

2. Об энергосбережении : Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015 г. № 239-3.
3. Молодёжникова, Л.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Л.И. Молодёжникова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2011. – 205 с.
4. Беляев, В.С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий / В.С. Беляев, Л.П. Хохлова. – М. : Высш. шк., 1991. – 255 с.
5. СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : Минскстройархитектура, 2004. - 78 с.
6. ТКП 45-3.02-324-2018. Жилые здания. Строительные нормы проектирования. – М. : Минскстройархитектура, 2018. – 21 с.
7. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – М. : Минскстройархитектура, 2014. – 50 с.
8. Русланов, Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий / Г.В. Русланов, Э.Л. Ямпольский. – Киев : Будивельник, 1983. – 272 с.

**INCREASE ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY  
OF SYSTEMS OF HEATING AND VENTILATION  
OF BUILDINGS WITH TECHNOLOGICAL ATTICS**

**V. LIPKO, S. LANKOVICH**

*To improve the energy efficiency of heating and ventilation systems of buildings with technological attics, it is proposed to use a thermal ventilation system in which the heat of the air removed from the premises is utilized, as well as the heat of solar radiation and transmission heat loss of the building is used.*

**Keywords:** *hinged translucent facade; heat recovery; heat exchanger; ventilation; energy saving.*

**УДК 624.016**

**КОНСТРУКЦИИ С ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.  
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**И.В. ЛАЗОВСКАЯ**

*(Полоцкий государственный университет)*

*Рассматривается состояние вопроса применения железобетонных элементов с внешним армированием (трубобетона) в строительной отрасли. Приводятся основные этапы развития элементов с внешним армированием, их преимущества и недостатки, перспективы дальнейшего развития и факторы, ограничивающие массовое применение.*

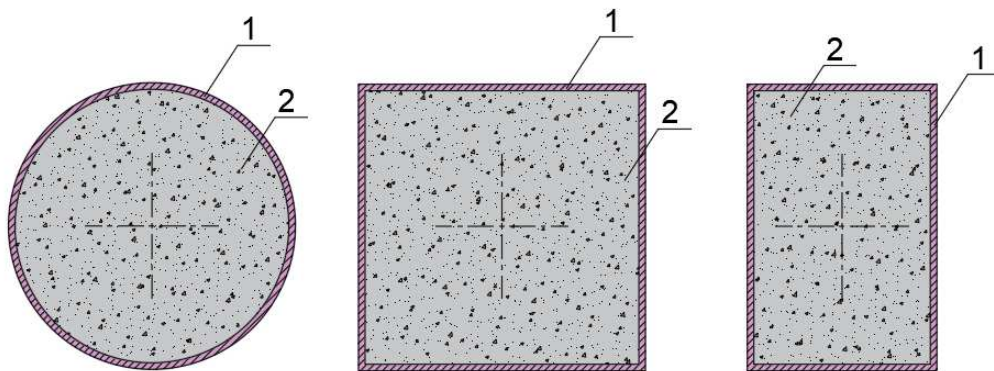
**Ключевые слова:** *железобетон, трубобетон, внешнее армирование, высотное строительство, высокопрочный бетон*

**Введение.** К настоящему времени, в связи с ростом высотности возводимых зданий и сооружений, одной из наиболее актуальных проблем становится проблема применения новых эффективных несущих конструкций, использование которых способствовало бы решению задачи снижения веса здания (сооружения), уменьшения объема несущих строительных конструкций в общем строительном объеме, а также снижение общих затрат при строительстве. Как один из возможных путей решения названной проблемы можно выделить применение новых эффективных видов стержней в виде стоек и колонн, которые способны выдерживать значительные нагрузки при малых поперечных сечениях. Одним из примеров сжатых стержней такого типа можно назвать трубобетонные конструкции, позволяющие решить ряд названных проблем, связанных с высотным строительством. Трубобетонные конструкции – конструкции, представляющие собой металлическую оболочку (трубу), заполненную бетоном, образующим внутреннее жесткое ядро. Стальная оболочка в таких конструкциях выступает не только в роли несъемной опалубки при изготовлении, но и является внешним продольным и поперечным армированием готовой конструкции, работающим совместно с бетонным ядром под действием нагрузки.

