

УДК 69.001.5

КОНЦЕПЦИЯ МАЛОЭТАЖНОГО СЕЙСМОУСТОЙЧИВОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

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

Томский политехнический университет
*Кыргызско-Российский Славянский университет,
г. Бишкек, Киргизия
E-mail: yuri@shefer.ru

Шефер Юрий Владимирович, аспирант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ, директор ООО «Дом в Томске».

E-mail: yuri@shefer.ru
Область научных интересов: сейсмостойчивость и энергоэффективность в строительстве.

Ордобаев Бейшенбек Сыдыкбекович, канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой защиты в ЧС Кыргызско-Российского Славянского университета.

E-mail: ordobaev@mail.ru
Область научных интересов: защита в чрезвычайных ситуациях, сейсмостойчивость в строительстве.

Романенко Сергей Владимирович, д-р хим. наук, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: svr@tpu.ru
Область научных интересов: безопасность в техносфере, защита в чрезвычайных ситуациях.

Предложена новая технология строительства сейсмостойчивых малоэтажных зданий с высокой энергоэффективностью и увеличенным сроком эксплуатации. Предложенное техническое решение позволяет строить малоэтажные здания с повышенной устойчивостью к природным и техногенным катаклизмам. Здание одновременно является каркасным (выполненным из трубобетона) и полностью монолитным, где фундамент, все стены, перекрытия и крыша залиты полистиролбетоном, различной плотности, и образуют единую монолитную конструкцию.

Ключевые слова:

Сейсмостойчивость, энергоэффективность, трубобетон, монолитный полистиролбетон.

Во многих регионах мира существует необходимость строительства зданий и сооружений в сейсмически опасных районах. Печальный опыт последних разрушительных землетрясений и анализ их последствий свидетельствует о том, что проблема надёжной сейсмозащиты зданий до сих пор так и не решена.

Из анализа отчетов о последствиях сильных землетрясений следует, что сейсмостойкие здания, запроектированные в точном соответствии с местными нормативными актами, очень часто разрушаются вопреки их гарантиям даже при «неопасном» для зданий уровне сейсмической нагрузки, которой ниже расчетного уровня [1]. Официальная сейсмическая наука всегда «списывала» такие

случаи на ошибки строителей и строительный брак, хотя при более тщательном анализе подобные объяснения не выдерживают строгой критики.

После катастрофы в японском г. Кобе (17 января 1995 г.), где качество современного строительства было безупречно, официальной науке впервые не удалось переложить на строителей всю вину за случившиеся разрушения «сейсмостойких» зданий, и эти разрушения впервые остались без каких-либо официальных объяснений.

Проанализируем факты, указанные в самом первом официальном отчете [1] о сейсмических разрушениях в г. Кобе. Согласно обоснованию, данному в этом отчете [1. С. 82–87], реальные сейсмические нагрузки на здания в г. Кобе не превысили расчетный уровень. Поэтому вся современная «сейсмостойкая» застройка, имеющая стальной, железобетонный и сталежелезобетонный каркас, согласно японским строительным нормам, должна была устоять. Тем не менее, та ее часть, которая попала в локальную зону активного сейсмического воздействия, была разрушена.

В отчете [1] не указано общее число разрушившихся современных каркасных зданий, которые были построены в соответствии со строительными нормами Японии. Однако там при-

водятся данные, полученные разными организациями при обследовании части разрушений застройки. Например, «Специальный Комитет по исследованию зданий, разрушенных землетрясением в Кобе» обследовал 516 зданий с железобетонным каркасом, из которых 367 были полностью разрушены; а так же 316 зданий со стальным каркасом, из которых 174 разрушились, и еще 42 здания со стале-железобетонным каркасом, из которых 27 разрушились.

Кроме того, аналогичные исследования части разрушений застройки провело «Общество арендодателей зданий». Ими было исследовано 2007 зданий с железобетонным каркасом, из которых разрушились 400 зданий (т. е. 20 %); а так же 752 здания со стальным каркасом, из которых разрушилось 27 %, и еще 429 стале-железобетонных зданий, из которых разрушились 23 %.

