

УДК 69.001.5

## ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОНОЛИТНОГО ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

*Шефер Ю.В., Романенко С.В., Кагиров А.Г., Ордобаев Б.С.\**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

*\*Кыргызско-Российский славянский университет, г. Бишкек, Киргизия*

В настоящее время при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений актуальной проблемой является увеличение их устойчивости к воздействиям, вызванным природными катаклизмами и техногенными чрезвычайными ситуациями такими как: длительное действие низких и высоких температур, пожары, наводнения, землетрясения, взрывы и т.д. Здание должно не только однократно выдержать сильное воздействие, чтобы спасти жизнь и здоровье людей, но быть способным длительно функционировать в экстремальных условиях, без повреждения несущих конструкций и систем жизнеобеспечения. Так же необходимо учитывать постоянно растущие требования к энергоэффективности и комфортности проживания при снижении себестоимости строительства и затрат на последующую эксплуатацию жилья.

Ранее нами была предложена концепция малоэтажного сейсмостойчивого энергоэффективного строительства, в которой обозначены основные факторы, влияющие на жизненный цикл зданий и то, как нужно снижать или устранять их воздействие. Предложено строить малоэтажные здания, без заглабления и привязки к грунту, без несущих стен, не применять не технологичные и/или не долговечные материалы и изделия, заполнить все ограждающие конструкции монолитным лёгким бетоном [1].

Предложенная концепция может быть реализована с применением внутреннего несущего каркаса и формированием ограждающих конструкций из легких, негорючих материалов с высоким сопротивлением теплопередаче. Вариант такой конструкции предложен в [2] (рис. 1).

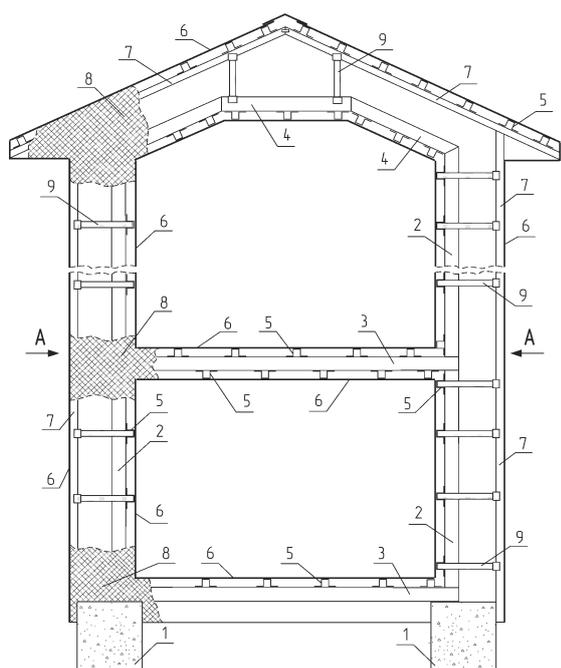


Рис. 1. Поперечный разрез здания: 1 – фундамент; 2 – колонна внутреннего каркаса; 3 – ригель внутреннего каркаса; 4 – балка перекрытия; 5 – гнутый профиль; 6 – лист опалубки; 7 – внешний каркас; 8 – лёгкий бетон; 9 – временный фиксатор.

Сущность предлагаемой конструкции в том, что здание состоит из двух каркасов. Внутренний несущий каркас здания состоит из колонн, ригелей и балок перекрытий выполненных из труб квадратного и/или прямоугольного сечения. При необходимости, для увеличения несущей способности, огнестойкости и сейсмостойкости трубы могут быть также заполнены тяжелым или лёгким бетоном. Это даёт возможность реализовать практически любую планировку

этажа, причём различную на каждом этаже. Высоты этажей так же могут быть различными в одном здании. Внешний каркас здания служит для крепления листов опалубки и, по необходимости, облицовочных фасадных элементов [3].

Расстояние между каркасами может быть от 10 см и выше, по толщине заполняемого монолитным легким бетоном, для обеспечения требуемых параметров по теплозащите здания.

