

### Пассивная активность строительных инноваций

В своем послании Федеральному собранию в 2018 году президент страны поставил задачу увеличить ВВП на душу населения в 1,5 раза к середине следующего десятилетия. В этом случае ежегодный темп роста ВВП должен составлять более 6% вместо сегодняшних скромных 1,6%. Если темпы роста останутся на таком же уровне, а мировая экономика будет прибавлять по 3,5 % в год (что вполне реалистично), то мы будем всё больше отставать от всего мира, а не только от Китая, Европы или США. Через некоторое время России придется догонять и Грецию, и Турцию, и Казахстан... Нет сомнений, что низкий темп развития российской экономики связан с пассивностью в реализации инноваций при отсутствии практической государственной поддержки. Несомненно, что именно планомерная система внедрения прогрессивных изобретений, техники и технологий, лучшие из которых защищаются патентованием, определяет развитие промышленных отраслей и рост ВВП.

В этой связи утешительно звучат цифры, декларированные в очередных планах нашего оптимистически настроенного президента:

«В целях осуществления прорывного научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации, увеличения численности населения страны, повышения уровня жизни граждан, создания комфортных условий для их проживания, а также условий и возможностей для самореализации и раскрытия таланта каждого человека постановляю:

1. Правительству Российской Федерации обеспечить достижение следующих национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года:

<...>

д) улучшение жилищных условий не менее 5 млн семей ежегодно;

е) ускорение технологического развития Российской Федерации, увеличение количества организаций, осуществляющих технологические инновации, до 50 процентов от их общего числа;

<...>

6. Правительству Российской Федерации при разработке национального проекта в сфере жилья и городской среды исходить из того, что в 2024 году необходимо обеспечить:

а) достижение следующих целей и целевых показателей:

– обеспечение доступным жильем семей со средним достатком, в том числе создание возможностей для приобретения (строительства) ими жилья с использованием ипотечного кредита, ставка по которому должна быть менее 8 процентов;

– увеличение объема жилищного строительства не менее чем до 120 млн квадратных метров в год; <...>»\*.

К искреннему желанию руководства страны сделать что-то хорошее для россиян в области строительства и стройиндустрии относится и Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р «О стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г.» (остающееся, кстати, пока на бумаге, так как в Минпромторге РФ не представляют, как принятую Стратегию реализовать в жизнь).

Можно посочувствовать нашим чиновникам, ведь выполнить поставленные задачи будет практически невозможно.

Движущей силой инноваций в любой отрасли производства являются результаты многолетней работы тружеников созидательной науки, которой в СССР занимались сотни тысяч инженеров и ученых в отраслевых институтах. Только в строительном комплексе функционировало более полусотни институтов, оснащенных приборами и испытательным оборудованием, экспериментальными базами, сотрудники которых создавали новые строительные материалы, машины и технологии, занимались разработкой технической документации и нормативной базы. К настоящему времени 90 % этих наработок уничтожено, так же как и потеряны тысячи высококвалифицированных специалистов строительной науки. Вместо них сейчас «трудятся» эффективные менеджеры...

В системе Минстроя России остатки строительной науки собраны в Москве — в АО «НИЦ «Строительство», у которого недавно была отчуждена значительная часть территории, ликвидирован экспериментальный Завод опытных конструкций изделий и оборудования (ГУП «ЗОКИО»), а немногочисленные специалисты трех институтов научно-исследовательского центра (НИИЖБ им. А.А.Гвоздева, НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко) борются за существование.

Все вышеизложенное объясняет, почему российские строители используют технологии полувековой давности. Например, в прошлом году большинство домов возводилось по следующим технологиям:

- кирпичная кладка с утеплением стен — 33,5 %;
- сборный железобетон с несущими панелями 13,5 %;
- монолитный железобетон 12.2 %;
- монолитный железобетон с кирпичом — 21,6 %;
- блочное строительство 18,2 %.

<sup>\*</sup> Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». — URL: http://kremlin.ru/acts/bank/43027.

Учитывая немалые сроки строительства по всем указанным технологиям (в среднем для многоэтажных домов — около трех лет), суммарный расход средств и желание строителей извлекать весьма хорошую прибыль, получаем весьма призрачные перспективы доступного жилья для жителей нашей страны. Да и сами объемы вводимого в строй жилого фонда в последние годы падают, невзирая на оптимизм руководства страны. Если в 2014 году в России было сдано 84,2 млн м<sup>2</sup> жилья, в 2015 году — 85,3 млн м<sup>2</sup>, то в 2016 году введено всего 80,2 млн м<sup>2</sup> жилой площади, в 2017 году — 78,6 млн м<sup>2</sup> и в 2018 году построено 77,5 млн  $M^2$ жилья для россиян.

Еще одной приметой времени является постоянный рост средней этажности возводимого в России жилья: в 2016 году она составляла 14,7 этажа, в 2017–15,1, а в 2018 году достигла значения 16,3. Это свидетельствует об удорожании земли в городах и стремлении застройщиков возводить более высокие здания. Доля строящихся высоток (более 25 этажей) возрастает еще стремительнее: в 2016 году — 9,2 %, в 2017 году — 11,7 %, а в 2018 году — 15,2 % к общему объему введенного в России жилья.

Технологическая отсталость строителей (строим долго и дорого), естественно, сказывается на гражданах России — достаточно упомянуть цену квадратного метра жилья в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и других крупных городах. Заботливое правительство, озадаченное массой негативных примеров обманутых дольщиков, не получивших свое оплаченное жилье, приняло решение об отказе с 1 июля 2019 года от долевого строительства и введении проектного финансирования жилищного строительства. Большинство экспертов предсказывают повышение стоимости жилья по этой схеме на 10-20%, и это при том условии, что оно и сегодня мало кому доступно. Более того, к технологическим проблемам добавляется привычка девелоперов продавать жилье, например в Москве, за 3000–5000 долл. США и выше за квадратный метр при его себестоимости в 1000 долл. США.

### Технологии строительства в России

Развивающееся многоэтажное и высотное строительство делает упор на железобетонные монолитные каркасы. Эта технология в климатических условиях России имеет серьезные недостатки, приводящие к значительному удорожанию и увеличению сроков строительства:

- необходимость приготовления и дальнейшей транспортировки бетонных смесей с сохранением их качества;
- многодельность, затратность труда, материалов и времени для установки и съема опалубки;
- необходимость подготовки и крепежа стальной арматуры;
- сложности подачи бетонных смесей на высоту зданий и выполнения равномерной заливки в межпалубное пространство;
- необходимость теплоизоляции и прогрева железобетонных конструкций;
- проблемы обеспечения качества бетонных конструкций при твердении в различных погодных условиях;
- отрицательное влияние на здоровье жильцов воздухонепроницаемых монолитных стен с воздухонепроницаемыми стеклянными поверхностями, неэкологичность систем вентиляции;
- необходимость утепления несущих коробок зданий с применением различных видов «эффективных» теплоизоляционных полимерных или волокнистых материалов, пожароопасных

и содержащих фенолформальдегидные связующие, негативно влияющие на экологию среды обитания.

Строительство высотных зданий, отличающихся значительной массой и парусностью (что особенно важно в условиях достаточно слабых московских грунтов) в сочетании с жесткими климатическими условиями и значительными ветровыми нагрузками, предполагает ужесточение требований к строительно-техническим свойствам применяемых конструкций, изделий и материалов, а также к технологии утепления коробки зданий, выразительности и долговечности фасадов. Важное значение для возведения высоток приобретает конструктивная схема здания, включающая несущую часть и ограждающие конструкции. Увеличение высоты здания многократно повышает нагрузки на несущие конструкции. В высотном строительстве применяются различные варианты конструктивных схем: каркасная, рамнокаркасная, поперечно-стеновая, ствольная, коробчатая, ствольнокоробчатая и другие [1]. Несущая часть многоэтажных и высотных зданий в настоящее время выполняется в двух основных вариантах:

- монолитной оболочки из железобетона;
- каркаса из железобетонных колонн с горизонтальными железобетонными перекрытиями.

Третий вариант — стальной каркас — запрещен в связи с возросшими требованиями к пожарной безопасности после известных событий с башнями-близнецами в Нью-Йорке в 2001 году и аварийных разрушений строений в Москве и других российских городах.

