которого зависит от количества n граней стальной оболочки трубобетонного элемента (в случае круглого поперечного сечения $n = \infty$), характеристик используемых материалов, а также гибкости λ_{sc} и изгибной жесткости трубобетонного сечения:

$$E_{sc} I_{sc} = E_c I_c + E_s I_s \quad (3)$$

2) метод, предложенный **Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Chunyan She** для расчета прочности и устойчивости трубобетонных элементов круглого поперечного сечения [71];

Этот метод применим только для трубобетонных элементов круглого поперечного сечения. Порядок его использования следующий:

А) определяется предел текучести трубобетонного элемента по формуле (4):

$$f_{sc} = \left[1 + \frac{\Omega \cdot \xi_{sc}}{\left[2\Omega + 0.05 \xi_{sc} + \xi_{sc} \cdot \Omega \left(0.2 \frac{f_{ck}}{f_y} - 0.05 \right) \right] (\Omega + \xi_{sc})} \right] \quad (4)$$

в которой параметр $\Omega = A_c / (A_c + A_k)$ – соотношение между площадью бетонного сердечника и полной площадью трубобетонного элемента. Для сплошного трубобетонного элемента $\Omega = 1$, для полого элемента $\Omega = 1 - \psi$ (ψ – пустотность поперечного сечения [71]);

$\xi_{sc} = A_s f_s / A_c f_{ck}$ – отношение несущей способности стали к несущей способности бетона;
 f_s и f_{ck} – предел текучести стали и призмочная прочность бетона [76, 77].

Б) определяется предельная нагрузка на элемент (несущая способность по условию прочности):

$$N_0 = f_{sc} \cdot A_{sc} \quad (5)$$

где A_{sc} – поперечное сечение трубобетонного элемента.

В) определяется коэффициент продольного изгиба φ_{sc} из выражения:

$$\varphi_{sc} = \frac{1}{2\bar{\lambda}_{sc}^2} \left[\bar{\lambda}_{sc}^2 + 0.25\beta \cdot \bar{\lambda}_{sc}^2 + 1 - \sqrt{(\bar{\lambda}_{sc}^2 + 0.25\beta \cdot \bar{\lambda}_{sc}^2 + 1)^2 - 4\bar{\lambda}_{sc}^2} \right] \quad (6)$$

где λ_{sc} – гибкость трубобетонного элемента;

$\beta = A_s / A_{sc}$ – отношение площади поперечного сечения стали к общей площади поперечного сечения трубобетона.

Г) определяется предельная сжимающая нагрузка на элемент (несущая способность по условию устойчивости):

$$N_{st} = \varphi_{sc} \cdot f_{sc} \cdot A_{sc} \quad (7)$$

Этот метод прошел экспериментальную проверку путем испытания серии пустотелых и сплошных трубобетонных элементов круглого поперечного сечения [71].

3) **«украинский» метод Л.И. Стороженко** для определения несущей способности трубобетонных элементов круглого поперечного сечения под действием осевой нагрузки [5, 6, 72]. Этот метод включен в действующий стандарт Украины [73, 74, 75].

Альтернативой рассмотренным выше методам определения несущей способности трубобетонных элементов при сжатии является метод Л.И. Стороженко, который позволяет определять предельную нагрузку на трубобетонные элементы при осевом сжатии. Метод применим только к трубобетонным элементам с круглым поперечным сечением, и опирается на уравнения (7) и (8). Последовательность расчета по этому методу:

А) определяется сопротивление бетона в круглой трубе по формуле:

$$R_b^* = 0.65B(1 + 16.1 \cdot \mu_{pb} \cdot \beta) \quad (8)$$

где $\mu_{pb} = (D/(D - 2t))^2 - 1$ – коэффициент армирования трубобетонного сечения (основной параметр, учитывающий соотношение толщины трубы и наружного диаметра трубы);

Б) определяется несущая способность (предельная сжимающая нагрузка, которую способен выдержать трубобетонный элемент):

$$N_{stb} = \gamma_{bs}(R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st}) \quad (9)$$

Где γ_{bs} и γ_{s2} – коэффициенты, которые учитывают совместную работу бетона и стальной трубы.

В этом методе можно отметить несколько принципиальных отличий.

Во-первых, здесь при определении несущей способности трубобетона не рассматривается сопротивление полного поперечного сечения, а учитывается только сопротивление бетона, стесненного в стальной трубчатой оболочке.

Во-вторых, при определении предельной сжимающей нагрузки используются не только механические характеристики материалов и геометрические характеристики поперечного сечения, но и корректирующие коэффициенты, которые учитывают совместную работу двух различных материалов в одной конструкции.

То есть метод Л.И. Стороженко, является, по сути, эмпирическим методом, результаты которого имеют экспериментальное подтверждение.

4) **Метод Еврокода 4** (EN 1994) проектирование композитных сталебетонных конструкций [74].

Этот метод расчета трубобетонных конструкций на действие осевых сжимающих нагрузок отличается от других методов тем, что несущая способность зависит от гибкости трубобетонного элемента, величина которой и определяет способ определения предельной нагрузки на трубобетонный элемент.

Поэтому в начале расчета определяется значение гибкости λ по формуле (10), а затем, в зависимости от значения λ определяется величина предельной сжимающей нагрузки $N_{pl,Rd}$ по формулам (11) или (12):

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \quad (10)$$

где $N_{pl,Rk}$ - нормативное сопротивление сжатию рассматриваемого поперечного сечения, N_{cr} - критическая сжимающая сила, определяемая по Эйлеру или по Ясинскому в зависимости от гибкости элемента.