Для реализации предложенной концепции с помощью данного технического решения мы постарались объединить технологию строительства на основе каркаса из стальных труб и технологию монолитной заливки полистиролбетоном [4].

Рассмотрим основные особенности современного полистиролбетона. Для приготовления полистиролбетона используются: цемент, вода, шарики вспененного пенополистирола и воздухововлекающая смола. В процессе приготовления смеси в цементное молоко вовлекаются мельчайшие пузырьки воздуха. Шарики пенополистирола способствуют равномерному распределению пузырьков в цементной матрице. Благодаря этому объёмный вес полистиролбетона по всему монолитно залитому объёму равномерен и лишь незначительно отличается по высоте заливки. В настоящее время налажено производство полистиролбетона, выдерживающего 500 циклов замораживания-оттаивания, и после чего не происходит разрушение материала под проектной нагрузкой.

Этапы возведения зданий предлагаемой конструкции:

- Решение об устройстве фундамента принимается исходя из размеров здания, данных геологических изысканий, зоны сейсмической активности, климатического пояса и всех других факторов, которые могут влиять на сроки эксплуатации объекта строительства;
- на фундаменте устанавливают колонны, необходимой высоты, и скрепляют их ригелями, образуя внутренний несущий каркас здания;
- на ригелях закрепляют балки перекрытия;
- при применении в качестве колонн, ригелей и балок перекрытия стальных прямоугольных труб, они закрепляются между собой сваркой, а при необходимости дополнительно болтовыми и/или заклепочными соединениями;
- при необходимости, колонны, ригеля и балки перекрытия, могут быть заполнены тяжёлым и/или лёгким бетоном требуемой марки;
- с внутренней стороны помещений, к колоннам и балкам перекрытий на заклёпки и/или саморезы крепят гнутый профиль;
- листы опалубки (по полу, стенам и потолку) закрепляют саморезами к гнтому профилю;
- с наружной стороны здания, на фундамент устанавливают внешний каркас, на необходимом расстоянии от внутреннего каркаса и оба каркаса скрепляют между собой, при необходимости, временными фиксаторами;
- к внешнему каркасу, саморезами, крепят листы несъемной опалубки;
- в пространстве опалубки прокладывают необходимые электрические и вентиляционные коммуникации, например, в гибких гофрированных тоннелях;
- устанавливают необходимое оборудование и устройства, например, розетки, выключатели, корпуса для электро- и сантехнического оборудования;
- устанавливают оконные и балконные блоки (без стеклопакетов) с креплением четвертей;
- в пространство опалубки заливают полистиролбетон, омоноличивая стену с включением внутрь внешнего и внутреннего каркаса здания, межэтажных перекрытий, необходимого технологического оборудования и коммуникаций. Заливку лёгким

бетоном производят на всех стенах вкруговую, по всему периметру здания или отдельной секции, но не более 0,6 м по высоте, за одну смену, своевременно демонтируя временные фиксаторы;

- устанавливают стеклопакеты;
- после просушки помещений выполняют отделку.

Конструктив здания позволяет после установки внутреннего несущего и внешнего каркасов, стропильной части крыши, выполнить монтаж наружных листов несъемной опалубки по всей высоте здания, обустроить покрытие кровли, установить оконные и балконные блоки и только потом заполнять пространство опалубки легким бетоном. Уже на этой стадии сооружение заключено во внешнюю «скорлупу», и все дальнейшие внутренние работы практически не зависят от погодных условий.

Следует особо отметить что, находясь в монолитно залитом полистиролбетоне поризованной структуры с расходом цемента  $200 \text{ кг/м}^3$  и более, несущие конструкции здания надежно защищены от агрессивных факторов окружающей среды (влаги, воздуха, высоких температур, вибрации и т. п.), многократно увеличивая срок эксплуатации конструкции в целом [4].

