

УДК 69.001.5

**ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СЕЙСМОУСТОЙЧИВЫХ  
МАЛОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
МОНОЛИТНОГО ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА**

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

Изложена технология строительства энергоэффективных и сейсмостойчивых малоэтажных зданий с металлическим каркасом с использованием монолитного полистиролбетона с применением несъемной опалубки.

*Ключевые слова:* сейсмостойкость; сейсмостойчивость; энергоэффективность; полистиролбетон; теплопередача; комфорт.

---

**CONSTRUCTION OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY SEISMIC RESISTANCE  
OF THE LOW-RISE FRAME BUILDINGS USING MONOLITHIC POLYSTYRENE**

**Yu. V. Shefer, S. V. Romanenko, A. G. Kagiroy, A. O. Chulkov, B. S. Ordobaev**

The paper presents the technology of construction of earthquake-resistant and energy-efficient low-rise building with a metal frame with reinforced polystyrene using permanent formwork.

*Keywords:* seismic resistance; seismic resistance; energy efficiency; polystyrene; heat transfer; comfort.

Кыргызстан – одна из самых сейсмоактивных стран мира. Более 90 % территории республики занимают горы, и значительная часть территории находится в 7,8 и 9-балльной зоне. Землетрясения характерны для всей территории Кыргызстана и соседних государств Средней Азии. Проблема надежной сейсмозащиты особенно актуальна, однако до сих пор решение ее нигде не найдено в мире [1–4]. Человечество пережило более 100 катастрофических землетрясений, которые унесли в общей сложности 16 млн человеческих жизней и привели к значительным разрушениям зданий и сооружений. Ликвидация ущерба, нанесенного землетрясением, крайне дорогостоящее мероприятие и отражается на экономике страны. Таковы, например, последствия землетрясения в Чили (1960 г.), Венесуэле (1967 г.), Сан-Фернандо (1971 г.), Никарагуа (1972 г.), Дагестане (1975 г.), Газлийское (1972 г. и 1984 г.), Карпате (1975 г.), Армении (1988 г.), Зайсанское (1990 г.) и др.

В настоящее время при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений актуальной проблемой является увеличение их устойчивости к воздействиям, вызванными 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. Также необходимо учитывать постоянно растущие требования к энергоэффективности и комфортности проживания при снижении себестоимости строительства и затрат на последующую эксплуатацию жилья.

Ранее авторами 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 заглубления и привязки к грунту, без несущих стен, не применять не технологичные и/или недолговечные материалы и изделия, заполнять все ограждающие конструкции монолитным лёгким бетоном [5].

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 [6] (рисунок 1).

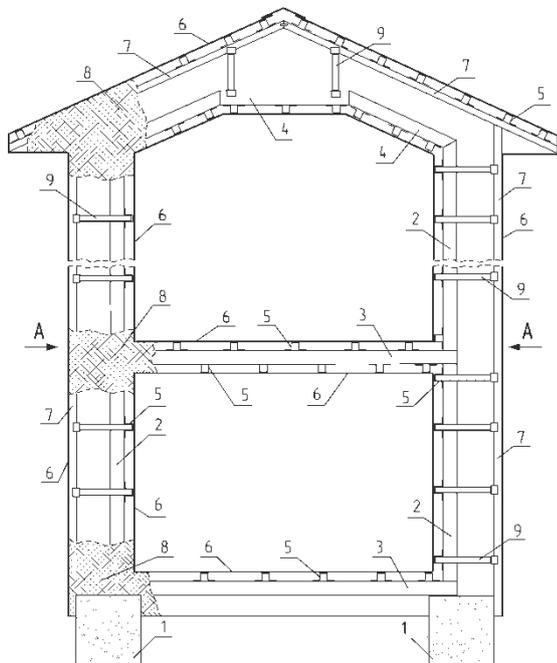


Рисунок 1 – Поперечный разрез здания:

- 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 позволяет реализовать практически любую планировку этажа, причём различную на каждом этаже. Высота этажей также может быть различной в одном здании. Внешний каркас здания служит для крепления листов опалубки и, при необходимости, облицовочных фасадных элементов [7].