**История трубобетона.** Первые упоминания о конструкциях из трубобетона появились в начале XXв. В 1901 году ученый J.S. Sewell, впервые опубликовал статью, в которой описал применение сталь-

ной колонны квадратного сечения, заполненной бетоном. По результатам своих исследований J.S. Sewell сделал вывод о том, что внешнее армирование бетона может повышать жесткость и несущую способность конструкции за счет образования ржавчины на поверхности металлической оболочки. Основной вклад в развитие трубобетона, в частности, в методику анализа трубобетонных конструкций, внес профессор А.А. Гвоздев, который в 1932 г. опубликовал работу по методике расчета бетонных конструкций с внешним армированием [1]. Одним из первых примеров применения трубобетонных конструкций в строительстве является мост, построенный вблизи Парижа в 30-х гг. XXв., в качестве основных несущих элементов которого являлся пакет трубобетонных стержней (*многотрубное* армирование стержней малого диаметра). Позже, в 40хх гг. XXв. профессор В.А. Росновский в своих работах выдвинул предложение по использованию одной тонкостенной трубы, заполненной бетоном, в качестве несущей конструкции для строительства мостов. Это послужило широкому развитию применения *монотрубной* системы использования трубобетонных конструкций.

**Особенности трубобетонных стержней и предпосылки к их применению.** Трубобетонная конструкция представляет собой металлическую оболочку различных поперечных сечений, заполненную бетоном, работающим совместно с оболочкой (рис.). Использование круглых, квадратных и прямоугольных в сечениях трубобетонных элементов становится популярными для строительства высотных зданий и сооружений, т.к. они представляют особый интерес не только для разработчиков, ищущих применение новых и эффективных несущих конструкций, но и архитекторов, заинтересованных в эстетической точке новизны проектирования.



**Рисунок.** – Наиболее распространенные сечения трубобетонных элементов:  
1 – стальная оболочка; 2 – ядро из бетона

Результаты многочисленных исследований, проведенных рядом отечественных и зарубежных ученых [2], показал, что конструкция из трубобетона имеет значительное количество преимуществ в сравнении с традиционными железобетонными. Прочность на сжатие бетона ядра, заключенного в стальную оболочку, за счет ограничения поперечных деформаций повышается в 2 и более раза в сравнении с прочностью бетона без оболочки. Так же установлено, что в трубобетонных конструкциях не происходит усадки бетона ядра и напротив, происходит его набухание, что является дополнительным условием совместной работы ядра и оболочки. Основным фактором, обеспечивающим увеличение объема (набухание) бетона ядра, является изолированность бетона и отсутствие возможности обмена влагой между бетоном ядра и атмосферой внешней среды [4]. Это подтверждается опытами О.Я. Берга, который исследовал образцы из бетона, изолированные от внешней среды различными способами. При наличии изоляции деформаций усадок в образцах не наблюдалось, но после снятия изоляции спустя 130 суток после изготовления конструкции были выявлены деформации усадки, равные той, которую имели эталонные неизолированные образцы.

При заполнении стальной трубы бетоном происходит внутренняя защита металлической оболочки, что повышает коррозионную стойкость конструкции в целом. Помимо этого, сокращается гибкость элементов, повышается устойчивость стальной трубы, увеличивается сопротивление смятию готовой конструкции в узловых сопряжениях и при возможных неблагоприятных воздействиях во время транспортировки и монтажа. Стоит отметить, что у трубобетонных конструкций, в сравнении с подобными по прочности стальными конструкциями, за счет меньшей площади наружной поверхности (в среднем в 2 раза), значительно снижаются расходы материалов по защитной окраске при изготовлении и в процессе эксплуатации [3]. Наименьшую наружную площадь металла, и, как следствие, наибольшую корро-

зионную стойкость имеют трубобетонные конструкции цилиндрического сечения, т.к. собирают наименьшее количество пыли и грязи, которые провоцируют процессы атмосферной коррозии.