Применяемая сегодня монолитная оболочка в виде несущей и ограждающей конструкции существенно утяжеляет здания. Если учесть, что толщина такой оболочки варьируется от 400 мм в нижней части высоток до 200 мм на верхних этажах, то только бетонная часть стены (без утепления и отделки фасада) будет иметь удельную массу от 1,0 т/м² в нижней части до 0,5 т/м² в верхней части зданий. Многоэтажные и тем более высотные здания отличает значительный вес, большая стоимость примененных материалов и трудозатраты, связанные с длительными сроками строительства.

Можно приветствовать акселерационную программу Build UP Фонда «Сколково» и Фонда развития интернет-инициатив (ФРИИ), начавших совместно с ведущими девелоперами России — компаниями «Галс-Девелопмент», «Донстрой» и «ФОДД» — поиск инноваций в строительной отрасли для их селекции и оперативного (в течение трех месяцев) запуска в виде пилотных проектов по направлениям «Сроки и стоимость строительства», «Инженерные системы дома», «Качество жизни» и «Поддержка продаж».

Для строительства высотных зданий весьма эффективной представляется перспектива использования облегченных конструкций каркасов, выполненных в виде железобетонных или трубобетонных колонн, связанных дисками перекрытий [2]. Каркасная схема высотных зданий позволяет существенно смягчить требования к ограждающим конструкциям, исключив несущую функцию стен, при этом жесткость зданий может обеспечиваться центрально расположенными «ядрами» конструкций, включающих лестнично-лифтовые узлы.

Разработанная ОАО «Московский ИМЭТ» архитектурно-строительная концепция высотного и многоэтажного возведения зданий (система «ИМЭТ») включает:

• трубобетонные сваи с повышенной несущей способностью;

- трубобетонные колонны высотой в три этажа с опорными пластинами для болтового крепления колонн по вертикали и длинномерных ригелей на уровне перекрытия каждого этажа здания;
- длинномерные преднапряженные ригели;
- пустотные плиты для межэтажных перекрытий, опирающиеся на ригели и связанные постнапряжением в диске перекрытия;
- облегченные навесные панели для ограждающих стен зданий и шумопоглощающих внутренних перегородок;
- водный резервуар в виде бассейна на крыше здания емкостью не менее 500–600 м³ воды для системы пожаротушения и обеспечения устойчивости здания при ветровых и сейсмических воздействиях.

## Трубобетон в несущих конструкциях

Выдающиеся свойства трубобетона, изобретенного в 1932 году Алексеем Алексеевичем Гвоздевым, предложившим методику расчета новой конструкции, нашли свое подтверждение в многочисленных исследованиях таких систем в СССР, а впоследствии — в России и СНГ.

К настоящему времени накопленный потенциал включает:

- результаты исследований теории применения трубобетона в строительстве, экспериментальных работ, методов расчетов, инженерных и проектных решений конструкций из трубобетона, опубликованные более чем в 300 трудах и патентах, десятках кандидатских и докторских диссертаций и более 30 монографиях;
- практический опыт применения в России и странах СНГ трубобетонных конструкций в условиях значительных несущих

- и изгибающих нагрузок при строительстве с высокой экономической эффективностью мостов, промышленных цехов, спортивных комплексов, зданий и сооружений, а также жилья;
- неограниченную материальнотехническую базу реализации технологии трубобетона для массового строительства жилья — наличие необходимого сортамента стальных труб и высокопрочных бетонов, отечественного оборудования и комплектующих;
- существенный за последние годы в России прогресс технологий получения и подачи на большую высоту бетонных смесей с высокой подвижностью для высокопрочных, быстротвердеющих и напрягающих бетонов.

Использование в России трубобетонных конструкций санкционировано существующими строительными нормами и правилами, выбор таких конструкций определяется методом расчета и может быть применен для любых зданий и сооружений. Использование трубобетонных конструкций предусмотрено Московскими городскими строительными нормами МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве» и разработанным нами в 2011 году совместно с НИИЖБ НИЦ «Строительство» стандартом организации СТО 36554501-025-2011 «Трубобетонные колонны».

Трубобетон обладает исключительно высокой несущей способностью при небольших поперечных сечениях колонн, являясь прекрасным примером оптимального сочетания выдающихся качеств металла и бетона (табл. 1). При этом стальные трубы выполняют роль несъемной опалубки при бетонировании, обеспечивая как продольное, так и поперечное

Материал колонн	Площадь сечения колонны, м²	Диаметр колонн, м	Площадь металла, м²	Площадь бетона, м²	Расход металла,%	Расход бетона,%	
Железобетон	0,405	0,670	0,023	0,382	127	118	
Металл	0,059	1,000	0,059	_	304	_	

Таблица 1. Сравнительный расход материалов на несущие колонны (нагрузка 1500 т)

0,630

армирование бетона, ими воспринимаются нагрузки по всем направлениям и под любым углом.

0,321

Трубобетон

Бетон в трубобетоне находится в условиях всестороннего сжатия и в таком состоянии выдерживает напряжение, существенно превышающее его призменную прочность. Особенно эффективны трубобетонные конструкции при больших напряжениях с относительно малыми эксцентриситетами.

Для высотных и большепролетных сооружений и зданий существенным является тот факт, что трубобетонные конструкции отличаются способностью в экстремальных условиях длительное время выдерживать значительные нагрузки, в отличие от конструкций стальных и железобетонных, теряющих в таких условиях несущую способность мгновенно. Эта особенность трубобетонных конструкций позволяет при их применении считать реальной возможность исключения катастроф, связанных с обвальным разрушением зданий и сооружений.

В экспертном заключении о причинах катастрофы в московском аквапарке «Трансвааль—парк» профессор А. Лещенко сделал вывод [3], что «перед катастрофой произошла местная потеря устойчивости элемента оболочки 11-й колонны, что повлекло ее складывание и обрушение купола покрытия. Элемент оболочки колонны мог потерять чисто крутильную, сдвиговую или изгибную форму потери устойчивости. Проверка на крутильно-сдвиговые формы потери устойчивости колонн

существующими СНиПами не предусмотрена.

0.019

0,302

Если бы такая проверка была, то проектировщики обязательно заполнили бы полую стальную колонну бетоном, и катастрофы могло бы не быть. По этой же причине произошло обрушение крыши на автостоянке гипермаркета «Метро» по Дмитровскому шоссе: потеря местной устойчивости полой колонны повлекла складывание самой колонны... Чтобы избежать подобных трагедий в будущем, необходимо пересматривать и менять существующие строительные нормы... При восстановлении покрытия аквапарка необходимо заменить полые опорные колонны на трубобетонные прежнего диаметра. Отказаться от практики строительства тяжелых ж/б оболочек... По данным статистики, 45 % аварий и катастроф в строительстве происходит из-за потери устойчивости металлических конструкций.»

В отличие от конструкций, перечисленных в заключении эксперта, каркас здания «Водопад чудес», построенного недавно в г. Магнитогорске, выполнен с применением трубобетона в виде основных несущих колонн, что исключает их обвальное разрушение в условиях любых экстремальных воздействий на конструкции.

Помимо всех конструкционных преимуществ трубобетонные системы обладают достоинствами металлических конструкций с точки зрения монтажа, отличаясь при этом от последних более высокой несущей способностью и огнестойкостью.

## Мировая трубобетонная практика

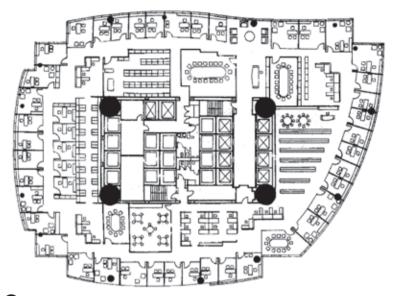
100

100

Прекрасные конструкционные и строительно-технические свойства трубобетона позволяют строителям США, Франции, Германии, КНР эффективно применять его в самых различных областях строительства, в частности таких ответственных, как в строительстве мостов и метро, а также торговых, культурных, промышленных и жилых зданий.

В 1988 году в г. Сиэтле (США) построено 58-этажное здание из трубобетона (рис. 1), в котором основными вертикальными несущими конструкциями являются образующие центральный ствол четыре массивные колонны из стальных труб, наполненные высокопрочным бетоном (прочность на сжатие 133 МПа в возрасте 56 суток твердения). По периферии здания вдоль наружных стен располагаются 14 трубобетонных колонн диаметром от 136-91 см в нижней части до 41 см в верхней части высотки. Совместная работа ствола и наружных стен обеспечена стальными диагональными связями в уровнях 35-38 этажей, а также сталежелезобетонными конструкциями балок и плит межэтажных перекрытий.