Определив λ , найдем величину $N_{pl,Rd}$ по одной из формул:

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd}, \text{ if } \bar{\lambda} > 0.5 \quad (11)$$

или

$$N_{pl,Rk} = \eta_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{D} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right), \text{ if } \bar{\lambda} \leq 0.5 \quad (12)$$

Для сравнения указанных методов рассмотрим задачу определения несущей способности трубобетонного элемента круглого поперечного сечения из бетона класса В 20 и стали марки S235 с размерами: диаметр В = 200 мм, высота Н = 500 мм, толщина стенки стальной трубы t = 3 мм (рис. 2).

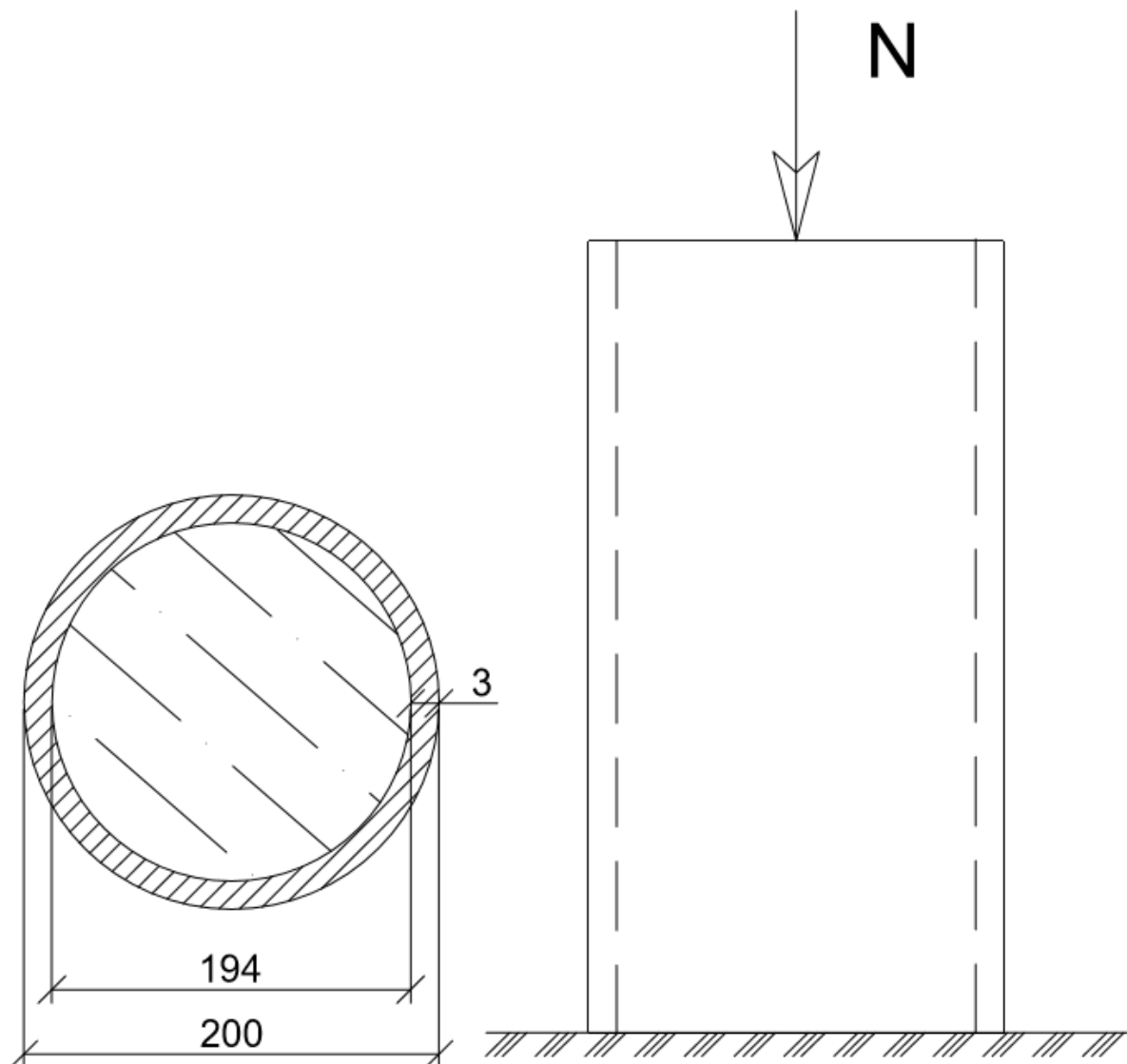


Рис. 2. Схема трубобетонного элемента, для которого проводился сравнительный анализ (составлено авторами)

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение результатов расчета по разным методам (составлена авторами)

Метод расчета	1	2	3	4
Несущая способность трубобетонной колонны, кН	1128	980	815	1045
Отличие от расчета по методу 4, %	7,9	- 6,2	- 22,0	0

