

УДК 69.001.5

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
КАРКАСНО-МОНОЛИТНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ  
В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ**

*Ю.В. Шефер, С.В. Романенко, Б.С. Ордобаев, Н.В. Сураегин*

Обосновано применение полистиролбетона в строительстве энергоэффективных сейсмостойчивых зданий. Рассмотрена концепция строительства монолитного каркасного здания, описаны достоинства его применения в сейсмо- и пожаробезопасном строительстве.

*Ключевые слова:* монолитное каркасное здание; полистиролбетон; труобетон; сейсмостойкое строительство.

---

**PROSPECTS FOR THE USE OF POLYSTYRENE IN THE CONSTRUCTION  
OF FRAME-MONOLITHIC ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS  
IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS**

*Yu. V. Schefer, S. V. Romanenko, B. S. Ordobaev, N. V. Suraegin*

The article proves the use of polystyrene in the construction of earthquake-resistant energy-efficient buildings. The concept of building monolithic frame building is considered, advantages of its use in seismic fireproof construction are described.

*Keywords:* monolithic frame building; polystyrene; pipe-concrete; earthquake engineering.

Ежедневно в разных точках мира происходят катаклизмы техногенного и природного характера, одними из наиболее частых бедствий являются землетрясения и пожары.

Кыргызская Республика находится в сейсмически активной зоне, наиболее опасные районы: Иссык-Кульская область, Чон-Алайские и Алайские районы Алайской впадины. В Российской Федерации наиболее сейсмоопасные зоны: Камчатка, Северный Кавказ, Алтай и Саяны, рифовая зона Байкала, Чукотка и Корякское нагорье, Курило-Камчатская зона, Сахалин, Приамурье и Приморье. Землетрясения также бывают в районах, которые ранее считались зонами малой сейсмической активности. Так, в СССР из 20-ти наиболее разрушительных землетрясений 18 произошли там, где они были маловероятны [1–3].

Самые катастрофические землетрясения в Новой эре произошли в 1201 г. в Египте (110000 жертв) и в 1536 г. в Китае (830000 погибших). Наиболее разрушительные землетрясения происходили в районах, прилегающих к тектоническим разломам. Как показывает практика (г. Спитак 1988 г., г. Кобе 1995 г.) пренебрежение строительными нормами, халатность и неправильные конструктивные реше-

ния влекут за собой катастрофические последствия [2–5]. В Кыргызской республике 66 % населения проживает в сейсмически неустойчивых домах.

Используемая в данный момент концепция строительства не в полной мере соответствует требованиям минимизации сейсмической нагрузки. Большая масса ограждающих конструкций дает дополнительную нагрузку на железобетонную несущую конструкцию, и с учетом непредсказуемости землетрясений большая часть зданий имеет расположенность к сейсмическому разрушению.

Большая часть людей гибнут, или получают увечья под завалами зданий после сейсмического разрушения. В настоящий момент не существует надежных методов предотвращения или даже предсказания землетрясений и поэтому приоритетным направлением минимизации человеческих жертв и материального ущерба становится повышение сейсмической устойчивости зданий и сооружений. Необходимо отметить, что повышение сейсмостойкости является одной из наиболее сложных задач, которые стоят перед строителями. В мире ежедневно происходят толчки разной мощности. Большей частью на сооружения воздействуют частые, но слабые толчки, что и

обуславливает строительство зданий, которые должны обеспечить исправную эксплуатацию при малых толчках, при средних – ограничить повреждения, при сильных – исключить человеческие жертвы [6, 7].

Концепция сейсмоустойчивого строительства заключается в повышении несущей способности конструкции, использовании материалов, обеспечивающих минимизацию нагрузок. Масса сооружения оказывает существенное влияние – чем меньше его масса, тем устойчивее объект. Из опыта предыдущих землетрясений специалисты сделали ряд выводов: каркасные и каркасно-монолитные здания обладают большей сейсмостойкостью, монолитные и крупнопанельные ограждающие конструкции на порядок выше по сейсмостойкости блочной или кирпичной кладки [3].

Современное строительство требует комплексного подхода к обеспечению безопасности при эксплуатации зданий и сооружений. Пожары являются самыми распространенными причинами гибели зданий. Возникновение пожара чаще всего связано с нарушением противопожарной безопасности, халатности или умышленного поджога. По статистике больше всего людей гибнет в зданиях от пожаров (опасными факторами являются дым и высокая температура) и последующих обрушений конструкций в результате действия высокой температуры и взрывов бытового газа или других взрывоопасных веществ.