В отчете [1] приведено еще много примеров разрушения новых «сейсмостойких» зданий, построенных, согласно строительным нормам Японии, с 1971 по 1981 гг. В частности, особо отмечен необычно высокий процент разрушения наиболее распространенных в Японии (как и везде) «сейсмостойких» зданий с гибким первым этажом. При этом в отчете [1] нет ответа на главный вопрос о том, почему произошли все эти разрушения.

При разработке проектов сейсмостойких зданий многократно занижается уровень реальных сейсмических напряжений, в колоннах и стенах зданий, и, таким образом, завышается их реальная сейсмостойкость. Например, согласно официальным данным, такие здания должны с большим запасом выдерживать 10 балльные землетрясения (по шкале MSK-64), однако в настоящий момент зафиксированы случаи их сейсмического разрушения. Такая же ошибка присутствует при сейсмических расчетах иных зданий. Этот дефект всех нормативных актов по сейсмоустойчивости нельзя исправить, так как он есть прямое следствие базового постулата официальной теории о прямой зависимости величины сейсмических напряжений в колоннах и стенах от величины массы вышестоящего здания [2, 3].

Действующие сейсмические строительные нормы в ряде случаев не понижают, а наоборот, повышают уровень сейсмического риска для населения. Например, общеизвестно, что здание с несущими стенами из материалов практически не способных воспринимать растягивающие напряжения (т. е. кирпичные, каменные и др.), как правило, разрушаются при 9 балльных землетрясениях. Тем не менее, ни один нормативный документ не запрещает строительство таких зданий и сооружений.

При разрушительных землетрясениях регулярно возникает множество фактов и явлений, которые никак не могут быть вызваны низкочастотными колебаниями и которые невозможно объяснить на базе официальной «колебательной» модели сейсмического разрушения зданий. Например, низкочастотные сейсмические колебания грунта должны вызывать в каркасных зданиях изломы железобетонных колонн возле их заземленных концов с образованием изгибных пластических шарниров. Однако в реальности вместо этого в железобетонных колоннах всегда возникает лишь срез по косым трещинам в пролёте колонны на удалении от их концов. Надо подчеркнуть, что для гибких железобетонных колонн, как и для любых гибких стержневых элементов, при квазистатических нагрузках происходит только лишь изгибное разрушение путем их излома [2, 3]. Это подтверждает и многочисленные эксперименты по моделированию колебательного сейсмического воздействия на модели каркасных зданий [3].

Сейсмоустойчивые здания должны не только однократно выдержать сильное землетрясение, спасти жизни людей, но быть способными дальше функционировать и продолжать выдерживать новые толчки, без повреждения несущих конструкций и систем жизнеобеспечения [2, 3].

По нашему мнению, чтобы здание было действительно сейсмостойким и к тому же энергоэффективным, необходимо придерживаться следующих требований:

- здание должно быть малоэтажным или высота не должна превышать ширину;
- здание не должно быть жестко связано с грунтом, применение свай заглубленных фундаментов не допустимо;
- несущий каркас выполнен из дерева или стали;
- ограждающие конструкции заполнены монолитным лёгким бетоном.

Нами предлагается объединить лучшие отечественные и мировые технологии строительства. Такие как: технологию строительства на основе каркаса из трубобетона и технологию монолитной заливки полистиролбетоном.

Первые статьи о применении трубобетона были опубликованы в СССР в 1932 г. профессором А.А. Гвоздевым по методике расчета трубобетона как конструкции. Однако большее развитие и распространение данная технология получила за рубежом – в США, Японии, КНР, Арабских Эмиратах. Трубобетонные колонны из стальных труб прямоугольного сечения, заполненные бетоном, способны выдерживать значительные горизонтальные сдвиговые нагрузки, что делает их незаменимыми в сейсмоопасных районах.

Сущность предлагаемой концепции в том, что здание состоит из двух каркасов (рис. 1). Внутренний несущий каркас здания выполнен из трубобетона. 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.