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

- 1) Максимальное отличие результатов расчета по всем методам составляет 22%, причем наибольшую несущую способность трубобетонной колонны дает «китайский» метод, а наименьшую «украинский метод».
- 2) Общим недостатком рассмотренных методов является то, что в расчетах не учитывается толщина стенки металлической трубчатой оболочки t , ее наружный диаметр D , а также отношение t/D , которые оказывают большое влияние на несущую способность трубобетона.
- 3) Согласно «китайскому» методу трубобетонные элементы с одинаковым по площади поперечным сечением независимо от геометрических размеров и формы будут иметь одинаковую несущую способность, что не соответствует действительности.
- 4) Все рассмотренные методы не учитывают наличие адгезии (сцепления) между бетонным сердечником и металлической оболочкой, что снижает точность определения несущей способности.
- 5) Все рассмотренные методы нуждаются в дальнейшем совершенствовании и верификации с использованием экспериментальных данных, что позволит повысить точность расчетов и обеспечить более высокую их надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. о проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой // Интернет-журнал "Науковедение" №, 2015. С. 1 - 20.
2. Скворцов Н.Ф. Применение сталетрубобетона в мостостроении. М.: Автотрансиздат, 1955 88 с.
3. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
4. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. Минск. Высшая школа. 1977. 95 с.
5. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции. Киев: Будивельник, 1978. 81 с.
6. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Черный А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. К. Будивэлнык. 1991. – 120 с.
7. Митрофанов В.П., Дергам Али Н. Пособие по расчету прочности трубобетонных элементов при осевом сжатии: Монография. Полтава: ПолтНТУ им. Юрия Кондратюка, 2008. 91 с.
8. Стороженко Л.И., Ермоленко Д.А., Лапенко О.И. Трубобетон.- Полтава: ТОВ АСМГ, 2010. - 306 с.
9. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны высотных зданий / А.Л. Кришан, А.И. Заикин, А.И. Сагадатов // Монография. – Магнитогорск: ООО «МиниТип», 2010. – 195 с.
10. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром / А.Л. Кришан // Монография. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.
11. Маренин В.Ф. Исследование прочности стальных труб, заполненных бетоном, при осевом сжатии: Дисс. канд. техн. наук. - М., 1959. 231 с.
12. Долженко А.А. Трубчатая арматура в железобетоне: Дисс. докт. техн. наук. М., 1963. - 413 с.
13. Сурдин В.М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов. Дис. канд. техн. наук. Кривой Рог, 1970 - 280 с.
14. Гамаюнов Е.И. Исследование влияния поперечного армирования на несущую способность - центрально-сжатых трубобетонных элементов при статическом и многократно-повторном воздействии нагрузок: Дис. канд. техн. наук М.: 1970. - 255 с.
15. Маракуца В.И. Прочность и устойчивость трубобетонных элементов при кратковременном и длительном нагружении: Дис. канд.техн.наук. Кривой Рог, 1970. - 238 с.
16. Ситников Ю.В. Исследование железобетонных элементов со стальной оболочкой для несущих конструкций промышленных зданий: Дис. канд. техн. наук. Воронеж, 1970. - 173 с.
17. Кусябгалиев С.Г. Исследование некоторых вопросов несущей способности стальных труб, заполненных бетоном, при кратковременном нагружении: Дис. канд. техн. наук. - Л. 1971,-142 с.

18. Яровой И.С. Исследование напряженно-деформированного состояния гибких внецентренно сжатых трубобетонных элементов при кратковременном и длительном действии нагрузки: Дис. канд. техн. наук Кривой Рог, 1974 - 195 с.
19. Мищенко А.И. Исследование экономической эффективности применения трубобетонных конструкций в инженерных сооружениях: Автореф. дис. канд. техн. наук.-Л., 1974.-34,с.
20. Санжаровский Р.С. Теория и расчет прочности и устойчивости элементов конструкций из стальных труб, заполненных бетоном: Дисс. докт. техн. наук. М, 1977. - 453 с.
21. Баркави Тагер Шариф. Исследование напряженно-деформированного состояния бетонного ядра в обойме при кратковременном и длительном действии нагрузки: Дис. канд. техн. наук. 1. Кривой Рог, 1982. 226 с.
22. Кебенко В.Н. Оптимизация параметров сжатых и внецентренно сжатых трубобетонных элементов и конструкций: Дис. канд. техн. наук. Кривой Рог, 1982, - 125 с.
23. Аль-Калас Мохамед Халед. Прочность и деформации конструктивных элементов из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном: Дис. канд. техн. наук.- Кривой Рог; 1985, 118 с.
24. Мутаоа Ибрагим Ахмад. Прочность и устойчивость составных трубобетонных элементов при продольном и поперечном изгибе: Дис. канд. техн. наук. Д., 1985. - 230 с.
25. Нестерович А.П. Прочность трубобетонных элементов диаметром - 500 мм и более при осевом сжатии: Дисс. канд. техн. наук. М., 1987. - 236 с.
26. Харченко С.А. Напряженно деформированное состояние трубобетонных элементов с упрочненными ядрами: Дис. канд. техн. наук. Мн: 1987 - 172 с.
27. Абдулай Салех Тоджибал. Прочность и деформативность негибких сталетрубобетонных элементов кольцевого сечения при кратковременном осевом нагружении. Дис. канд. техн. наук. – М. 1987, 143 с.
28. Хентит Башир. Несущая способность и деформативность предварительно напряженных составных стальных балок с верхним трубобетонным поясом; Дис. канд. техн. наук. Киев, 1987 - 142 с.
29. Пинский В.В. Несущая способность элементов и узлов из трубобетона: Дисс. канд. техн. наук-Кривой Рог, 1988. 170 с.
30. Шабров В.Л. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при внецентренном сжатии: Дисс. канд. техн. наук. М.: НИИЖБ, 1988.-253 с.
31. Хамид Халаф Хассан Аль-Саеди. Прочность трубобетона при внецентренном сжатии: Дис. канд. техн. наук. Мн: 1988. - 125 с.
32. Пинский В.В. Несущая способность элементов и узлов из трубобетона: Дис. канд. техн. наук Кривой Рог:1989. 174 с.
33. Гаджиев Ф.М. Научные основы проектирования морских стационарных платформ для освоения нефтегазовых месторождений, автореферат диссертации д.т.н., Баку, 1990.