Новая конструктивная система, получившая свое название от наименования разработавшей ее фирмы SWMB (Skilling Ward Magnusson Barkshire Inc.), позволила построить сотни высотных зданий в США, продемонстрировавших эффективность трубобетона. Например, используя опыт



•, — колонны из трубобетона

Puc. 1. План типового этажа высотного здания Gateway Tower (г. Сиэтл, США), построенного по системе SWMB

возведения вышеописанного здания в Сиэтле, фирме удалось снизить на 30 % затраты на строительство высотки подобной этажности из железобетонных колонн: в частности, расход стали составил 58 кг на 1 м² площади против 122 кг/м², затрачиваемых обычно для сооружений такой этажности. Применение трубобетона позволило

осуществлять бетонирование конструкций высотных зданий со скоростью четыре этажа в неделю [4]. Специалисты США отмечают также, что применение трубобетонных колонн с высокопрочным бетоном обеспечивает значительную устойчивость многоэтажных строений к сейсмическим воздействиям.

Низкую материалоемкость, высокую огнестойкость трубобетона, возможность сочетания с различными конструкциями перекрытий отмечают французские специалисты, разрабатывающие каркасные конструктивные системы зданий с несущими колоннами из трубобетона [5].

Первое в Австралии жилое здание из трубобетона высотой 46 этажей построено в 1990 году в Мельбурне. План стандартного этажа приведен на рис. 2, а. Ядро здания образовано прямоугольными сталебетонными центральными шахтами, состоящими из лифтовых и инженерных отсеков, а также лестничного пространства. Каждое перекрытие представляет собой комплекс плит из монолитного бетона и стальных балок. По периферии здания расположены 24 трубобетонные колонны. Длина каждой секции трубы равна 8 м (в два этажа).

На двух концах стальных труб в каждой секции на внутренней поверхности прикреплены кольца для оказания сопротивления срезу и для обеспечения совместной работы стальных труб и бетонного

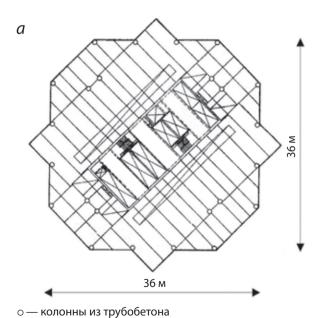
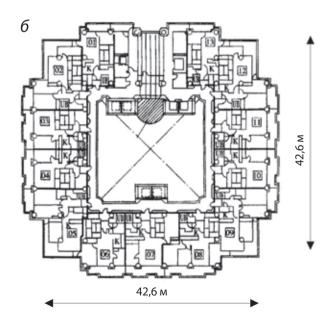


Рис. 2. Планы типовых этажей жилых зданий из трубобетона: а— в г. Мельбурне (Австралия); б— в г. Кавагучи (Япония)



ядра. Толщина стенки стальной трубы постепенно уменьшается с 16 мм на нижних этажах до 8 мм на самых верхних. Соответственно, прочность бетона в трубах уменьшается от 70 МПа на нижних до 30 МПа на верхних этажах. Бетон внутри стальных труб заполнялся сразу на четыре этажа с помощью бетононасоса без вибратора. Трубобетонные колонны покрывались противопожарным торкретпокрытием. Отмечена значительная экономия сроков и средств при строительстве высотки.

В Японии также ведется строительство жилья с применением трубобетона. Здание в 57 этажей высотой 185,8 м построено в г. Кавагучи, недалеко от Токио. Площадь участка застройки составила 1982 м², общая площадь здания 66 057 м², в нем расположено 650 квартир (рис. 2, б).

Основой здания является каркас из трубобетона, стальные трубы с первого по 21 этаж имеют диаметр 812,8 мм, толщину стенки 22-40 мм; с 22 по 42 этаж — диаметр 711,2 мм, толщину стенки 12-28 мм; с 43 по 55 этаж — диаметр 609,6 мм, толщину стенки 12-22 мм. Прочность бетона внутри труб составляет соответственно 60; 54 и 48 МПа. Стальные трубы делятся на секции на каждом этаже. При строительстве бетон подавался в верхнюю часть труб свободным падением. Перекрытие заполняли бетоном по этажам. Здание было возведено за 15 месяцев.

Трубобетон, безусловно, относится к наиболее устойчивым конструкциям. Специальное исследование французских ученых [5] и научный труд Б. Н. Нурадинова [6] показали, что огнестойкость трубобетонной колонны диаметром 400 мм без применения какой-либо защиты составляет около двух часов, а при нанесении защитной оболочки можно обеспечить практически любую требуемую огнестойкость. Так, во время

проектирования здания мэрии г. Вупперталь (Германия) была поставлена задача возведения несущих колонн из трубобетона диаметром не более 600 мм, обладающих противопожарными свойствами и способных передавать нагрузку в 8000 кН.

Для решения данного вопроса были применены двойные концентрические трубобетонные колонны, при этом трубы внешних слоев имеют диаметр 558 мм, толщину стенки 12,5 мм; трубы внутренних слоев имеют диаметр 406,4 мм, толщину стенки 17,5 мм. В случае сильного пожара нагрузку на себя примет внутренняя труба и ее бетонное ядро.

Наиболее широко в последние десятилетия трубобетон начал применяться в КНР, где создана нормативная база его использования в строительстве. Опыт китайских строителей во многом базируется на научных работах российских, украинских и белорусских инженеров и ученых, а также российской нормативной базе. Специалисты НИИЖБ, ЦНИИСК, ЦНИИС и многих других институтов бывшего СССР (А А. Гвоздев, В. А. Росновский, Л.И. Стороженко, А.К. Кикин, Р. С. Санжаровский и другие) в своих трудах заложили основы мировой нормативной базы по трубобетонным конструкциям.



Рис. 3. 72-этажное здание с каркасом из трубобетона на площади Сайгэ в г. Шэньчжэне (КНР)

В КНР в 1999 году выпущен стандарт китайского инженерно-строительного общества стандартизации «Техническая спецификация сверхпрочных бетонных конструкций» СЕСS104:99, в котором специальный раздел посвящен трубобетонным конструкциям. Кроме того, в Китае опубликованы десятки монографий, среди которых выделяется фундаментальный труд Цао Шао Хуай [7], защитившего в 1961 году в СССР кандидатскую диссертацию по трубобетону.

По опубликованным данным, в течение последних десяти лет применение каркасов из трубобетона в КНР стало государственной идеологией в строительстве, построено уже более 300 небоскребов и строятся еще сотни. Первое среди них — здание небоскреба на площади Сайгэ в Шэньчжэне (рис. 3): в надземной части имеется 72 этажа, в подземной — 4, общая высота составляет 291,6 м, общая площадь здания превышает 160 тыс. м<sup>2</sup>. Это многофункциональное комплексное сооружение, спроектированное и построенное с учетом возможности семибалльного землетрясения [7].

В последнее время все более ясной для ученых становится картина разрушений сооружений при сильном землетрясении. Деструкция происходит не столько под воздействием горизонтальных сейсмических сил, как это считалось прежде и до сих пор записано в нормах проектирования,

в действительности здания разрушаются из-за гравитационных сил, то есть веса сооружения, а также вертикальных составляющих землетрясения, действующих на строение, уже имеющее сейсмические повреждения и горизонтальные перемещения [8].

После проведения необходимых исследований и при правильном проектировании можно получить оптимальные решения — одновременно сейсмически надежные, безопасные для населения и экономически эффективные. Учитывая, что пока еще никто в мире не умеет делать краткосрочные прогнозы сильных землетрясений, единственный способ защитить население от сейсмических бедствий — это научиться встречать их во всеоружии, и строительство зданий и сооружений с каркасами из трубобетона является одним из наиболее эффективных шагов на этом пути. По мнению президента Российской ассоциации по сейсмостойкому строительству Я.М. Айзенберга, трубобетонные несущие каркасы сами по себе позволяют достичь высокой сейсмостойкости.

Значительный практический опыт строителей Китайской Народной Республики полностью подтвердил преимущества трубобетонных конструкций, выявленные многочисленными исследованиями ученых разных стран (табл. 2). Китайские специалисты также активно развивают сверхскоростное сборное строительство высотных

зданий из конструкций заводского изготовления. Примером тому служит построенная в 2012 году в провинции Хунань 30-этажная пятизвездочная гостиница из сборных конструкций. Здание с инженерными сетями и отделкой было возведено на голом участке земли за 15 дней. Себестоимость строительства составила 1000 долл. США за 1 м².