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 авторы постарались объединить технологию стро-

ительства на основе каркаса из стальных труб и технологию монолитной заливки полистиролбетоном [8].

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, 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 устанавливаются 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, ригели 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 гнутому профилю.
- С наружной стороны здания на фундамент устанавливают внешний каркас на необходимом расстоянии от внутреннего каркаса, 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.

Конструкция 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 заполнить 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 кг/м<sup>3</sup> 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 [8].

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 соответствии с представленной концепцией и соблюдении 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) удается 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) [9].

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 °С.

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 (рисунок 2) в частном коттедже площадью 425 м<sup>2</sup> в восточной стене в процессе строительства были залиты ПСБ, датчики температуры и установлен блок правления.



Рисунок 2 – Коттедж, построенный по предлагаемой технологии

Один датчик измеряет температуру наружного воздуха, следующий – стены, а 12 датчиков равномерно распределены в массиве стены толщиной 600 мм, из ПСБ марки D180, под углом 45°. Показания датчиков фиксировались сначала

с интервалом 15 сек, затем 1 мин и в дальнейшем 15 мин, 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.

Первые результаты работы данной системы мы начали получать уже в процессе заполнения опалубки монолитным полистиролбетоном.

Для просмотра базы данных была написана программа, позволяющая просматривать данные в динамике в обе стороны и с разной скоростью. Кратко проанализируем распределение температур в самый холодный момент 31 января 2013 г.:

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

Проанализируем данные термограммы фасада коттеджа, сделанной 6 марта 2015 г. около 19.30:

- температура наружного воздуха около  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- температура на стене  $-16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- температура на стеклопакете  $-11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В этот день температура воздуха днём была порядка  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  и после захода солнца понизилась до  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На последующих объектах строительства предполагается также устанавливать данную систему и подключать к ней 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 количество. Возможно подключение охранных и пожарных систем сигнализации.

Таким образом, здания, построенные с использованием предлагаемой технологии, являются объектами капитального строительства с длительным сроком эксплуатации – 100 и более лет, и об-

ладают повышенной устойчивостью к природным и техногенным воздействиям. 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.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 16-48-700367.

#### Литература

1. Романенко С.В. Сейсмозащита зданий и сооружений, пути их решения / С.В. Романенко, Б.С. Ордобаев, К.О. Кадыралиева и др. // Матер. МНПК “Совершенствование прогнозирования и управления стихийными бедствиями”. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016. С. 173–174.
2. Смирнов С.Б. Особенности сейсмозащиты зданий / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Ш.С. Абдыкеева // Матер. XXVI МНПК “Предупреждение. Спасение. Помощь”. АГЗ МЧС РФ. Химки, 2016. С. 109–111.
3. Сеитов Б.М. Обследование и диагностика долговечности зданий и сооружений в сейсмических районах: учеб. пособие / Б.М. Сеитов, Б.С. Ордобаев, О.М. Турганбаев. Бишкек: Айат, 2016. 328 с.
4. Ордобаев Б.С. Некоторые вопросы сейсмостойкости зданий и сооружений при сильнейших землетрясениях / Б.С. Ордобаев // Матер. XXVI МНПК “Предупреждение. Спасение. Помощь”. АГЗ МЧС РФ. Химки, 2016. С. 12–16.
5. Шефер Ю.В. Концепция малоэтажного сейсмостойчивого энергоэффективного строительства / Ю.В. Шефер, С.Б. Ордобаев, С.В. Романенко // Вестник науки Сибири. 2012. № 5. С. 76–81.
6. Патент 2503781 (РФ). Быстровозводимое энергоэффективное каркасное здание / Ю.В. Шефер. Действует с 24.07.12, зарегистрирован 10.01.14. Бюл. № 1.
7. Патент 97147 (РФ). Многослойная наружная стена с облицовкой / Ю.В. Шефер. Действует с 30.04.10, зарегистрирован 27.08.10. Бюл. № 24.
8. ГОСТ Р 51263–2012. Полистиролбетон. Технические условия.
9. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003.