34. Сахаров А.А. Несущая способность трубобетонных элементов с бетоном, твердеющим под давлением: Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Самара, 1991. 159 с.
35. Коврыга С.В. Прочность и деформативность при осевом сжатии стальных труб, заполненных высокопрочным бетоном. Дисс. канд. техн. наук. М.: НИИЖБ.-1992.-149 с.
36. Нурадинов Б.Н. Огнестойкость сталетрубобетонных колонн. Дисс. канд. техн. наук. М, 1994.
37. Нугуманов Д.Т. Устойчивость двухшарнирных трубобетонных арок при кратковременном нагружении: Дис. канд. техн. наук. - Усть-Каменогорск, 1997.-127 с.
38. Цыгулев Д.В. Устойчивость трубобетонных элементов прямоугольного сечения, сжатых с двухосным эксцентриситетом. Дисс. канд. техн. наук. Усть-Каменогорск. 1999. - 174 с.
39. Шахворостов А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетона на напрягающем цементе: Дисс. канд. техн. наук. М, 2000. - 158 с.
40. Гареев М.Ш. Прочность сжатых сталетрубобетонных элементов с предварительно обжатым ядром. Дисс. канд. техн. наук. Магнитогорск, 2004.
41. Аткишкин И.В. Длительная прочность сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником. Диссертация на к.т.н. Магнитогорск. 2006. 150 с.
42. Сагадатов А.И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником. Диссертация на к.т.н. Магнитогорск. 2006. 180 с.
43. Кузнецов К.С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона. Дисс. канд. техн. наук Магнитогорск, 2007. - 154 с.
44. Етекбаева А.Б. Прочность и деформация трубобетонных сжатых элементов при знакопеременных горизонтальных нагрузках: Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Алматы, 2010. 132 с.
45. Шеховцев В.А. Обоснование прочности и устойчивости трубобетонных конструкций опорных блоков морских стационарных платформ при квазистатических и периодических внешних воздействиях. Дисс. докт. техн. наук. СПб. 2010.
46. Кришан А.Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром. Диссертация на д.т.н. Магнитогорск. 2011. 380 с.
47. Резван И.В. Трубобетонные колонны из высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона. Диссертация на к.т.н. РГСУ, Ростов на Дону. 2012.
48. Гаранжа, І.М. Напруженодеформований стан металевих багатогранних стояків с урахуванням особливостей вітрового впливу: автореф. дис. На здобуття наук. ступеня к.т.н.: України, Донбас. нац. акад. Буд-ва і архітектури. Макіївка, 2012. 20 с.
49. Мельничук А.С. Прочность коротких трубобетонных колонн квадратного поперечного сечения. Дисс. к.т.н. Магнитогорск 2014.

50. Скворцов Н.Ф. Прочность сталебетонбетона: Дисс. докт. техн. наук.-М, 1953.-453 с.
51. Липатов А.Ф. Исследование прочности трубобетонных элементов мостовых конструкций: Дис. канд. техн. наук. - М. 1954. - 242 с.
52. Кузнецова Е.Е. Расчет и конструкция трубобетонных элементов в мостах. Автореф. дисс. канд. техн. наук. М. МАДИ. 1993.19 с. 117 с.
53. Цветков К.А. Механика бетона. Краткий конспект лекций. М. 2012. 70 с.
54. Дуванова И.А., Сальманов И.Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №6 (21). С. 89-103.
55. Cai S.-H. Ultimate strength of concrete-filled tube columns // Composite construction in steel and concrete. New Hampshire, June 1987. ASCE. pp. 702-727.
56. Cai S.-H. Influence of moment distribution diagram on load – carrying capacity of concrete-filled steel tubular columns // Proceedings of the 3-rd International conference on steel-concrete composite structures, September 1991, Fukuoka, Japan. pp. 113-118.
57. Cai S.-H., Gu W.-P. Behavior and ultimate strength of steel tubeconfined high-strength concrete columns // Proceedings of 4-th International symposium on the utilization of high strength/high performance concrete columns. May 1996, Paris, France-vol. 3. pp. 827-833.
58. Cai S.-H. Chinese standard for concrete-filled tube columns // Composite construction in steel and concrete. Proceedings of an Engineering Foundation Conference. Potosi. Missouri. June. 1992. ASCE. Pp. 142-151.
59. Цай Шаохуай. Новейший опыт применения трубобетона в КНР // Бетон и железобетон. 2001. №3. С. 20-24.
60. Cai S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Shanghai, China Communication Press, 2003, p. 358
61. Принуждение к инновациям: стратегия для России. Сборник статей и материалов / Под ред. В.Л. Иноземцева. - Москва, Центр исследований пост-индустриального общества, 2009. - 288 с.
62. Стороженко Л.И., Семко А.В. Сравнение методик расчета трубобетонных конструкций // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. 2005. №63. С. 59-67.
63. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М. Стройиздат. 1985.
64. СНиП П23 81* Стальные конструкции. М. Стройиздат. 1981.
65. Eurocode 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Общие правила для зданий. Пер. С нем. - Полтава. ПНТУ. 1997. 180 с.
66. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жёсткой арматурой / НИЖБ, ЦНИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 54 с.
67. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с внешним армированием. – К.: УМКО ВО, 1989. – 98 с.

68. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій. – К.: Сталь, 2004. – 318 с.
69. Garanzha I.M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad // Metal constructions. 2014, vol.20, №1, p. 45-53.
70. A unified formulation for circle and polygon concretefilled steel tube columns under axial compression [Text] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li // Engineering Structures.- 2013. - 49. - p. 1-10.
71. A unified formulation for hollow and solid concretefilled steel tube columns under axial compression [Text] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Chunyan She // Engineering Structures. - 2010. - 32(4). - P. 1046 - 1053.
72. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Text] / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц.- Полтава: ПолНТУ, 2005. - 182 с.
73. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення [Text]. – Уведено вперше; чинні від 2011-09-01. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. - 55 с.
74. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDT) [Text]. — [Чинний від 2013-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 167 с.: табл. — (Національний стандарт України).
75. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT) [Text]. - [Чинний від 2013-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 152 с.: табл. - (Національний стандарт України).
76. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT) [Text]. - [Чинний від 2010-12-27]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 158 с.: табл. - (Національний стандарт України).
77. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT) [Text]. - [Чинний від 2013-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 152 с.: табл. - (Національний стандарт України).
78. Mander, J.B. Theoretical stressstrain model for confined concrete [Text] / J.B. Mander, J.N. Priestley, R. Park // Engineering Structures. - 1989. - 11. - p. 1804 - 1825.
79. Гаранжа, І.М. Напруженодеформований стан металевих багатогранних стояків с урахуванням особливостей вітрового впливу [Text]: автореф. дис. На здобуття наук. ступеня к.т.н.: спец. 05.23.01 / Гаранжа Ігор Михайлович; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Донбас. нац. акад. Буд-ва і архітектури. - Макіївка, 2012. - 20 с.

Рецензент: Кокодеєва Н.Е., доктор технических наук, зав. кафедрой «Транспортное строительство» «Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.».

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov
Russia, Saratov
Moscow state automobile&road technical university (Sochi branch)
Russia, Sochi
E-mail: bridgeart@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Perm national research polytechnic university
Russia, Perm
Yuri Gagarin state technical university of Saratov
Russia, Saratov
Moscow state automobile&road technical university (Sochi branch)
Russia, Sochi
E-mail: bridgesar@mail.ru

Chesnokov Georgiy Vladimirovich

«Research institute Grafit»
Russia, Moscow
E-mail: gchesnokov@niigrafit.org

Mikxaldykin Eugeny Sergeevich

«Research institute Grafit»
Russia, Moscow
E-mail: emihaldikin@niigrafit.org

**About the problem of the analysis of tube-confined concrete structures with a shell made of different materials. Part 2.
Calculation of tube-confined concrete structures with a metallic shell**

Abstract. The article reviews the current state of the problem of the calculation of tube-confined concrete structures with a metallic shell. Analyzed more than 40 theses on the study of tube-confined concrete structures. It is shown that in Russia the wide use of tube-confined concrete structures is hampered by lack of normative documents in their design and calculation. Despite extensive research in this area, so far there is no reliable and acceptable for the practical use of calculation models tube-confined concrete section at the ultimate limit state. Therefore, further research is needed in this area, a useful and promising.

Since 1980 in the Academy of Construction Sciences of China, was conducted in a large experimental and theoretical studies of tube-confined concrete columns made of normal and high strength concretes and improved methods of calculation. Therefore, in the last decades of the tube-confined concrete is widely used in China, where a regulatory framework was established for its mass use in construction.

The ideology of construction of tube-confined concrete structures based on the scientific work of the Russian, Ukrainian and Belarusian engineers and scientists, but in Russia, the standards and technical conditions for its application are absent.

In the last part of the article describes the two groups of methods for the calculation of tube-confined concrete structures with a metallic shell and their comparison. It is noted that the methods need further improvement and verification using experimental data that will improve the accuracy of the calculations and provide higher reliability.

Keywords: tube-confined concrete; steel shell; studies of tube-confined concrete; the methods of calculation of tube-confined concrete; bearing capacity of tube-confined concrete; comparison of calculation methods; tube-confined concrete in bridge construction.