# Сопряжения трубобетонных колонн с перекрытиями

Рассматриваемая система «ИМЭТ» предлагает использовать несущие колонны из трубобетона в сочетании с длинномерными ригелями сборных перекрытий на основе напряженного железобетона, возводимого в построечных условиях сборкой пустотных перекрытий по технологии post tension (*nep. с англ.* — последующее напряжение), широко применяемой в настоящее время в США, Канаде, Испании, ОАЭ, Германии и других странах.

По этой технологии внедряется новая система обеспечения высокой несущей способности больших пролетов изгибаемых железобетонных конструкций. Так, в частности, фирма GTI (General Technologies Inc., г. Хьюстон, США) поставляет комплектные системы для ежегодного производства изделий преднапряженного и постнапряженного бетона по новой технологии общей площадью 5 млн м².

Таблица 2. Основные преимущества технологии трубобетона на примере опыта китайских строителей [7]

Конструкционные и эксплуатационные	Технологические	Экономические
Высокая несущая способность трубобетонных колонн     Эффективность работы стальной обоймы — трубы вместо арматуры     Повышение прочностных показателей, долговечности и стойкости бетона, находящегося в трубе     Трехосное сжатие бетона, находящегося в трубе     Снижение массы несущего каркаса здания     Повышение огнестойкости стальных конструкций каркаса     Высокая стойкость здания к сейсмике, взрывам, предельным нагрузкам и ударам	1. Выполнение стальной трубой роли первичного каркаса здания и несъемной опалубки для бетона 2. Работа в зимнее время 3. Высокая скорость возведения каркасов из трубобетона, в 3—4 раза превосходящая аналогичную для классического железобетона 4. Снижение объемов сварочных работ в 2—3 раза	1. Сокращение расхода металла на возведение каркасов здания в 1,8–2 раза 2. Сокращение сроков строительства коробок зданий и сооружений в 1,5–2 раза 3. Снижение себестоимости строительства коробок зданий и сооружений на 25–30 %

Трубобетонный каркас здания можно рассматривать как ансамбль колонн, перекрытий и соединительных элементов (стыков) для сопряжения колонн с перекрытиями. Колонны могут изготавливаться непосредственно на строительной площадке и соединяться по вертикали с перекрытиями опорными пластинами с болтовыми соединениями, что значительно ускоряет и упрощает монтаж, а также улучшает условия возведения сооружений, особенно высотных и большепролетных зданий. ОАО «Московский ИМЭТ» в дополнение к большому числу известных стыков разработало

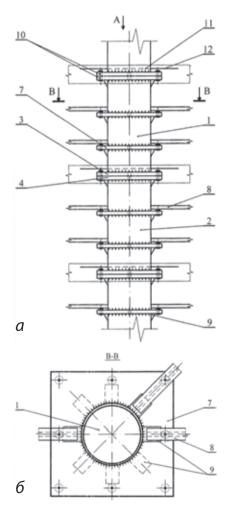


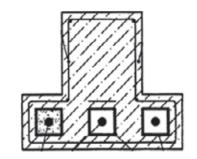
Рис. 4. Вид на сборные трубобетонные колонны с опорными пластинами ригелей на болтовых соединениях:

а — по вертикали; б — по горизонтали

различные варианты сопряжения сборных трубобетонных колонн с перекрытиями, реализация которых позволяет добиться радикального ускорения монтажа каркасов многоэтажных и высотных зданий (рис. 4).

Как видно на рисунке, сборная трубобетонная колонна содержит соосно расположенные стальные трубы 1 и 2 (например, круглой формы) высотой в три этажа каждая, заполненные бетоном, например класса В-30. На торцах каждой трубы размещен соединительный элемент — узел сцепления, включающий верхнюю 3 и нижнюю 4 квадратные стальные опорные пластины, расположенные соосно струбами 1 и 2, приваренные к ним и выполненные с углублениями посадочными выемками глубиной от 0,2 до 0,5 толщины пластин для вхождения в них концов стальных труб. Пластины 3 и 4 приварены к наружной поверхности труб непрерывным швом.

Размеры опорных пластин должны обеспечивать надежность соединения трубчатых строительных конструкций в единую трубную колонну по вертикали за счет достаточной площади опирания трубчатых конструкций и болтового скрепления их между собой. Болтовые скрепления как



Puc. 5. Сечение преднапряженного длинномерного ригеля

торцевых, так и промежуточных опорных пластин позволяют прочно и оперативно соединить с трубчатой строительной конструкцией преднапряженные ригели (рис. 5) для укладки на них пустотелых плит перекрытий, стянутых стальными канатами в единый диск перекрытия (рис. 6).

На рис. 5 показано сечение разработанного нами совместно с коллегами из НИИЖБ преднапряженного длинномерного ригеля. Напрягаемый арматурный элемент ригеля включает дополнительный внешний армирующий контур в виде цилиндрической или прямоугольной в сечении жесткой стальной или неметаллической обоймы, симметрично расположенной относительно напрягаемой арматуры и заполненной бетоном с определенным напряжением обжатия бетона.

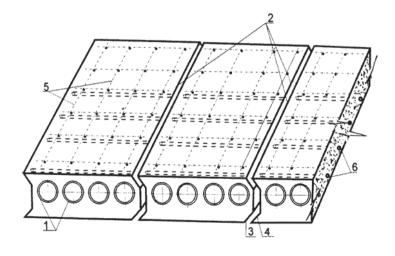


Рис. б. Преднапряженные пустотелые железобетонные плиты прекрытий

Предлагаемые к использованию многопустотные преднапряженные железобетонные плиты в сборе перекрытия здания изображены на рис. б. Плита содержит пустоты 1, расположенные в верхних трех четвертях ее толщины. Пустоты параллельны боковым граням 2, выполненным шпунтовыми (причем шпунты имеют трапециевидную форму), а обращенные друг к другу смежные боковые грани соседних плит снабжены соответственно выступом 3 и пазом 4. Армирование плит осуществляется ненапрягаемой арматурой 5, а также напрягаемой арматурой, размещенной в каналах б, расположенных в нижней четверти плит параллельно торцам и друг другу. Изготовление дисков перекрытий, большепролетных оболочек, площадок и других строительных поверхностей с применением указанных плит осуществляют сборкой в построечных условиях, для чего плиты соединяют между собой боковыми гранями 2, причем шпунтовая поверхность этих граней существенно облегчает укладку перекрытий, строго фиксируя плиты по отношению друг к другу. Затем сквозь дополнительные каналы б протягивают стальные канаты, осуществляя их натяжение с силой от 5 до 10 т для

надежного соединения пакета бетонных плит.

В нашей стране технология постнапряжения была успешно применена в 60-е годы прошлого столетия при строительстве Останкинской телебашни, в нижней части ствола которой несущие железобетонные пилоны соединены напряженными стальными канатами.

По мнению ведущего специалиста России в области армирования бетона д.т. н., профессора С. А. Мадатяна (НИИЖБ), к сожалению, уже ушедшего из жизни: «Применение технологии постнапряжения позволяет сократить расход металла в 1,9-2,3 раза и стоимость 1 м<sup>2</sup> перекрытия на 10–15 долл. США. Решается возможность свободной планировки и обеспечивается гарантия долговечности зданий, так как после любых, в том числе аварийных, воздействий напрягаемая арматура может быть вынута и заменена без повреждения сооружения.»

Применение в трубобетонных конструкциях узловых соединительных элементов позволяет исключить сварку, ускорить сборку элементов и снизить трудоемкость работ при возведении каркасов. В табл. 3 приведены сравнительные данные расходов основных материалов (металла и бетона)

при строительстве первого высотного здания по программе «Новое кольцо Москвы» на улице Давыдковская, дом 3 с использованием классической монолитной технологии и технологии трубобетона. Как видно, общая масса железобетонной конструкции всего здания более чем в два раза тяжелее трубобетонной (112488 т против 45 753 т соответственно). Кроме экономии строительных материалов, возведение несущих конструкций из трубобетона позволило бы получить сокращение сроков строительства каркасов здания с «классических» 3,5 лет до 12 месяцев.