В современных условиях жильцам важна не только стоимость квадратного метра жилья, но и размер ежемесячных платежей за потреблённые ресурсы и услуги. По нашим расчетам, для создания условий комфортного проживания в зданиях, построенных в соответствие с представленной концепцией и соблюдения энергоэффективного режима их эксплуатации, необходимо применять в ограждающих конструкциях монолитный модифицированный полистиролбетон марки D180 толщиной 400...600 мм. Таким образом, всё здание (фундамент, все стены, перекрытия, крыша) должно быть залито монолитно, с выбором марки ПСБ в зависимости от конструктивных требований. При этом будут отсутствовать «мостики холода», и весь массив полистиролбетона будет являться эффективной теплоизоляцией внутреннего пространства дома от окружающей среды.

За счет применения специальной конструкции здания, самых энергоэффективных на сегодняшний день оконных и дверных блоков, энергосберегающих материалов стен и крыши, приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла воздуха и малоинерционных отопительных систем (например, инфракрасных электрообогревателей) удастся добиться снижения тепловых потерь на 90 % (в 10 раз) от нормативных показателей для зданий таких размеров согласно требований СНиП 23-02-2003 и может быть достигнут класс энергосбережения А ++ (очень высокий) [5].

Здание, построенное по такой технологии, соответствует всем требованиям, предъявляемым к «пассивному» дому. Теплозащита этого дома такова, что для компенсации теплопотерь через все ограждающие конструкции будет достаточно тепловыделений от бытовой техники (электроплита, холодильник, компьютеры, лампы) и самих жителей. При толщине ограждающих конструкций в 0.6 м включение системы отопления требуется при температуре окружающей среды ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

С целью контроля технологии заливки ПСБ и мониторинга состояния ограждающих конструкций в процессе эксплуатации здания разработана система температурного контроля по всей толщине стены. В наружной стене здания устанавливается система с датчиками температуры с блоком обработки, памятью и возможностью передачи данных для управления необходимым системам управления микроклимата в помещениях.

Например, на одном из последних объектов строительства в г. Томске (рис.2) в частном коттедже площадью 425 квадратных метров в восточной стене были залиты ПСБ, в процессе строительства датчики температуры и установлен блок правления.



Рис. 2. Коттедж, построенный по данной технологии.

Один датчик измеряет температуру наружного воздуха, следующий – стены, затем 12 датчиков равномерно распределены в массиве стены, толщиной 600 миллиметров, из ПСБ марки D180, под углом  $45^\circ$  (рис. 3). Показания датчиков фиксировались сначала с интервалом 15 секунд, затем 1 минута и в дальнейшем 15 минут, так как тепловая инертность материала в условиях эксплуатации была достаточно большой. Современные цифровые датчики устойчиво работают во всём температурном диапазоне, который может быть в ограждающих конструкциях в течение года.



Рис. 3. Расположение системы термодатчиков внутри стены.

Первые результаты работы данной системы мы начали получать уже в процессе заполнения опалубки монолитным полистиролбетоном. На рис. 4 показаны данные по температуре массива стены на третьи сутки после заливки. Как видно по показаниям датчиков № 0 и № 15, температура воздуха около  $+6^\circ\text{C}$  (стеклопакеты ещё не установлены), а внутри массива произошел саморазогрев до  $+68^\circ\text{C}$  (датчик № 7). Используя получаемые данные, в реальном времени и анализируя базу данных, мы можем лучше контролировать химическую реакцию, процесс твердения и набора прочности ПСБ. Это даёт возможность регулировать подогрев воды в холодное время года и не перегреть раствор ПСБ в жаркое.

Для просмотра базы данных написана программа, позволяющая просматривать данные в динамике в обе стороны и с разной скоростью.

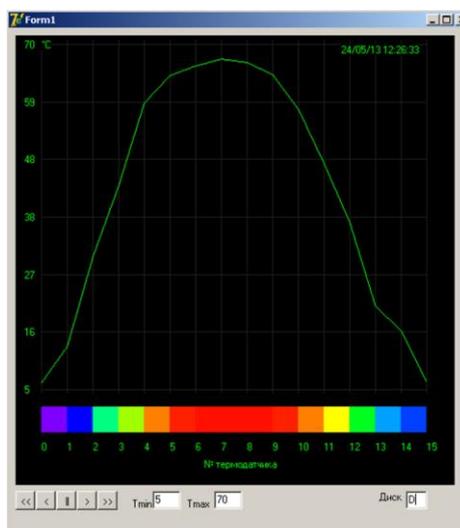


Рис. 4. Контроль технологического процесса заливки ПСБ.