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. o probleme rascheta trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast' 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoy obolochkoy // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №, 2015. S. 1 - 20.
2. Skvortsov N.F. Primenenie staletrubobetona v mostostroenii. M.: Avtotransizdat, 1955 88 s.
3. Kikin A.I., Sanzharovskiy R.S., Trull' V.A. Konstruktsii iz stal'nykh trub, zapolnennykh betonom. M.: Stroyizdat, 1974. 144 s.
4. Luksha L.K. Prochnost' trubobetona. Minsk. Vysshaya shkola. 1977. 95 s.
5. Storozhenko L.I. Trubobetonnye konstruktsii. Kiev: Budivel'nik, 1978. 81 s.
6. Storozhenko L.I., Plakhotnyy P.I., Chernyy A.Ya. Raschet trubobetonnykh konstruksiy. K. Budivelnyk. 1991. – 120 s.
7. Mitrofanov V.P., Dergam Ali N. Posobie po raschetu prochnosti trubobetonnykh elementov pri osevom szhatii: Monografiya. Poltava: PoltNTU im. Yuriya Kondratyuka, 2008. 91 s.
8. Storozhenko L.I., Ermolenko D.A., Lapenko O.I. Trubobeton.- Poltava: TOB ASMG, 2010. - 306 s.
9. Krishan A.L. Trubobetonnye kolonny vysotnykh zdaniy / A.L. Krishan, A.I. Zaikin, A.I. Sagadatov // Monografiya. – Magnitogorsk: ООО «MiniTip», 2010. – 195 s.
10. Krishan A.L. Trubobetonnye kolonny s predvaritel'no obzhatym yadrom / A.L. Krishan // Monografiya. – Rostov n/D: Rost. gos. stroit. un-t, 2011. – 372 s.
11. Marenin V.F. Issledovanie prochnosti stal'nykh trub, zapolnennykh betonom, pri osevom szhatii: Diss. kand. tekhn. nauk. - M., 1959. 231 s.
12. Dolzhenko A.A. Trubchataya armatura v zhelezobetone: Diss. dokt. tekhn. nauk. M., 1963. - 413 s.
13. Surdin V.M. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetonnykh elementov pri osevom zagruzhении s uchetom reologicheskikh protsessov. Dis. kand. tekhn. nauk. Krivoy Rog, 1970 - 280 s.
14. Gamayunov E.I. Issledovanie vliyaniya poperechnogo armirovaniya na nesushchuyu sposobnost' - tsentral'no-szhatykh trubobetonnykh elementov pri staticheskom i mnogokratno-povtornom vozdeystvii nagruzok: Dis. kand. tekhn. nauk M.: 1970. - 255 s.
15. Marakutsa V.I. Prochnost' i ustoychivost' trubobetonnykh elementov pri kratkovremennom i dlitel'nom zagruzhении: Dis. kand.tekhn.nauk. Krivoy Rog, 1970. - 238 s.
16. Sitnikov Yu.V. Issledovanie zhelezobetonnykh elementov so stal'noy obolochkoy dlya nesushchikh konstruksiy promyshlennykh zdaniy: Dis. kand. tekhn. nauk. Voronezh, 1970. - 173 s.
17. Kusyabgaliev S.G. Issledovanie nekotorykh voprosov nesushchey sposobnosti stal'nykh trub, zapolnennykh betonom, pri kratkovremennom zagruzhении: Dis. kand. tekhn. nauk. - L. 1971,-142 s.

18. Yarovoy I.S. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gibkikh vnetsentrenno szhatykh trubobetonnykh elementov pri kratkovremennom i dlitel'nom deystvii nagruzki: Dis. kand. tekhn. nauk Krivoy Rog, 1974 - 195 s.
19. Mishenko A.I. Issledovanie ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya trubobetonnykh konstruktsiy v inzhenernykh sooruzheniyakh: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk.-L., 1974.-34,s.
20. Sanzharovskiy P.C. Teoriya i raschet prochnosti i ustoychivosti elementov konstruktsiy iz stal'nykh trub, zapolnennykh betonom: Diss. dokt. tekhn. nauk. M, 1977. - 453 s.
21. Barkavi Tager Sharif. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya betonogo yadra v oboyme pri kratkovremennom i dlitel'nom deystvii nagruzki: Dis. kand. tekhn. nauk. 1. Krivoy Rog, 1982. 226 s.
22. Kebenko V.N. Optimizatsiya parametrov szhatykh i vnetsentrenno szhatykh trubobetonnykh elementov i konstruktsiy: Dis. kand. tekhn, nauk. Krivoy Rog, 1982, - 125 s.
23. Al'-Kalas Mokhamed Khaled. Prochnost' i deformatsii konstruktivnykh elementov iz stal'nykh trub, zapolnennykh tseftrifugirovannym betonom: Dis. kand. tekhn. nauk.-Krivoy Rog; 1985, 118 s.
24. Mutaoa Ibragim Akhmad. Prochnost' i ustoychivost' sostavnykh trubobetonnykh elementov pri prodol'nom i poperechnom izgibe: Dis. kand. tekhn. nauk. D., 1985. - 230 s.
25. Nesterovich A.P. Prochnost' trubobetonnykh elementov diametrom - 500 mm i bolee pri osevom szhatii: Diss. kand. tekhn. nauk. M., 1987. - 236 s.
26. Kharchenko S.A. Napryazhenno deformirovannoe sostoyanie trubobetonnykh elementov s uprochnennymi yadrami: Dis. kand. tekhn. nauk. Mn: 1987 - 172 s.
27. Abdulay Salekh Todzhibal. Prochnost' i deformativnost' negibkikh staletrubobetonnykh elementov kol'tseвого secheniya pri kratkovremennom osevom zagruzhenii. Dis. kand. tekhn. nauk. – M. 1987, 143 s.
28. Khentit Bashir. Nesushaya sposobnost' i deformativnost' predvaritel'no napryazhennykh sostavnykh stal'nykh balok s verkhnim trubobetonnyim poyasom; Dis. kand. tekhn. nauk. Kiev, 1987 - 142 s.
29. Pinskiy V.V. Nesushchaya sposobnost' elementov i uzlov iz trubobetona: Diss. kand. tekhn. nauk-Krivoy Rog, 1988. 170 s.
30. Shabrov V.L. Prochnost' trubobetonnykh elementov diametrom 500 mm i bolee pri vnetsentrennom szhatii: Diss. kand. tekhn. nauk. M.: NIIZhB, 1988.-253 s.
31. Khamid Khalaf Khassan Al'-Saedi. Prochnost' trubobetona pri vnetsentrennom szhatii: Dis. kand. tekhn. nauk. Mn: 1988. - 125 s.
32. Pinskiy V.V. Nesushchaya sposobnost' elementov i uzlov iz trubobetona: Dis. kand. tekhn. nauk Krivoy Rog:1989. 174 s.
33. Gadzhiev F.M. Nauchnye osnovy proektirovaniya morskikh statsionarnykh platform dlya osvoeniya neftegazovykh mestorozhdeniy, avtoreferat dissertatsii d.t.n., Baku, 1990.

