От редакции

Под руководством д-ра техн. наук Кришана А.Л. в МГТУ им. Г.И. Носова продолжаются работы в рамках научного направления «Прочность и деформативность предварительно обжатых трубобетонных колонн».

На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований сформулированы предложения по расчету и конструированию трубобетонных колонн, которые положены в основу нормативного документа СТО 36554501-025-0211 «Трубобетонные колонны», разработанного и изданного совместно с НИИЖБ ОАО «НИЦ «Строительство» в 2011 г.

Научная школа «Усовершенствование конструкций и разработка методов расчета сталебетонных конструкций», возглавляемая д-ром техн. наук А.Л. Кришаном, уже более 15 лет работает над созданием новых конструкций и выполняет экспериментально-теоретические исследования трубобетонных колонн. Коллектив школы плодотворно сотрудничает с ведущими научными центрами РФ в данной области – Российской академией архитектурно-строительных наук и Московским государственным строительным университетом. Уже не один год содействие работам оказывает ОАО «Уральский трубный завод». С 2009 по 2013 гг. весомая поддержка коллективу была оказана со стороны ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», который финансировал НИИОКР по этому направлению. Новизна научных достижений подтверждена 6 авторскими свидетельствами на изобретения и 11 патентами РФ на полезную модель. Инновационные разработки были отмечены грантами Министерства экономического развития Челябинской области и Министерства образования РФ, награждены дипломом на X Петербургском международном экономическом форуме, серебряной медалью на международной выставке-конгрессе «Высокие технологии, инновации, инвестиции», проводившейся в 2006 г. в г. Санкт-Петербурге, серебряной медалью на VIII Московском международном салоне инноваций и инвестиций, гран-при за победу в конкурсе «Лучший инновационный проект и научно-техническая разработка» на III салоне инноваций Челябинской области.

УДК 624.012.3/4

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ РОССИИ

Кришан А.Л., Кришан М.А., Сабиров Р.Р.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Изложены мировые тенденции применения в строительстве сталебетонных конструкций. Приведены конструктивные решения, а также основные достоинства и недостатки трубобетонных колонн. Отмечены факторы, сдерживающие их широкое использование на практике. Даны предложения по усовершенствованию конструкции сжатых трубобетонных элементов. Практическое использование таких конструкций в опытном порядке осуществлено при строительстве двух объектов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Ключевые слова: сталебетонные конструкции, трубобетонные колонны, усовершенствование конструкции, предварительное обжатие, опытное внедрение.

В связи с продолжающимся экономическим кризисом металлургическая отрасль сейчас испытывает определенные трудности со сбытом своей продукции. В этой связи представляется актуальным поиск новых и расширение существующих областей применения металлопродукции. Одной из таких областей является строительство.

Анализ существующих мировых тенденций в строительной отрасли свидетельствует о том, что во многих экономически развитых странах при возведении зданий и сооружений все шире применяют сталебетонные конструкции. Безусловным лидером здесь является Япония [1], где ежегодно возводится не менее 150 многоэтажных зданий с увеличенной сеткой колонн с применением таких конструкций.

Сталебетонные конструкции обладают рядом существенных достоинств по сравнению с железобетонными или металлическими. Основные из них – высокие несущая способность, жесткость и надежность в эксплуатации, большая скорость возведения каркаса, а в конечном счете сокращение расхода материальных и денежных ресурсов на изготовление.

Например, в последнее время все большее распространение получают колонны, выполненные из стальных труб, заполненных бетоном. Они представляют собой один из немногих удачных примеров, когда бетон и сталь взаимно и существенно повышают несущую способность друг друга и всего элемента в целом.

В случае использования для внешней оболочки конструкций труб из углеродистой стали обыкновенного качества для ядра трубобетонных колонн (ТБК) наиболее эффективно применение тяжелых бетонов классов В20-В35. При необходимости использования бетонов более высокой прочности стальные трубы также рекомендуется принимать из сталей повышенной прочности.

Заполнение трубы бетонной смесью может осуществляться как методом заливки сверху (при этом желательно осуществлять закачивание смеси с помощью

бетононасосов по резиновым рукавам), так и методом накачки снизу, с одновременным омоноличиванием бетоном узлов сопряжения. В современном строительстве рекомендуется применять литые бетонные смеси.