Наибольшую эффективность трубобетон показывает в сжатых и в сжато-изгибаемых элементах конструкции. При работе на растяжение трубобетонные элементы имеют несущую способность стальной трубы. Учитывая это, трубобетонные элементы несущего каркаса проектируют преимущественно сжатыми.

Использование цилиндрических стержневых элементов при строительстве зданий и сооружений с открытым каркасом, подверженных ветровым нагрузкам, дает возможность снизить эти нагрузки за счет улучшения аэродинамических свойств. Стержень круглого сечения является равноустойчивым в возможных плоскостях изгиба при одинаковых расчетных длинах в сравнении с прямоугольными. Жесткость при кручении такого стержня также значительно выше, чем у стержней открытого профиля либо замкнутых прямоугольных. Большим преимуществом использования трубобетонных конструкций в сравнении со стальными, является отсутствие необходимости окраски или герметизации внутренних поверхностей труб, которое обязательно для конструкций цилиндрического сечения, не заполненных бетоном.

**Технология заполнения труб бетоном.** Применение трубобетона в стройиндустрии решает не только вопрос новых, устойчивых и надежных в эксплуатации несущих конструкций, но и более простых с точки зрения технологии производства. В настоящее время существует три наиболее распространенных способа изготовления трубобетонных элементов, в частности, технологии наполнения и уплотнения бетона внутри стальной оболочки: вибрирование внешней оболочки, глубинное вибрирование, штыкование [2]. Глубинное вибрирование выполняется погружными глубинными вибраторами, по аналогии с традиционными железобетонными изделиями. Стальная тонкостенная труба при этом неподвижно зафиксирована на стенде. Названный способ уплотнения эффективен в использовании для труб диаметром свыше 100 мм, для труб меньших диаметров трудноприменим. Штыкование бетона при наполнении оболочки основано на введении в бетон стержней длины большей заполняемой трубы и ручным уплотнением. Металлическая труба изготавливаемого элемента при ручном способе уплотнения бетона также фиксируется и остается неподвижной, уплотнение бетона осуществляется за счет перемещения стержней. Недостатки данного способа заключаются в отсутствии возможности выполнения текущего контроля качества уплотнения бетонной смеси, и, следовательно, в снижении качества уплотнения бетона в трубе. Наиболее эффективным из названных является способ, основанный на вибрировании трубы изготавливаемого элемента (внешнее вибрирование). Вибрирование трубы производится на вибростоле либо виброплощадке с вертикальными гармоническими колебаниями. Трубы при этом методе уплотнения бетонной смеси крепятся к вибростолу (виброплощадке) в вертикальном положении. Бетонная смесь расчетной жесткости подается в предварительно закрепленную трубу сверху, с использованием загрузочных воронок, заполняет ее и одновременно уплотняется. При этом необходимо контролировать время уплотнения дабы не допустить расслоения бетонной смеси.

Другим, менее распространенным способом, является использование современных высокоподвижных самоуплотняющихся бетонных смесей, легкоперекачиваемых бетононасосами и практически не требующих интенсивного виброуплотнения.

**Преимущества трубобетона. Области применения.** Конструкции, выполненные из трубобетона имеют ряд преимуществ перед традиционными железобетонными: совместная работа стали и бетона в поперечном сечении увеличивает прочность и жесткость сечений; внешняя металлическая оболочка наиболее эффективна работает при поперечном растяжении и при сопротивлении изгибающему элементу. Кроме того, жесткость трубобетонных элементов значительно повышается за счет стали трубы, которая имеет гораздо больший модуль упругости, чем бетон и расположена дальше от центра тяжести, где имеет наибольшее значение для момента инерции и, как следствие, момента сопротивления сечения. Бетон заполнения трубы образует ядро, работа которого ограничена в поперечном направлении, и поэтому выдерживающее значительные напряжения сжатия и предотвращающее локальный изгиб стали оболочки, особенно в трубобетонных элементах прямоугольного сечения. Также известно, что ограничение стальной оболочки поперечных деформаций бетонного ядра повышает пластичность для трубобетонных элементов прямоугольного сечения. Учитывая это, наиболее экономически выгодно использовать трубобетон для изготовления колонн, подвергающихся значительной сжимающей нагрузке. Ряд дополнительных экономических выгод связан с использованием трубобетона: металлическая оболочка служит опалубкой в трубобетонной конструкции, что снижает трудозатраты и материальные затраты; при умеренно-высотном строительстве здание (сооружение) с применением конструкций из трубобетона возможно возвести в более короткие сро-