# Ограждающие конструкции зданий. Проблемы и решения

Проектировщики и строители высотных зданий должны принимать во внимание, что для обеспечения устойчивости строений, особенно при их возведении на достаточно слабых грунтах, необходимо учитывать не только значительную массу и парусность этих сооружений, но также жесткие климатические условия и значительные ветровые нагрузки, действию которых подвергаются прежде всего ограждающие конструкции. Кроме

Таблица 3. Фактические (монолит) и расчетные (трубобетон) сравнительные затраты материалов при строительстве первого высотного здания «Эдельвейс» в Москве с использованием разных технологий

Элементы конструкции		а, м³ (масса, т), ологии	Расход металла, т, по технологии		
	железобетона	трубобетона	железобетона	трубобетона	
Несущие конструктивные элементы: колонны и стены	16 586 (39 806)	1886 (4526)	2180	910	
Ограждающие конструкции (кирпич) стены (панели)	3375 (8100)	6600 (3300)	27	800	
Перекрытия	13 239 (31 774)	6400 (15 360)	2538	500	
Вспомогательные конструкции	938 (2251)	938 (2251)	125	125	
Фундамент	10 000 (24 000)	7000 (16800)	1687	1181	
Здание целиком	44 138 (105 931)	22 834 (42 237)	6557	3516	

«Новое кольцо Москвы» — нереализованный проект строительства 60 высотных многофункциональных (жилых, административных, гостиничных и офисных) комплексов, в состав которых, как предполагалось, должно было войти около 200 зданий высотой более 30 этажей со средней высотностью 35-40 этажей и средней плошадью каждого комплекса от 40 до 140 тыс. м<sup>2</sup>. Согласно планам городских властей, 25 небоскребов должны были стать жилыми зданиями, 16 — административными объектами, 3 — гостиницами, 16 — многофункциональными комплексами. Первая и вторая очереди программы включали 38 высотных зданий, третья очередь — еще 22 здания.

По замыслу архитекторов, каждый такой комплекс должен был стать центром своего района, вокруг этого центра были бы сосредоточены объекты социально-бытовой и культурной инфраструктуры. Строительство «Нового кольца Москвы» было внесено в утвержденный в 1998 году Генеральный план развития Москвы до 2020 года.

Но позже столичная мэрия решила пересмотреть амбициозную программу, не соответствующую новой градостроительной политике. По словам городских властей, небоскреб (офисное либо жилое здание) является местом притяжения транспорта, то есть дополнительной причиной увеличения пробок на дорогах. На месте запланированных небоскребов предпочтительнее было бы строить развязки или другие объекты транспортной инфраструктуры. 13 августа 2012 года было принято Постановление правительства Москвы № 398-ПП «Об отраслевой схеме высотных ограничений застройки на территории города Москвы (по данным визуально-ландшафтного

анализа)», которое фактически поставило крест на данном проекте. Принятое постановление ограничивает максимальную разрешенную высоту зданий в Москве с 100 до 75 м, что соответствует 22–25-этажному зданию. Причины, по которым московское правительство приняло решение об отказе от строительства небоскребов в городе, следующие:

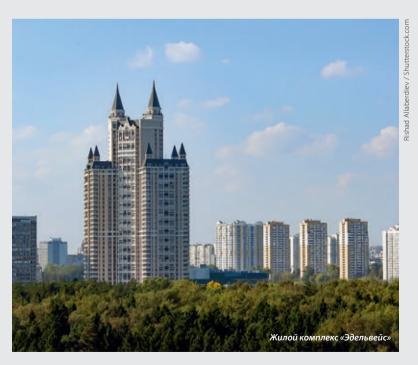
- Эстетические. На основании данных об исторической, рельефновысотной, картографической, визуально-эстетической ситуации, которые были собраны в 1990-х годах, были определены видовые точки и секторы панорамного обзора объектов культурного наследия. Строительство высотных зданий изменило бы исторический облик столицы.
- Градостроительные и функциональные. Рост города в высоту увеличивает такой показатель, как плотность застройки, и требует организации транспортной и коммуникационной инфраструктуры в уже сложившейся

планировке. Излишняя нагрузка на существующие магистрали привела бы к коллапсу мегаполиса.

По состоянию на август 2012 года в рамках проекта «Новое кольцо Москвы» были построены всего семь зданий:

- жилой комплекс «Эдельвейс» (43 этажа) на Давыдковской улице;
- жилой комплекс «Новоясеневский» (23 этажа) на Новоясеневском проспекте;
- жилой комплекс «Континенталь» (50 этажей) на проспекте Маршала Жукова;
- жилой комплекс Well House (47 этажей) на Ленинском проспекте;
- жилой комплекс «Бастион» (бывший «Дирижабль»; 40 этажей) на Профсоюзной улице;
- бизнес-центр «Соколиная гора» (35 этажей) на Семеновской площади;
- бизнес-центр «Прео-8» (27 этажей) на Преображенской площади.

На этом реализация проекта прекратилась.



того, важно не забывать о требованиях к обязательной индустриальности технологий возведения как несущих, так и ограждающих конструкций, а также экологичности, безопасности жилья и офисов, огнестойкости и долговечности высотных зданий. При проектировании наружных стен зданий должно обеспечиваться максимальное соответствие применяемых материалов и конструкций условиям, обозначенным на рис. 7.

ЦНИИЭП жилища (С.В. Николаев, Ю.Г.Граник, А.Н.Дмитриев), НИИСФ (Г.Л. Осипов, М.Ю. Матросов), НИИЖБ (Т. А. Мухамедов, А.С. Залесов, В.Н. Ярмаковский) и другие организации, ученые и инженеры вложили накопленный российскими специалистами опыт в первый нормативный документ для строительства высотных зданий (МГСН 4.19-05). Стоит отметить, что составители указанных норм вынуждены были разрабатывать важный документ — руководство для проектировщиков и строителей — в стране с почти уничтоженной строительной наукой, отсталыми технологиями и механизмами, изношенным оборудованием предприятий стройиндустрии и недостатком высококачественных материалов и изделий.

В связи с холодным климатом одной из ключевых проблем возведения ограждающих конструкций всех зданий, строящихся в России, является устройство их теплоизоляции, соответствующей современным требованиям энергосбережения. В Советском Союзе этот вопрос решался применением керамзитового гравия, на основе которого производились керамзитобетонные панели ограждающих конструкций. Керамзитовый гравий производился более чем на 400 предприятиях страны, объем его ежегодного производства в СССР превысил  $50 \, \text{млн M}^3$ .

Введение постановлением Минстроя РФ от 11.08.1995 г. № 18–81 новых требований к энергосбережению вызвало массовый отказ строителей от керамзитобетона,

несмотря на то, что керамзитовый гравий (пенокерамика) является экологически идеальным и негорючим материалом, а современные технологии позволяют производить его с объемной массой 200–250 кг/м³, используя существующие производственные мощности.

Министерство строительства и ЖКХ РФ приказом от 17.11.2017 г. № 1550/пр «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» ввело в действие с 6 апреля 2018 года новые повышенные требования к энергосбережению при проектировании, строительстве и эксплуатации: с 2023 года снижение энергопотребления вновь создаваемых зданий должно составлять 40 %, а начиная с 2028 года — 50 % к базовому уровню. Реализация данного приказа потребует значительного (на 30-100%) усиления тепловой защиты стен, окон и кровель. Снижение энергопотребления является обязательным требованием не только



Рис. 7. Функциональная схема проектирования ограждающих конструкций здания [9]

при проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию новых зданий, строений и сооружений, но и для реконструируемых, а также капитально ремонтируемых строительных объектов.

Существующие полимерные теплоизоляционные материалы выгодно отличаются, как и керамзитовый гравий, наличием закрытой пористости, формирующейся в процессе вспучивания жидких полимерных масс и сохраняющих в своей структуре практически сухой воздух. Именно воздух, заключенный в порах, является прекрасным теплоизолирующим материалом (табл. 4). Так или иначе, в указанных теплоизоляционных как полимерных, так и неорганических материалах «работают» именно пузырьки сухого воздуха, изолированные прослойками (пленками) твердого вещества от конвективного теплообмена и увлажнения.

В России, однако, все более широкое распространение получают ограждающие конструкции зданий, представляющие собой композиции, составленные из несущих высокопрочных материалов (бетона, керамики) и теплоизоляционных слоев из материалов с коэффициентом теплопроводности  $\lambda < 0.10$  Вт/(м·°C) (минеральной ваты, базальтового волокна, пенопластовых плит). Для наглядности достаточно привести нынешнюю статистику применения утеплителей в строительном комплексе России:

- изделия на основе минеральных волокон 65 %;
- стекловатные материалы 8 %;

- пенополистирол и другие пенопласты 22 %;
- ячеистые бетоны 3 %;
- пенокерамика 2 %.

Тренд по применению в строительстве минеральной ваты подтверждается и увеличением объема ее производства в январе–августе 2018 года на 5,8 % по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года, по данным компании ООО «СМ Про» — разработчика Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года.