На рис. 5 показано распределение температур в самый холодный момент 2013 года 31 января. Кратко проанализируем эти данные:

- температура наружного воздуха около  $-34^{\circ}\text{C}$ , датчик № 0;
- температура внутреннего воздуха около  $+18^{\circ}\text{C}$ , датчик № 15;
- перепад температуры между воздухом в помещении и поверхностью стены на уровне погрешности измерения, датчики № 15 и № 14.

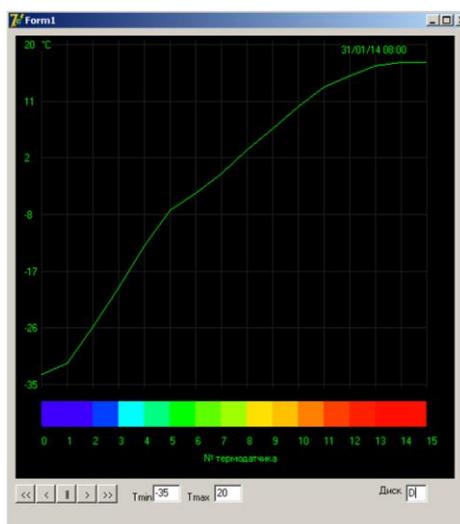


Рис. 5. Контроль состояния ограждающих конструкций в ходе эксплуатации.

На рис. 6 показана термограмма фасада коттеджа, сделанная в марте 2015 года около 19.30. Кратко проанализируем эти данные:

- температура воздуха в помещении  $+26^{\circ}\text{C}$ ;
- температура наружного воздуха около  $-20^{\circ}\text{C}$ ;
- температура на стене  $-16,6^{\circ}\text{C}$ ;
- температура на стеклопакете  $-11,6^{\circ}\text{C}$ .

В этот день температура воздуха днём была порядка  $-13^{\circ}\text{C}$  и после захода солнца понизилась до  $-20^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 6. Тепловизионная съемка фасада коттеджа.

Предполагается на последующих объектах строительства так же устанавливать данную систему и подключать к ней уже системы управления микроклиматом: инфракрасные электрические обогреватели, рекуператоры приточно-вытяжной вентиляции. Электроника в автоматическом режиме сможет заранее как увеличивать, так и уменьшать обогрев или охлаждение воздуха внутри помещений, учитывая предпочтения человека и динамику изменения температуры окружающей среды, времени суток, пребывания людей в здании и их количества. Возможно подключение охранных и пожарных систем сигнализации.

Таким образом, здания, построенные с применением данной технологии, являются объектами капитального строительства с длительным сроком эксплуатации, 100 и более лет, и обладают повышенной устойчивостью к природным и техногенным воздействиям.

### Выводы

Предложенная технология позволяет строить быстровозводимые (до 2-х месяцев на объект) объекты капитального строительства с длительным сроком эксплуатации, 100 и более лет, обладающие повышенной устойчивостью к экстремальным условиям эксплуатации. При этом, себестоимость строительства сравнима с широко применяемыми в настоящее время технологиями и относительно низкими эксплуатационными затратами на поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях летом и зимой.

### Литература

1. Шефер Ю.В. Ордобаев С.Б., Романенко С.В. Концепция малоэтажного сейсмоустойчивого энергоэффективного строительства. Вестник науки Сибири. 2012. № 5. Стр. 76-81.
2. Пат. 2503781 (РФ). Быстровозводимое энергоэффективное каркасное здание / Шефер Ю.В. Действует с 24.07.12, зарегистрирован 10.01.14. Бюл. № 1.
3. Пат. 97147 (РФ). Многослойная наружная стена с облицовкой / Шефер Ю.В. Действует с 30.04.10, зарегистрирован 27.08.10. Бюл. № 24.
4. ГОСТ Р 51263 – 2012. Полистиролбетон. Технические условия.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.