ки, чем с применением аналогичных по прочности железобетонных конструкций. Кроме того, стальная труба и бетон взаимодействуют друг с другом, тем самым заменяя арматуру, используемую в традиционном железобетоне, что снижает затраты на материалы и затраты на соединения. Использование высокопрочного бетона для изготовления элементов трубобетонных колонн допускает значительно большую нагрузку на конструкцию в отличие от традиционных железобетонных. Применение высокопрочных бетонов дает возможность изготавливать колонны из трубобетона меньшего диаметра, что увеличивает полезную площадь в строящихся зданиях [4]. Меньшая и более легкая конструкция значительно уменьшает нагрузку на фундамент, снова сокращая расходы. Эти преимущества обеспечивают растущую роль трубобетонных конструкций в современном строительстве.

Лидирующее место в области использования трубобетона занимает КНР. Кроме высотных зданий трубобетон используется при строительстве мостов, метро, в многоэтажных уличных развязках и других сооружениях [5, 6]. В практике строительства на постсоветском пространстве также достаточно часто используется металлическая оболочка в качестве несъемной опалубки. Так, например, при строительстве АО «Банк Санкт-Петербург» использована несъемная опалубка колонн, что позволило снизить трудоемкость работ по возведению вертикальных конструкций до 20%. В Республике Беларусь трубобетонные стойки были использованы при возведении книгохранилища Национальной библиотеки.

Перспективы развития. В современных реалиях строительной отрасли РБ важным является экономичность конструкций. Этому требованию удовлетворяют строительные конструкции из трубобетона, в которых роль арматуры и несъемной опалубки при изготовлении выполняют стальные трубы.

Ученые озадачены вопросом устранения некоторых конструктивных недостатков трубобетонных конструкций. Главным шагом по усовершенствованию таких конструкций стало применение высокопрочных бетонов для заполнения стальной оболочки. Также разработаны технологии по возведению многоэтажных домов (высотное строительство), а также типовых домов повышенной комфортности. Однако, главной задачей, для возможности массового применения элементов из трубобетона, остается разработка нормативных документов по проектированию и расчету конструкций с внешним армированием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев, А.А. Теория и расчет бетона в сплошной металлической обойме / А.А. Гвоздев // ЦНИИСК. – 1933. – Ч. 1. – 113 с.
2. Кузнецов, К.С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.С. Кузнецов ; Магнитогорский гос. техн. ун-т. – 2007.
3. Аймагамбетова, С.М. Высотное строительство с учетом применения трубобетонных конструкций : дис. ... магистр техн. наук / С.М. Аймагамбетова ; СПбГПУ. – 2013
4. Liu, M.X. Design method of new composite-sectioned concrete-filled steel tubular columns / M.X. Liu // Building Structure. – 2014. – Vol. 44(4) – Pp. 39–43.
5. Ehab, Ellobody. Behaviour of normal and high strength concrete-filled compact steel tube circular stub columns / Ehab Ellobody, Ben Young, Dennis Lam // Journal of Constructional Steel Research – 2006. – 62, 706–71.
6. Uenaka, K. Experimental study on short concrete filled double steel tubular columns under compression / K. Uenaka, H. Kitoh, K. Sonoda // Kou Kouzou Rombunshuu. – 2007. – Vol. 14(53). – Pp. 67–75.

#### EXTERNAL REINFORCEMENT CONSTRUCTIONS. APPLICATION AREA. PROSPECTS FOR FURTHER DEVELOPMENT

##### I. LAZOUSKAYA

*This article discusses the status of the use of reinforced concrete elements with external reinforcement (pipe filled with concrete) in the construction industry. The main stages of the development of elements with external reinforcement, their advantages and disadvantages, the prospects for further development and the limit factors for mass use are given.*

**Keywords:** reinforced concrete, pipe filled with concrete, external reinforcement, high-rise construction, high-strength concrete.