Все существующие варианты производства ограждающих конструкций на строительной площадке предполагают многослойные оболочки, что существенно влияет на стоимость строительства. Доля затрат на возведение ограждающих конструкций — один из наиболее материало- и трудоемких процессов — в общей стоимости строительства значительно выросла и приобретает колоссальные масштабы при высотном строительстве.

Возведение первых высотных зданий по программе «Новое кольцо Москвы» было реализовано в сугубо российском варианте. Например, ограждающая конструкция высотки «Эдельвейс» выполнена многослойной с несущей оболочкой из монолитного тяжелого железобетона. К этой «скорлупе» дома прикреплена теплоизоляция в виде плит, затем выложена кирпичная кладка, на которой на специальных кронштейнах

смонтирован вентилируемый фасад с отделкой керамогранитом. Такие ограждающие конструкции не индустриальны, материалоемки, тяжелы и требуют значительных затрат ручного труда. Суммарная толщина ограждающей конструкции на высотке составляет более 800 мм. При этом монтаж теплоизоляционных плит (к примеру, типа Styrodur) обычно предусматривает разбежку по швам и ступенчатые кромки для более плотной укладки плит встык. Подобная «ювелирная» работа по устройству теплоизоляции, связанная с необходимостью исключения мостиков холода, требует весьма высокой квалификации исполнителя, а также дополнительных затрат на крепежные элементы.

В зимний период в монолитных несущих оболочках из железобетона выявляются проблемы, связанные с конденсацией паров воды на более холодных поверхностях бетона и, как следствие, увлажнением стен, что вызывает необходимость устройства пароизоляции, а также обязательного принудительного проветривания помещений для воздухообмена, приводящего к потере тепла, ради экономии которого ограждающие конструкции собственно и утепляются.

Высокая трудоемкость, значительная стоимость и неиндустриальность таких работ во многом и послужили причиной наблюдающегося в Москве падения интереса инвесторов к строительству высотных зданий. Важным фактором при этом является зачастую неучитываемый нормативный срок

Таблица 4. Значения коэффициента теплопроводности сухого воздуха при различных температурах

Температура, °С	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м∙°С)	0,0267	0,0259	0,0251	0,0244	0,0236	0,0228	0,0220

службы теплоизоляционных слоев из пенопластов или минеральной ваты, составляющий в среднем 10–15 лет.

Международный опыт эксплуатации зданий, построенных с такими теплоизоляционными слоями, показал, что со временем происходит частичное оседание утеплителей, изменение структуры материалов и ухудшение теплоизоляционных характеристик в 1,5–2 раза. Трудно представить себе осуществимость периодической полной замены теплоизоляционных слоев высотных домов как по трудозатратам, так и по необходимым средствам.

К сожалению, как полимерные, так и волокнистые утеплители помимо регулярного удорожания отличаются также весьма вероятной опасностью с экологической и пожарной точек зрения [10]. Невзирая на наличие сертификатов, гарантирующих негорючесть или затруднительное горение эффективных утеплителей, довольно часто происходит их возгорание (рис. 8).

По данным Центра пожарной статистики Международной ассоциации пожарных и спасательных служб (СТІҒ), Россия занимает одно из лидирующих мест в мире по числу жертв в результате пожаров. Большая часть из них происходит в зданиях, поэтому высокая ответственность лежит на всех участниках строительного процесса. Пожарной безопасности строительных материалов должно уделяться особое внимание со стороны как регуляторов, так и отраслевых ассоциаций. Достаточно вспомнить пример возгорания теплоизолирующего пенополистирола с выделением токсичных продуктов горения во время трагично известного пожара в пермском клубе «Хромая лошадь», приведшего к гибели 156 человек.

В отличие от России, строители Европы, США, Канады, Японии всё





Рис. 8. Горит теплоизоляция жилого здания в г. Красноярске. 21 сентября 2014 г.

активнее отказываются от недолговечных и вредных утеплителей, имеющих полимерную природу (пенополистирола, пенопласта) или включающих опасные связующие — фенолы (минеральных и базальтовых волокнистых плит), переходя на пенокерамику (в виде керамзитового или зольного гравия, вспученных шлаков, пористых стекол) для производства легких бетонов, утепления и облегчения зданий.

Радикальным путем снижения стоимости возведения ограждающих конструкций и, соответственно, всего строительства может стать возврат к однослойным стенам и отказ от всех видов дорогостоящих полимерсодержащих теплоизоляционных материалов. Это особенно важно в связи с повышением требований к огнестойкости, долговечности и экологической чистоте материалов и конструкций для высотных зданий, тем более, что СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» открывает путь для возведения отвечающих всем этим условиям дешевых однослойных ограждающих конструкций с объемной массой 400–600 кг/м<sup>3</sup>, позволяя отказаться от неоправданно завышенных прежних нормативных требований.

Негативно зарекомендовавшая себя большая часть «эффективных» полимерных и волокнистых утеплителей поставляется на рынок России из-за рубежа, в то время как весь мир развивает производство керамзитового гравия. В Норвегии — стране с климатом, близким к российскому — ежегодно производится 0,4 м<sup>3</sup> керамзитового гравия на человека (при этом в России —  $0,07 \text{ м}^3/\Gamma$ .). Страны Балтии и Швеция активно ввозят керамический гравий из Белоруссии и России. Таким образом, самая большая в мире промышленная база для производства керамзитового гравия, насчитывающая сегодня почти 200 заводов, используется весьма неэффективно, хотя может служить основой для строительства десятков миллионов квадратных метров жилья и выполнения важнейшего национального проекта. Тезис «дураки и дороги» продолжает, к сожалению, оставаться в России достаточно актуальным.

В последние годы получили распространение различные виды ячеистых бетонов, характеризующиеся объемной массой в пределах 300-700 кг/м<sup>3</sup>. Однако теплоизоляционные характеристики таких бетонов существенно зависят от влажности атмосферного воздуха, так как их способность к активной абсорбции значительного объема влаги обусловливает резкое снижение фактических теплоизоляционных свойств конструкций (табл. 5), а также отрицательно влияет на долговечность стен из таких бетонов.

Связано это с тем, что микроструктура ячеистых бетонов представляет собой поровую систему из сферических пузырьков воздуха, разделенных прослойками затвердевшего вяжущего материала. Сообщающиеся поры имеют размер от долей миллиметра до нескольких миллиметров, что делает бетон способным к поглощению от 25–30 до 60–70 % (масс.) воды при контакте с ней, а при сорбционном

увлажнении влагой из воздуха — до 5–7 % (масс.).

Ячеистый бетон был бы идеальным материалом для возведения монолитных ограждающих конструкций, если бы он имел закрытые поры, меньшую способность к водопоглощению, в том числе и к сорбционному, и мог бы формироваться в построечных условиях с достаточной прочностью, поскольку только в этом случае возможно получение монолитных стен с минимальной неоднородностью. К тому же накопленный опыт применения различных видов облегченных бетонных блоков демонстрирует существенное ухудшение теплоизоляционных свойств таких ограждающих конструкций за счет кладочных швов, работающих как мостики холода.

Весьма привлекательным представляется формирование ограждающих стен, особенно в построечных условиях, из материалов, вспенивающихся в межпалубном пространстве при монолитном методе возведения ограждающих конструкций. Однако производство, в частности, пенобетонов с однородными стабильными свойствами в условиях строительной площадки является серьезной технологической проблемой и до последнего времени не удается ведущим строительным фирмам в связи с тем, что микроструктура

Таблица 5. Технические характеристики ячеистых бетонов

Объемная масса, кг/м³	Пористость общая,%	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)				
macca, Ki / M	оощил, ло	сухого бетона	бетона влажностью 6 %			
300	88	0,070	0,090			
400	84	0,085	0,105			
500	81	0,102	0,130			
600	76	0,124	0,143			
700	72	0,146	0,167			

ячеистого бетона и его технические характеристики зависят от большого числа факторов: качества вяжущего (обычно цемента), химических добавок, температуры процесса, стабильности работы технологического оборудования.

Более выгодно от рассмотренных отличаются пенополистиролбетоны. Помимо минимизации затрат на выполнение указанных требований к материалам стен, строителей прельщает максимальная индустриальность возведения ограждающих конструкций, во многом определяющая стоимость и темпы строительства зданий.