Сжатые трубобетонные элементы классической конструкции обычно выполняют со сплошным поперечным сечением, как правило, круглым, реже – квадратным или прямоугольным (**рис**. 1). Внутри бетонного ядра может устанавливаться продольная или косвенная арматура, в том числе высокопрочная (**рис**. 2).

Преимущества конструктивного, технологического и экономического характера трубобетонных колонн, перечисленные в **таблице**, свидетельствуют о целесообразности их широкого практического использования.

При продольном сжатии трубобетонного элемента реактивное боковое давление, действующее со стороны стальной оболочки на бетонное ядро, создает для бетона благоприятные условия работы – объемное сжатие. В результате, прочность бетона при сжатии существенно возрастает (примерно в 1,6-2,7 раза). Стальная обойма, в свою очередь, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления твердой среды, предохранена от потери местной устойчивости.

Сжатые трубобетонные элементы, даже имеющие ядро из высокопрочного бетона, отличаются пластичным характером работы в предельном состоянии, что исключает опасность внезапного разрушения как отдельной конструкции, так и всего здания в целом.

Сжатые трубобетонные стержни, изготовленные из круглых стальных труб, отличаются равноустойчивостью вследствие осевой симметрии их поперечного сечения. Жесткость на кручение такого стержня на порядок выше, чем у стержней незамкнутого профиля.

За ненадобностью опалубочного оборудования процесс изготовления трубобетонных элементов значительно облегчается и становится выгоднее как по трудозатратам, так и по стоимости.

Также следует отметить, что огнестойкость ТБК значительно выше, чем у металлических конструкций и при величине наружного диаметра поперечного сечения трубы 426 мм достигает 2,5 ч без использования огнезащитных покрытий.

Несмотря на то, что исследованиями особенностей работы ТБК занимались многие отечественные ученые, среди которых следует отметить научные школы А.А. Долженко, Л.К. Лукши, И.Г. Людковского, Р.С. Санжаровского, Л.И. Стороженко, все же такие колонны не нашли широкого практического применения в России. Отчасти это обусловлено наличием известного конструктивного недостатка традиционных трубобетонных колонн – сложностью обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Ввиду разности начальных коэффициентов поперечной деформации бетона и стали ($\upsilon_b \approx 0{,}18\text{-}0{,}25$, $\upsilon_s \approx 0{,}3$), в процессе постепенного увеличения приложенной к трубобетонной колонне сжимающей силы, ядро и обойма работают совместно только в начальный период загружения. Затем, из-за указанной разницы в деформативных свойствах, внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений. Это может привести к нарушению сцепления между бетонным ядром и стальной оболочкой. Факторами, усугубляющими этот процесс, может стать усадка бетона и низкая прочность сцепления бетона с трубой.

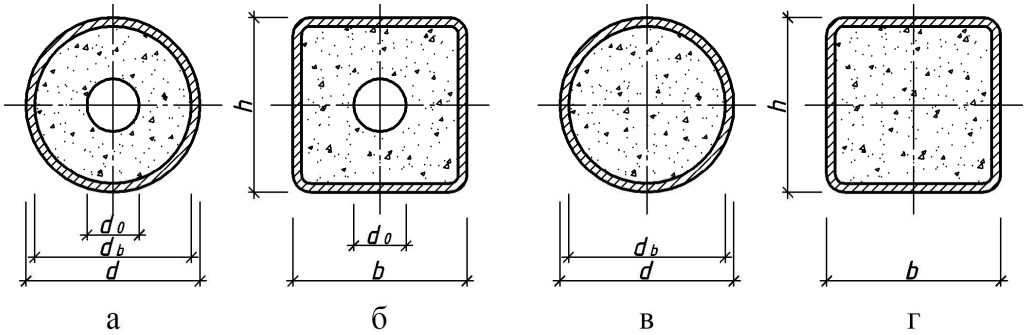

Рис. 1. **Формы поперечных сечений и варианты армирования бетонного ядра трубобетонных колонн**