В Российской Федерации за 12 месяцев 2015 г. произошло 145686 пожаров, из них 100599 – в жилых зданиях, погибло 8510, пострадало 8044 [8]. За тот же период в Кыргызской Республике произошло 3932 пожара, погибло 43 человека, пострадало 58 [9].

Анализ пожаров зданий показывает, что практически всегда в горении участвуют строительные материалы. От выбора строительных материалов зависит класс пожарной опасности, безопасность человеческих жизней и материальных ценностей [10].

Пожарно-техническая классификация содержит ряд необходимых требований по противопожарной защите конструкций, помещений, зданий, элементов и частей зданий в зависимости от их огнестойкости и (или) пожарной опасности. Характеристиками пожарной опасности строительных материалов являются: горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность [11].

Концепция строительства предусматривает исключение горючих и дымообразующих материалов. В случае возгорания внутри помещений вещей и мебели не происходит распространения огня по строительным конструкциям и практически невозможно обрушение межэтажных перекрытий. При применении негорючих отделочных фасадных материалов возгорание здания снаружи практически невозможно.

Предлагаемый для применения негорючий монолитный полистиролбетон обладает рядом уникальных свойств, что позволяет значительно уменьшить массу здания, достичь высокой морозоустойчивости и сопротивление теплопередаче.

Следует отметить, что воздействие только гармонических колебаний грунта не может объяснить причины сейсмического разрушения зданий. Изучение зданий, пострадавших от землетрясений, позволило предположить, что наблюдаемые последствия могли быть вызваны только импульсными квазиударными воздействиями на каркас. Что дает основания расширить представления о сейсмостойком строительстве [12].

На наш взгляд, стратегия сейсмической защиты зданий должна включать несколько принципов: 1) отсутствие подвальных помещений; 2) сохранение целостности грунта; 3) обустройство монолитного основания [12]; 4) использование высокопрочного каркаса; 5) уменьшение массы здания за счет применения легких бетонов, прежде всего, в ограждающих конструкциях; 6) взаимовыгодное сочетание материалов, соединяющих все элементы в единое целое; 7) стремление к равномерному распределению нагрузок на все элементы конструкции здания; 8) соблюдение принципов пожарной защиты здания.

Пожароустойчивость обеспечивается использованием негорючих и недымообразующих строительных материалов, а также обладающих соответствующими функциональными характеристиками того или иного строительного элемента.

Ранее нами была предложена концепция строительства сейсмо-пожаробезопасных зданий [3]. Рассмотрим применение наилучших из доступных материалов для предлагаемых конструктивных решений в рамках рассматриваемой концепции и проведем их краткий анализ.

Монолитное здание, которое содержит фундамент, два не связанных металлических каркаса, обшитых стекло-магнезитовым листом, образующих пространство стен и межэтажных перекрытий. Внутренний каркас выполнен из стальных колонн, связанных ригелями и балками перекрытия, опирается на фундамент и является несущим каркасом, внешний каркас выполнен из легкого профиля, опалубочное пространство заполнено полистиролбетоном [13].

Монолитное основание (монолитный фундамент) – это монолитная плита, расположенная по всему периметру здания, применяется обычно на неблагоприятных грунтах. В зависимости от характеристик местности возможно использование нескольких вариантов обустройства «подошвы» конструкции, в этих целях используют щебень, сваи. Также необходимо сооружение гидроизоляционного слоя для полноценного схватывания раствора, приобретения требуемых качеств, и их сохранения

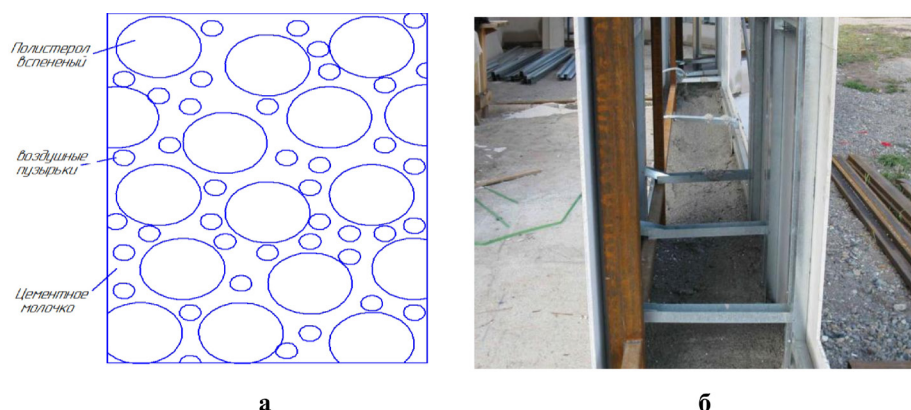


Рисунок 1 – Структура полистиролбетона (а); пример обустройства пространства опалубки (б)