34. Sakharov A.A. Nesushchaya sposobnost' trubobetonnykh elementov s betonom, tverdeyushchim pod davleniem: Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n. Samara, 1991. 159 s.
35. Kovryga S.V. Prochnost' i deformativnost' pri osevom szhatii stal'nykh trub, zapolnennykh vysokoprochnym betonom. Diss. kand. tekhn. nauk. M.: NIIZhB.-1992.-149 s.
36. Nuradinov B.N. Ognestoykost' staletrubobetonnykh kolonn. Diss. kand. tekhn. nauk. M, 1994.
37. Nugumanov D.T. Ustoychivost' dvukhsharnirnykh trubobetonnykh arok pri kratkovremennom zagruzhении: Dis. kand. tekhn. nauk. - Ust'-Kamenogorsk, 1997.-127 s.
38. Tsygulev D.V. Ustoychivost' trubobetonnykh elementov pryamougol'nogo secheniya, szhatykh s dvukhosnym ekstsentrisitetom. Diss. kand. tekhn. nauk. Ust'-Kamenogorsk. 1999. - 174 s.
39. Shakhvorostov A.I. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetona na napryagayushchem tsemente: Diss. kand. tekhn. nauk. M, 2000. - 158 s.
40. Gareev M.Sh. Prochnost' szhatykh staletrubobetonnykh elementov s predvaritel'no obzhatym yadrom. Diss. kand. tekhn. nauk. Magnitogorsk, 2004.
41. Atkishkin I.V. Dlitel'naya prochnost' szhatykh trubobetonnykh elementov s vnutrennim stal'nym serdechnikom. Dissertatsiya na k.t.n. Magnitogorsk. 2006. 150 s.
42. Sagadatov A.I. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie szhatykh trubobetonnykh elementov s vnutrennim stal'nym serdechnikom. Dissertatsiya na k.t.n. Magnitogorsk. 2006. 180 s.
43. Kuznetsov K.S. Prochnost' trubobetonnykh kolonn s predvaritel'no obzhatym yadrom iz vysokoprochnogo betona. Diss. kand. tekhn. nauk Magnitogorsk, 2007. - 154 s.
44. Etekbaeva A.B. Prochnost' i deformatsiya trubobetonnykh szhatykh elementov pri znakoperemennykh gorizontal'nykh nagruzkakh: Disc. na soisk. uchen. step. k.t.n. Almaty, 2010. 132 s.
45. Shekhovtsev V.A. Obosnovanie prochnosti i ustoychivosti trubobetonnykh konstruksiy opornykh blokov morskikh stacionarnykh platform pri kvazistaticheskikh i periodicheskikh vneshnikh vozdeystviyakh. Diss. dokt. tekhn. nauk. SPb. 2010.
46. Krishan A.L. Prochnost' trubobetonnykh kolonn s predvaritel'no obzhatym yadrom. Dissertatsiya na d.t.n. Magnitogorsk. 2011. 380 s.
47. Rezvan I.V. Trubobetonnye kolonny iz vysokoprochnogo samouplotnyayushchegosya napryagayushchego betona. Dissertatsiya na k.t.n. RGSU, Rostov na Donu. 2012.
48. Garanzha, I.M. Napruzhenodeformovaniy stan metalevikh bagatogrannikh stoyakiv s urakhuvannym osoblivostey vitrovogo vplivu: avtoref. dis. Na zdobuttya nauk. stupenya k.t.n.: Ukraïni, Donbas. nats. akad. Bud-va i arkhitekturi. Makiïvka, 2012. 20 s.
49. Mel'nichuk A.S. Prochnost' korotkikh trubobetonnykh kolonn kvadratnogo poperechnogo secheniya. Diss. k.t.n. Magnitogorsk 2014.