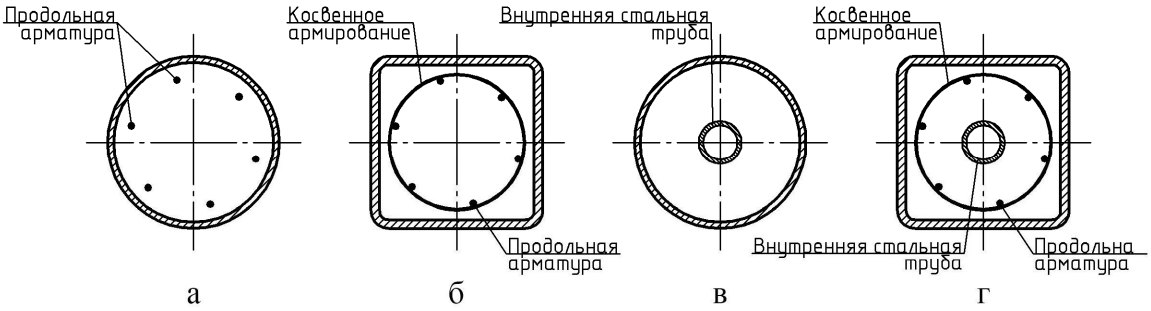

Рис. 2. **Варианты армирования бетонного ядра трубобетонных колонн**

Эксперименты свидетельствуют о невозможности полного использования прочностных свойств объемно сжатого бетонного ядра ТБК классической конструкции из-за их высокой деформативности. Деформации укорочения сжатого трубобетонного элемента перед его разрушением достигают величин, не позволяющих обеспечить условия нормальной эксплуатации для несущего каркаса здания. По результатам многочисленных опытов деформации укорочения центрально сжатых ТБК могут достигать 10-15% и более.

Основные преимущества трубобетонных колонн

Конструкционные и эксплуатационные	Технологические	Экономические
1. Высокая несущая способность, обусловленная ростом прочности бетона, работающего в условиях объемного сжатия. 2. Эффективность использования стальной обоймы, выполняющей роль продольной и поперечной арматуры. 3. Высокая надежность, обусловленная пластическим характером разрушения при использовании ядра из высокопрочного бетона. 4. Высокая стойкость здания к сейсмическим воздействиям, взрывам и ударам. 5. Повышение огнестойкости несущих элементов каркаса по сравнению со стальными конструкциями. 6. Повышение долговечности бетона и стойкости к атмосферным воздействиям. 7. Улучшение реологических характеристик бетона. 8. Снижение массы несущего каркаса	1. Выполнение стальной трубой роли первичного каркаса здания и несъемной опалубки для бетона. 2. Возможность осуществлять работы по монтажу каркаса в зимнее время. 3. Высокая скорость возведения каркасов, в 3-4 раза превосходящая аналогичную для классического железобетона. 4. Снижение объемов сварочных работ в 2-3 раза. 5. Возможность получения высокой прочности ядра из бетона на рядовых заполнителях и цементах средних марок	1. Сокращение расхода металла и бетона на возведение каркаса здания. 2. Отсутствие необходимости в использовании опалубки, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей. 3. Сокращение сроков строительства коробок зданий и сооружений в 1,5-2 раза. 4. Снижение себестоимости строительства коробок зданий и сооружений на 25-30%

В Магнитогорском государственном техническом университете предложена усовершенствованная конструкция сжатого трубобетонного элемента, имеющего предварительно обжатое в поперечном направлении бетонное ядро.

Предварительное обжатие ТБК осуществляется одним из двух способов:

– посредством длительного прессования бетонной смеси при их изготовлении;

– за счет применения напрягающего бетона, использующего энергию расширяющегося цемента.

Особенно эффективно применение длительного прессования, которое рекомендуется производить давлением 1,5-4 МПа двумя методами:

– с помощью пустотообразователя специальной конструкции;

– путем последовательного вдавливания в бетонную смесь вдоль направляющего стержня стальных труб с разными диаметрами.

В процессе прессования из бетонной смеси отжимается «свободная» (не вступившая во взаимодействие с частицами цемента) вода. Прессующее давление через бетонную смесь передается на внутреннюю поверхность стальной трубы-оболочки. Благодаря этому создается предварительное растяжение стальной оболочки и последующее обжатие бетонного ядра.