при дальнейшей эксплуатации здания. Монолитное основание распределяет нагрузку по всей площади здания равномерно, снижает нагрузку на несущую конструкцию, что в свою очередь, снижает привязку к грунту, и в случае толчков высокой бальности, здание сможет сохранить свои эксплуатационные характеристики [3, 14, 15].

Несущий каркас (рисунок 1, б) выполнен из металлических труб прямоугольного сечения, заполненных бетоном (трубобетон), который с помощью того или иного способа утрамбовывается в полости, марка бетона подбирается с учетом требуемых характеристик. Для этих целей возможно применение как тяжелых, так и легких бетонов [13].

Трубобетон на практике показал себя как материал с большим запасом прочности, который значительно выше железобетонна. Металлическая труба защищает бетон от внешних факторов, бетон в свою очередь защищает металл от коррозии, лишая доступа кислорода и придавая ему высокую прочность на растяжение, кручение и изгиб. Таким образом, материалы взаимовыгодно «сосуществуют». Трубобетон, в отличие от металлических полых труб, менее критичен к термическим деформационным изменениям [16].

Стекло-магнезитовый лист (СМЛ), листовой строительный не горючий материал, масса 1050–1200 кг/м<sup>3</sup>. В данной строительной концепции является основным элементом несъемной опалубки, огнезащитным слоем всей поверхности здания, гидрозакщитной и парозакщитной оболочкой [17].

СМЛ не участвует в процессе горения и предохраняет следующий за ним слой бетона при пожаре, чем устраняет одну из составляющих «треугольника» условий пожара (окислитель, горючая среда, источник зажигания) [18]. Согласно протоколу испытаний конструкции стены из СМЛ 10 мм и монолитного полистиролбетона в качестве запол-

нения пространства опалубки, выдержали испытания плазменной горелкой в течение 60 мин, им присвоен предел огнестойкости EI 60.

Полистиролбетон (ПСБ) – особо легкий бетон поризованной структуры на цементном вяжущем и заполнителе из вспененного гранулированного полистирола с использованием воздухововлекающих добавок, поризующих цементный камень, и других добавок-модификаторов свойств полистиролбетона (рисунок 1, а) [13].

ПСБ используется во всем монолитном литье сооружаемого здания, имеет малую массу, не горит при открытом доступе пламени. Полистирольные шарики наружного слоя выгорают, оставляя полые ячейки, последующие слои, защищенные цементным раствором, остаются незатронутыми. Металлические внутренние включения, залитые ПСБ, защищены от коррозии, что положительно влияет на целостность конструкции, увеличивая устойчивость несущей конструкции и соответственно срок ее эксплуатации. Кроме того, при пожаре несущие конструкции будут изолированы от термических процессов, что препятствует обрушению здания, увеличивая эвакуационный период. Использование ПСБ удовлетворяет ряду требований СНиП 21-01–97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений». За счет малой плотности ПСБ снижается нагрузка на основание и на другие элементы конструкции.

Ригель – это горизонтальный опорный элемент, к которому крепятся другие строительные элементы металлического каркаса. Он сочленен вертикально с колоннами в одной плоскости и балками перекрытия. ПСБ защищает ригель от коррозии.

Балки перекрытия – это конструктивный строительный элемент, работающий на изгиб. Сочленяется с ригелем, с каждой стороны выходит за ригель, равномерно распределяя нагрузку на стены, разгружая несущие колонны за счет давления сверху, ограждающие конструкции разгружают нагрузку на изгиб.

Природа воздействий землетрясения на здания изучена недостаточно. Существующая доктрина, на которой основывается сейсмоустойчивость зданий, на практике показывает свою малую эффективность. После землетрясения в г. Кобе здания, построенные согласно нормам сейсмоустойчивости, разрушились при меньших нагрузках, чем были предусмотрены проектами [19].

Монолитное строительство, исходя из опыта предыдущих землетрясений (Ташкент 1966 г.), зарекомендовало себя как сейсмоустойчивое инженерное решение, монолитная заливка позволяет рассредоточить нагрузку равномерно по всей конструкции.