За рубежом получила распространение технология возведения высотных зданий с применением ограждающих конструкций в виде навесных (на каркасы зданий) панелей двух типов — многослойных железобетонных и стеклянных (из вакууммированных стеклопакетов в металлических рамах). Однако основная часть таких высоток построена в регионах с относительно теплым климатом и предназначается для служебных и общественных целей, в связи с чем стеклянные покрытия фасадов таких зданий преобладают.

Остекленные ограждающие конструкции высотных зданий в условиях Москвы должны иметь значение сопротивления теплопередаче не менее 0,56 м<sup>2</sup>.°С/Вт для окон и 0,65 м². °С/Вт для витрин, витражей и навесных светопрозрачных конструкций, что существенно ниже нормативных требований к наружным стенам. В этой связи согласно СП 50.13330.2010 и МГСН 4.19-2005 величина остекления фасадов жилых зданий должна составлять не более 18 %, а общественных — допускается до 25 %.

Отечественные трехслойные бетонные панели большей частью имеют значительную массу и применяются в настоящее время весьма ограниченно отдельными крупными строительными фирмами («Крост», «Донстрой», «ПИК»). Идеология формирования панелей (конечно, наиболее индустриальных) при возведении высоток с несущими каркасами, практически едина: наружный слой изготавливается из высокопрочного архитектурного бетона с повышенной выразительностью и долговечностью, промежуточный (теплоизоляционный) слой обычно из плитного утеплителя, а внутренний слой — также из железобетона с применением гибких связей конструктивных слоев в виде прутков из нержавеющей проволоки или базальтового волокна. Удельная масса таких панелей, производимых в Москве, составляет: несущих — 700-800  $\kappa \Gamma/M^2$ , навесных — 400-500  $\kappa \Gamma/M^2$ . Ограничение их применения в высотном строительстве обусловлено не только значительным весом, но и использованием в качестве vтеплителя обычно пенополистирольных плит, не обладающих высокой пожаростойкостью и достаточной долговечностью.

В развитых странах, в частности в США, в качестве железобетонных ограждающих конструкций высотных зданий применяются исключительно крупногабаритные (площадью 30-35 м<sup>2</sup>) навесные и несущие панели только из высокопрочных бетонов, твердеющих в нормальных условиях без тепловой обработки (рис. 9). Архитектурная выразительность омоноличенного бетоном наружного слоя таких панелей обеспечивается его отделкой материалами, имитирующими природный камень или кирпич, а также керамическими крупноразмерными плитами.





Puc. 9. Производство крупногабаритных железобетонных панелей Great Wall (г. Филадельфия, США). Панели снабжаются резиновыми прокладками по контуру и закрепляются при монтаже к каркасу здания болтами с гайками. Установка такой панели в проем выполняется за 10–12 минут

# Облегченные ограждающие конструкции

Московским институтом материаловедения и эффективных технологий разработаны новые трехслойные панели «ИМЭТ» (рис. 10) естественного твердения, то есть не нуждающиеся в пропарке. Они отличаются небольшой удельной массой — для навесных панелей в пределах 250-300 кг/м<sup>2</sup> — и содержат в качестве утеплителя монолитный средний слой толщиной 220-240 мм из нового материала, полученного по технологии «КАП-СИМЭТ» укладкой в массив зерен пенополистирола, капсулированных тонким (0,1-0,2 мм) слоем цементного молочка. Гранулы пенополистирола, сплошь покрытые цементным молоком и уложенные в массив, превращаются в композит с объемной массой 120–140 кг/м³, становясь при этом негорючими и долговечными.

Внутренний слой панелей «ИМЭТ» выполнен из легкого конструкционного бетона (М300, объемной массой 1400 кг/м³), а наружный слой толщиной 40–50 мм — из литого искусственного бетонного камня на основе наноцемента\*.

Предлагаемые панели отвечают основным принципам проектирования ограждающих конструкций здания, представленным на рис. 7, и являют собой навесные самонесущие конструкции с металлическим армированием и оригинальными гибкими связями. Сопротивление теплопередаче панелей составляет 3,5–4,0 м²-°С/Вт при толщине 400 мм.

Принципиально новой возможностью индустриального возведения ограждающих конструкций с декоративными фасадами в виде несъемной опалубки является

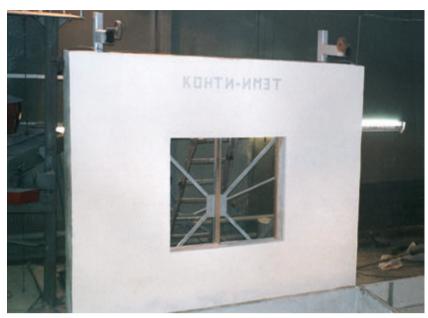


Рис. 10. Трехслойная теплоизоляционная навесная панель «ИМЭТ»

новая технология ОАО «Московский ИМЭТ». Суть технологии «КАП-СИМЭТ» [11] заключается в капсуляции цементным молочком крупного заполнителя (керамзитового гравия, гранул пенополистирола, агломерированных глин, золы, шлаков, природного щебня, пемзы и т.п.) и его укладке в межпалубное пространство, образованное несъемной опалубкой, выполненной в виде скорлупы из архитектурного бетона или керамических плит. Ограждающая стена при этом опирается на перекрытие. На рис. 11 приведены разрезы стен, изготовленных на основе нового материала и соответствующей технологии. Толщина стен для климатических условий Москвы составляет около 400-450 мм при объемной массе 450-550 кг/м<sup>3</sup> и термическом сопротивлении в пределах 3,5-3,7 м<sup>2</sup>.°С/Вт, что полностью удовлетворяет требованиям МГСН 4.19-2005 к теплозащите наружных стен высотных зданий.

Наиболее важные достоинства «КАПСИМЭТ» — максимально эффективное использование легкого заполнителя непосредственно в ограждающей конструкции, низкая сорбционная способность

(поглощает не более 1,0-1,5 % влаги), хорошая паропроницаемость. Материал на основе керамзитового гравия имеет коэффициент паропроницаемости 0,14-0,20 мг/(м·ч·Па). Для сравнения приведем значения коэффициента паропроницаемости наиболее распространенных строительных материалов: пенополистирол — 0,03-0,05 мг/(м⋅ч⋅Па), железобетон — 0,03 мг/  $(м \cdot q \cdot \Pi a)$ , керамзитобетон — 0,09– 0,14 мг/(м⋅ч⋅Па), кирпич обыкновенный глиняный — 0,11 мг/ (м-ч-Па), кирпич керамический пустотелый — 0,14 мг/(м⋅ч⋅Па), бетон ячеистый (М300) — 0,14-0,25 мг/ (м•ч•Па).

Морозостойкость материала составляет не менее 50 циклов, огнестойкость — не менее двух часов. Он не горит и экологически абсолютно чист, с течением времени наблюдается карбонизация цементной оболочки материала стен, повышающая их прочность. Одним из главнейших свойств материала для строительства стен домов является воздухопроницаемость, определяющая комфортность жизни в помещениях. Если бетон имеет значение сопротивления воздухопроницанию  $R_{\rm u} \sim 20000 \, {\rm m}^2 \cdot {\rm u} \cdot {\rm la}/{\rm kr}$ ,

<sup>\*</sup> Подробнее о наноцементе читайте: Бикбау М.Я. Портландцемент наномодифицированный и бетоны на его основе // Технологии Интеллектуального Строительства. — 2018. — № 4. — С. 18–27.

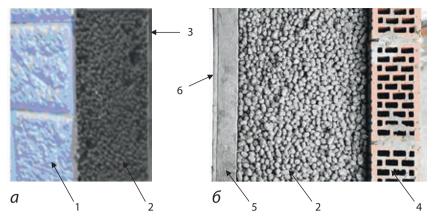


Рис. 11. Разрез оптимальных ограждающих стен для высотных (а) и малоэтажных с облицовкой кирпичом (б) зданий:

- 1 декоративные крупноразмерные плиты из литого искусственного камня;
- 2 монолитная стена из капсулированного керамзитового гравия «КАПСИМЭТ»;
- 3— древесно-стружечная плита; 4— лицевой кирпич; 5— деревянный брус несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты; 6— цементно-стружечная плита



Рис. 12. Возведение стен по технологии «КАПСИМЭТ»

то «КАПСИМЭТ» по этому параметру соответствует известняку-ракушечнику с  $R_{\text{u}} \sim 6-10 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \Pi \text{а/кг}$ . Этим объясняется тот факт, что в домах со стенами из крупнопористого бетона прекрасно дышится, сохраняется сухой микроклимат, дерево в домах не гниет, такие стены служат решением проблемы паропроницаемости и недостатка кислорода в жилых помещениях. Коэффициент комфортности наружных стен, построенных по технологии «КАПСИМЭТ»

составляет 1,4. Следует обратить внимание на тот факт, что использование капсуляции легких заполнителей, выступающих не пассивными, а сотообразующими, то есть основными элементами структуры, позволяет эффективно решать задачу не только утепления, но и звукоизоляции зданий (индекс звукоизоляции материала  $R_w > 60 \, \text{Дб}$ ).