Сущность такой технологии подробно изложена в работах [2, 3].

Данная технология изготовления обеспечивает совместную работу бетона и стали на всех этапах работы трубобетонного элемента. Кроме того, бетон, твердеющий под давлением порядка 3 МПа, имеет прочность на 50-60% выше по сравнению с исходным бетоном такого же состава, а также существенно меньшие величины деформаций усадки и ползучести.

Эффективность использования высокопрочных бетонов в сжатых трубобетонных элементах усовершенствованной конструкции установлена по результатам испытаний более двухсот опытных образцов ТБК, имеющих различные геометрические и конструктивные параметры. Результаты экспериментов показали, что практически для всех предварительно напряженных образцов наблюдалось существенное повышение предела упругой работы (до 65%) и уровня разрушающей нагрузки. По сравнению с традиционными железобетонными элементами, имеющими аналогичные параметры бетона и арматуры, несущая способность выросла в 1,4-1,6 раза.

Полученные результаты можно объяснить значительным ростом прочности бетонного ядра в предварительно обжатых элементах вследствие одновременного проявления трех известных эффектов – длительного прессования бетонной смеси, предварительного бокового обжатия бетонного ядра и его работе в условиях объемного сжатия. В трубобетонных элементах усовершенствованной конструкции, за счет использования предварительно обжатого бетона, удалось достичь прочности бетонного ядра порядка 240 МПа.

Практическое использование таких конструкций в опытном порядке осуществлено при строительстве двух объектов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»:

– Комплекс толстолистового стана 5000 (использовано 8 колон высотой 6 м из трубы диаметром 820 мм, толщиной стенки 10 мм по ГОСТ 10704-91 и исходного бетона класса В20 в районе клети стана);

– Доменный цех. Печь №6. Реконструкция (стальные опоры пешеходной галереи литейного двора средней высотой 9 м из трубы диаметром 630 мм и толщиной стенки 8 мм по ГОСТ 10704-91 и исходного бетона класса В20).

Опытное внедрение трубобетонных колонн подтвердило их экономическую эффективность – стоимость колонн по сравнению с исходными вариантами удалось снизить не менее чем на 30%.

Таким образом, результаты выполненных масштабных экспериментов и опытного внедрения трубобетонных колонн усовершенствованной конструкции свидетельствуют о целесообразности их более широкого использования в практике строительства.

Список литературы

1. Nishiyama I., Morino S., Sakino K., Nakahara H. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. Japan. 176 p.
2. Кришан А.Л., Ремнев В.В. Трубобетонные колонны для высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №10. С. 22-24.
3. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: монография. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. 372 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERSPECTIVES TO APPLY CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS IN CONSTRUCTION PROJECTS OF RUSSIA

Krishan Anatoly Leonidovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Building Design and Constructions, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kris_al@mail.ru.

Krishan Maria Anatolyevna – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: skymanica@mail.ru.

Sabirov Rustam Ravilevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: sabirov_rustam66@mail.ru.

Abstract. The global tendencies to apply concrete filled steel tube constructions are presented. Structural concepts, as well as the main advantages and disadvantages of concrete filled steel tube columns are given. The factors to constrain their wide practical use are noted. Suggestions to improve the design of compression concrete filled steel tube elements are set out. Practical use of such structures in the experimental procedure is performed in the construction of two objects at OJSC «MMK».

Keywords: concrete filled steel tube constructions, concrete filled steel tube columns, improvement of the construction, prestressing, experimental installation.

References

1. Nishiyama I., Morino S., Sakino K., Nakahara H. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. Japan. 176 p.
2. Krishan A.L., Remnev V.V. Pipe-Concrete Columns for High-Rise Buildings *Promyishlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2009, no. 10, pp. 22-24.
3. Krishan A.L. *Trubobetonnyie kolonnyi s predvaritelno obzhatyim yadrom: monografiya* [Concrete filled steel tube Columns with Prestressed Core: monograph]. Rostov-on-Don: RSUCE, 2011, 372 p.