Материалы каждого из строительных элементов взаимовыгодно соседствуют друг с другом. Поэтому после последовательного исключения (например, в результате пожара) одного из элементов, следующий сохраняет свои функциональные характеристики вплоть до элементов несущей конструкции, что делает здание пожароустойчивым. Использование стального каркаса позволяет расположить несущие колонны, ригели и балки перекрытия необходимого сечения и толщины стенки металла в соответствии с планировкой этажей. Опалубка из СМЛ и монолитное заполнение всех конструкций полистиролбетоном предохраняют стальной каркас от изгибов, кручения, прогибов и предотвращают обрушение строительных конструкций (перекрытий). Это также помогает защитить каркас от огня как снаружи, так и внутри помещений.

Таким образом, строительная концепция монолитного каркасного быстровозводимого здания отвечает требованиям, как сейсмической, так и пожарной устойчивости.

#### Литература

1. КирТАГ // В Кыргызстане наиболее сейсмоопасными являются северные и южные регионы. НАН КР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kyrtag.kg/news/v-kyrgyzstane-naibolee-seysmoopasnymi-yavlyayutsya-severnnye-i-yuzhnye-regiony-nan-kr/>
2. Baumanki.net // Характеристика ЧС природного характера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://baumanki.net/lectures/3-bezopasnost-zhiznedeyatelnosti-i-ohranatruda/56-zaschita-territorii-i-naseleniya-v-chrezvychaynyh-situaciyah/825-harakteristikachs-prirodnogo-haraktera.html>
3. Шефер Ю.В. Концепция малоэтажного сейсмоустойчивого энергоэффективного строительства / Ю.В. Шефер, Б.С. Ордобаев, С.В. Романенко // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6).
4. Россия в окружающем мире // Наиболее сильные землетрясения в XX веке // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.russtat.ru/index.php?vid=1&year=2001&id=49&page=2>
5. Информационное агентство 24 // 66 % населения Кыргызстана проживают в сейсмоопасных домах [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.centrasia.ru/newsA.php?st=1364585220>
6. Уздин А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмического строительства зданий и сооружений / А.М. Уздин, Т.А. Сандорович, Аль-Насер Мохомад Самих Амин. СПб., 1993. 164 с.
7. Катаклизмы // Основные причины жертв при землетрясениях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kataklyzm.ru/articles/zemletryaseniya/osnovnye-prichiny--jertv-pri-zemletryasenyah/>
8. Статистика пожаров РФ 2015 // wiki-fire.org. Электронная энциклопедия пожарной безопасности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wiki-fire.org/Статистика-пожаров-РФ-2015.ashx>
9. КирТАГ // В Кыргызстане в 2015 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kyrtag.kg/society/v-kyrgyzstane-v-2015-godu-proizoshlo-3-tys-932-pozhara-pogibli-43-cheloveka-mchs.html>
10. Пожарная опасность строительных материалов: учеб. пособие / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М., 2005. 231 с.
11. СНиП 21-01-97\* Строительные нормы и правила пожарная безопасность зданий и сооружений.
12. Патент RU 2 503 781 С1.
13. Смирнов С.Б. Анализ колебательной модели сейсмического разрушения зданий / С.Б. Смирнов, А.М. Зулпуев, Б.С. Ордобаев, Ш.С. Абдыкеева // Территория науки. 2015. № 3.
14. Монолитный фундамент // Fundament-prosto.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fundament-prosto.ru/monolitnyj/34-monolitnyu-fundament.html>
15. Монолитный фундамент // ООО «Комфорт сервис» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ocomforte.ru/fundament/monolitnii-fundament.html>
16. Грызин А.А. Задания, сооружения и их устойчивость при пожаре / А.А. Грызин. М.: Проспект, 2008. 241 с.
17. Стекломагнезитовый лист // Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стекломагнезитовый\\_лист](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стекломагнезитовый_лист)
18. Пожарный.ру // Пожар. Пожар и его развитие. Пожарный треугольник. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.pogarny.ru/index.php?catid=103:2009-08-13-12-46-33&id=300:2009-08-14-07-27-19&Itemid=139&option=com\\_content&view=article](http://www.pogarny.ru/index.php?catid=103:2009-08-13-12-46-33&id=300:2009-08-14-07-27-19&Itemid=139&option=com_content&view=article)
19. Смирнов С.Б. Волновое импульсное воздействие на здания и сооружения / С.Б. Смирнов, А.М. Зулпуев, Б.С. Ордобаев, Ш.С. Абдыкеева // Территория науки. 2015. № 3.