Важно отметить, что разработаны не только материал и технология, но и оборудование, работающее как в производственных условиях, так и на строительных площадках, в том числе на перекрытиях возводимых зданий.

Новое оборудование непрерывного и цикличного действия для омоноличивания стен по технологии «КАПСИМЭТ» в условиях строительной площадки имеет массу 400–600 кг и высокую производительность (от 2 до 5 м³/ч стены, толщина которой соответствует требованиям СНиП). Оно позволяет подавать керамзит и цементное молоко для капсуляции и последующей укладки по технологии монолитного строительства в межпалубное пространство на любых этажах высотных зданий.

### Наработки и перспективы

За последние 15 лет новые ограждающие конструкции нашли успешное применение при строительстве порядка тысячи коттеджей и промышленных зданий в Московской области, Москве и других регионах, продемонстрировав прекрасные строительно-технические свойства, экологичность и долговечность (рис. 12). Особенно следует отметить построенное по описанной технологии в 2007 году в г. Дубне сияющее белизной здание в псевдорусском стиле Храма Всех Святых, в земле Российской просиявших.

Таким образом, одними из наиболее перспективных в строительстве ограждающих конструкций высотных и малоэтажных зданий в средней полосе России представляются однослойные монолитные стены из легкого крупнопористого бетона на основе капсулированного керамзитового гравия, индустриально и экономично возводимые на уникальном оборудовании по российской технологии из материала, не имеющего пока мировых аналогов. При этом фасады зданий могут выполняться с высокой архитектурной выразительностью за счет сочетания цвета и рельефа





Рис. 13. Сопряжение трубобетонной колонны с перекрытием: а — армирование; б — готовый узел

покрытий из декоративного бетона или керамогранита — долговечных материалов, не требующих десятилетиями никакого ухода и ремонта даже при эксплуатации в неблагоприятных климатических условиях.

В сочетании с быстровозводимыми каркасами из трубобетона и преднапряженными перекрытиями применение новых ограждающих конструкций позволит снизить массу высотных зданий в 2–2,5 раза, радикально сократит расходы бетона и металла, значительно уменьшит сроки и себестоимость строительства.

По новой архитектурно-строительной концепции ОАО «Московский ИМЭТ» построено: несколько четырехэтажных зданий, позволивших отработать основные расчетные схемы, а также узлы сопряжения трубобетона с перекрытиями (рис. 13); сотни малоэтажных домов в разных регионах страны, а также 22-этажный дом в г. Воронеже и 10-этажный дом в г. Саратове.

В *табл.* 6 приводятся сводные технико-экономические показатели многоэтажных жилых домов,

возведенных в соответствии с различными архитектурно-строительными системами.

Экономическая оценка строительства высотных зданий по системе «ИМЭТ» позволяет считать возможными существенное уменьшение массы и сокращение сроков возведения коробок зданий со снижением себестоимости строительства на 25 %. В соответствии с мировым опытом строительства, здания и сооружения на основе системы каркасов из трубобетона являются наиболее сейсмически устойчивыми, пожаробезопасными и долговечными.

Новая система [12] может радикально упростить проектирование конструктивов зданий и сооружений, допуская их типизацию, и стать технологической основой для массового и высотного строительства в Москве и других городах России. Она позволяет обеспечивать не только свободную планировку помещений с шагом 7,2×7,2 м и даже более, но и дать жителям возможность осуществления внутренней периодической перепланировки квартир без

ущерба строительно-техническим и эксплуатационным характеристикам зданий.

Архитекторы, создающие массовое жилье, впервые получат возможность реализации самых дерзких творческих замыслов: формирование не только свободной планировки внутри зданий, но и любых фасадов, закругленных стен и других конфигураций. Практическое освоение архитектурностроительной системы «ИМЭТ» может внести существенный вклад в реализацию важнейшего национального проекта «Доступное и комфортное жилье — гражданам России».

### Список литературы

- 1. Граник Ю. Г. Проектирование и строительство высотных зданий//Энергосбережение. 2004. № 2. С. 24–29.
- 2. Бикбау М. Я. Практика и перспектива применения трубобетона в строительстве высотных зданий: Сб. докл. II Международного симпозиума по строительным материалам

Таблица 6. Технико-экономические показатели\* многоэтажных жилых домов каркасных архитектурно-строительных систем, приведенные на 1 м² площади здания

	Кирпичный дом (для сравнения)	Серия КПД		Система КУБ					
Показатели		90	111	КУБ-1	КУБ-2М	имс	Б1.020.1- 7	Б1.020.1-9 монолит- ный каркас	имэт
Расход железобе- тона, м <sup>3</sup>	0,14	0,85	0,80	0,18	0,17	0,18	0,15	0,18	0,15
в т.ч. монолит- ного	0,02	0,02	0,20	0,06	0,12	0,06	0,06	0,18	0,05
Расход стали на несущие конструкции, кг	12,0	14,5	14,2	16,8	12,3	12,3	13,2	14,8	10,4
Ограждающие конструкции, вес 1 м² наружной	Кирпич, утеплитель	Кирпич, ячеистобетонные камни, утеплитель или панели заводского изготовления							Капсимэт, с несъем- ной опалубкой
стены с отдел- кой, кг	750	Мелкоштучные изделия 600–700				Панели 400–600			250–300
Обеспечение свободных планировочных решений	не обеспе- чиваются	не обеспе- чиваются	ограни- ченные возмож- ности	в преде- лах сетки колонн 6×6	в преде- лах сетки колонн 6×6	в преде- лах сетки колонн 4,2×4,2	обеспечи- ваются	обеспечи- ваются	обеспечи- ваются
Необходимость в дополнительном технологическом оборудовании и оснастке		монтажная оснастка	монтажная оснастка	монтажная оснастка, опалубка	монтажная оснастка, опалубка	гидро- домкраты и насосная станция	опалу- бочные системы	опалу- бочные системы	Капсуля- торы, опа- лубочные системы
Относительная стоимость строительства коробки дома, %	110	100	100	95	92	115	85	85	75
Относительные сроки строитель- ства, %	120	100	95	90	92	85	80	80	60

<sup>\*</sup> с использованием данных [1].

КНАУФ для СНБ. Современное высотное строительство. Эффективные технологии и материалы. — М.: МГСУ, 10–11 января 2005 г. — С. 45–56.

- 3. Новые стройки по старым нормам // Аргументы и факты, № 12 (558) март 2004 г.
- 4. Put that in your pipe and cure it // Engineering News Record. 1989. Vol. 222. № 7. P. 44–52.
- 5. Железобетонные колонны в стальной трубчатой оболочке (Франция) / Строительство и архитектура, сер. Строительные конструкции и материалы. Экспресс-информация. ВНИИНТИ Госстроя СССР, 1989. С. 10–11.

- 6. Нурадинов Б.Н. Огнестойкость сталебетонных колонн: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГОУ, 1984. 201 с.
- 7. Cai S. H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures, China, Communication Press, 2003, 358 p.
- 8. Айзенберг Я. М. Современные нормы сейсмостойкого строительства. ВНИИПИ Госстрой РФ, 1997. 9. Семченков А. С., Семечкин А. Е., Литвиненко Д. В. Комплексный подход к проектированию наружных стен: II Всероссийская (Международная) конференция «Бетон и железобетон, пути развития», т. 4, Легкие и ячеистые бетоны. М., 2005, с. 213–222.
- 10. Баталин Б. С., Полетаев И. А. Исследование свойств пенополистирола как утеплителя в панелях сборных жилых домов: Известия вузов, Строительство. 2003. № 4. С. 58–61.
- 11. Бикбау М.Я. «КАПСИМЭТ» Новая технология крупнопористого бетона: II Всероссийская (Международная) конференция «Бетон и железобетон, пути развития», т. 4, Легкие и ячеистые бетон. М., 2005, с. 36–43.
- 12. Бикбау М.Я., Габбасов А.Р. Новая архитектурно-строительная система для возведения массового жилья // Строительная инженерия. 2006. № 8. С. 36–40. 

  Террия 2006. № 8. С. 36–40.