50. Skvortsov N.F. Prochnost' staletrubobetona: Diss. dokt. tekhn. nauk.-M., 1953.-453 s.
51. Lipatov A.F. Issledovanie prochnosti trubobetonnykh elementov mostovykh konstruksiy: Dis. kand. tekhn. nauk. - M. 1954. - 242 s.
52. Kuznetsova E.E. Raschet i konstruktsiya trubobetonnykh elementov v mostakh. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. M. MADI. 1993.19 s. 117 s.
53. Tsvetkov K.A. Mekhanika betona. Kratkiy konspekt lektsiy. M. 2012. 70 s.
54. Duvanova I.A., Sal'manov I.D. Trubobetonnye kolonny v stroitel'stve vysotnykh zdaniy i sooruzheniy // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. №6 (21). S. 89-103.
55. Cai S.-H. Ultimate strength of concrete-filled tube columns // Composite construction in steel and concrete. New Hampshire, June 1987. ASCE. pp. 702-727.
56. Cai S.-H. Influence of moment distribution diagram on load – carrying capacity of concrete-filled steel tubular columns // Proceedings of the 3-rd International conference on steel-concrete composite structures, September 1991, Fukuoka, Japan. pp. 113-118.
57. Cai S.-H., Gu W.-P. Behavior and ultimate strength of steel tubeconfined high-strength concrete columns // Proceedings of 4-th International symposium on the utilization of high strength/high performance concrete columns. May 1996, Paris, France-vol. 3. pp. 827-833.
58. Cai S.-H. Chinese standard for concrete-filled tube columns // Composite construction in steel and concrete. Proceedings of an Engineering Foundation Conference. Potosi. Missouri. June. 1992. ASCE. Pp. 142-151.
59. Tsay Shaokhuay. Noveyshiy opyt primeneniya trubobetona v KNR // Beton i zhelezobeton. 2001. №3. S. 20-24.
60. Cai S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Shanghai, China Communication Press, 2003, p. 358
61. Prinuzhdenie k innovatsiyam: strategiya dlya Rossii. Sbornik statey i materialov / Pod red. V.L. Inozemtseva. - Moskva, Tsentr issledovaniy post-industrial'nogo obshchestva, 2009. - 288 s.
62. Storozhenko L.I., Semko A.V. Sravnenie metodik rascheta trubobetonnykh konstruksiy // Kommunal'noe khozyaystvo gorodov. Nauchno-tekhnicheskiiy sbornik. 2005. №63. S. 59-67.
63. SNiP 2.03.01-84*. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. M. Stroyizdat. 1985.
64. SNiP P23 81* Stal'nye konstruksii. M. Stroyizdat. 1981.
65. Eurocode 4. Proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstruksiy. Obshchie pravila dlya zdaniy. Per. S nem. - Poltava. PNTU. 1997. 180 c.
66. Rukovodstvo po proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy s zhestkoy armaturoy / NIZhB, TsNNIPromzdaniy. – M.: Stroyizdat, 1978. – 54 s.
67. Storozhenko L.I. Zhelezobetonnye konstruksii s vneshnim armirovaniem. – K.: UMKO VO, 1989. – 98 s.
68. Semko O.V. Imovirnisni aspekti rozrakhunku stalezalizobetonnykh konstruksiy. – K.: Stal', 2004. – 318 s.

69. Garanzha I.M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad // Metal constructions. 2014, vol.20, №1, p. 45-53.
70. A unified formulation for circle and polygon concretefilled steel tube columns under axial compression [Text] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li // Engineering Structures.- 2013. - 49. - p. 1-10.
71. A unified formulation for hollow and solid concretefilled steel tube columns under axial compression [Text] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Chunyan She // Engineering Structures. - 2010. - 32(4). - P. 1046 - 1053.
72. Storozhenko, L.I. Stalezalizobetonni konstruktsii [Text] / L.I. Storozhenko, O.V. Semko, V.F. Pents.- Poltava: PolNTU, 2005. - 182 s.
73. DBN V.2.6-160:2010. Stalezalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennya [Text]. – Uvedeno vpershe; chinni vid 2011-09-01. - K.: Minregionbud Ukraïni, 2011. - 55 s.
74. DSTU-N B EN 1994-1-1:2010. Proektuvannya stalezalizobetonnikh konstruktsiy. Chastina 1-1. Zagal'ni pravila i pravila dlya sporud (EN 1994-1-1:2004, IDT) [Text]. — [Chinniy vid 2013-07-01]. - K.: Minregionbud Ukraïni, 2012. - 167 s.: tabl. — (Natsional'niy standart Ukraïni).
75. DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Proektuvannya zalizobetonnikh konstruktsiy. Chastina 1-1. Zagal'ni pravila i pravila dlya sporud (EN 1992-1-1:2004, IDT) [Text]. - [Chinniy vid 2013-07-01]. - K.: Minregionbud Ukraïni, 2012. - 152 s.: tabl. - (Natsional'niy standart Ukraïni).
76. DSTU-N B EN 1993-1-1:2010. Proektuvannya stalevikh konstruktsiy. Chastina 1-1. Zagal'ni pravila i pravila dlya sporud (EN 1993-1-1:2005, IDT) [Text]. - [Chinniy vid 2010-12-27]. - K.: Minregionbud Ukraïni, 2012. - 158 s.: tabl. - (Natsional'niy standart Ukraïni).
77. DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Proektuvannya zalizobetonnikh konstruktsiy. Chastina 1-1. Zagal'ni pravila i pravila dlya sporud (EN 1992-1-1:2004, IDT) [Text]. - [Chinniy vid 2013-07-01]. - K.: Minregionbud Ukraïni, 2012. - 152 s.: tabl. - (Natsional'niy standart Ukraïni).
78. Mander, J.B. Theoretical stressstrain model for confined concrete [Text] / J.B. Mander, J.N. Priestley, R. Park // Engineering Structures. - 1989. - 11. - p. 1804 - 1825.
79. Garanzha, I.M. Napruzhenodeformovaniy stan metalevikh bagatogrannikh stoyakiv s urakhuvannyam osoblivostey vitrovogo vplivu [Text]: avtoref. dis. Na zdobuttya nauk. stupenya k.t.n.: spets. 05.23.01 / Garanzha Igor Mikhaylovich; M-vo osviti i nauki, molodi ta sportu Ukraïni, Donbas. nats. akad. Bud-va i arkhitekturi. - Makiïvka, 2012. - 20 s.