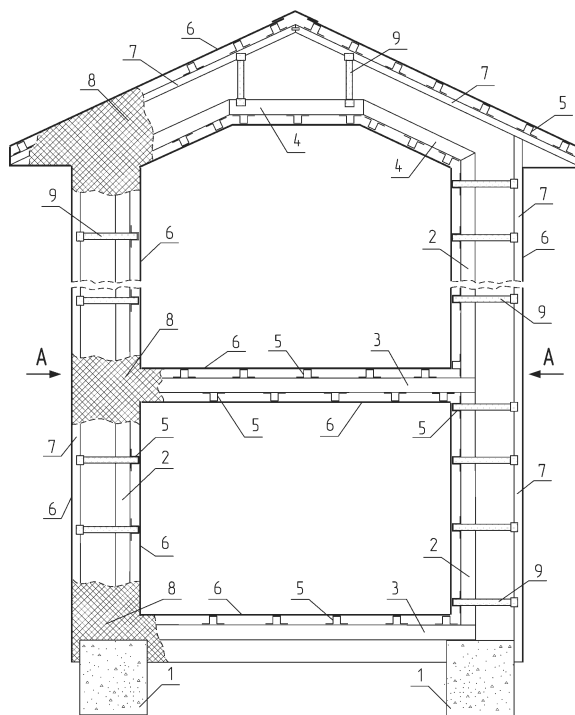


Рис. 1. Поперечный разрез здания: 1 – фундамент; 2 – колонна внутреннего каркаса; 3 – ригель внутреннего каркаса; 4 – балка перекрытия; 5 – гнутый профиль; 6 – лист опалубки; 7 – внешний каркас; 8 – лёгкий бетон; 9 – временный фиксатор

Решение поставленной задачи обеспечивается тем, что в здании (рис. 1), содержащем фундамент, стены, каркас здания, межэтажные перекрытия, листы опалубки, пространство между которыми заполнено лёгким бетоном, стены содержат два жестких каркаса: внутренний каркас, состоящий из колонн – 2, связанных между собой ригелями – 3, с закреплённым на нём гнутым профилем – 5, который в нижней своей части опирается на фундамент – 1 и является несущим каркасом здания, а на расстоянии от 0,1 до 1 метра от внутреннего каркаса выполнен лёгкий внешний каркас здания – 7, скреплённый, по необходимости, с внутренним каркасом временными фиксаторами – 9, убираемыми по мере заполнения лёгким бетоном – 8. Межэтажные перекрытия здания выполнены из балок перекрытия – 4, закреплённых на ригеле внутреннего каркаса – 3. Все элементы конструкции оборудованы гнутым профилем – 5 таким образом, что после обшивки листами опалубки они образуют единое связанное опалубочное пространство стен и межэтажных перекрытий.

На верхнем этаже здания колонны внутреннего каркаса – 2, балки перекрытия – 4 и внешний каркас – 7 с закреплёнными на них листами опалубки – 6 могут быть выполнены в виде мансардной крыши. В качестве фундамента могут быть использованы несущие конструкции ранее построенного или санируемого здания.

Колонны, ригеля внутреннего каркаса и балки перекрытий могут быть выполнены из стальных труб квадратного и/или прямоугольного сечения. При необходимости, для увеличения несущей способности, пожаростойкости и сейсмостойкости, стальные трубы могут быть также заполнены тяжелым и/или лёгким бетоном.

Промышленную применимость заявленного технического решения можно пояснить примерами:

- для зданий малой этажности (1–3 этаж.): несущие конструкции здания, колонны, ригеля и балки перекрытия выполнены, например, из стальных труб сечением 50×100 мм со стенкой – 4 мм, скреплённых между собой с помощью сварки;
- для зданий средней этажности (4–5 этаж.): несущие конструкции здания, колонны и ригеля выполнены, например, из стальных труб сечением 100×100 мм со стенкой – 4 мм, а балки перекрытия выполнены, например, из стальных труб сечением 50×100 мм со стенкой – 4 мм, заполнены монолитным лёгким бетоном необходимой марки по прочности, скреплённых между собой с помощью сварки и дополнительно винтовыми соединениями и/или заклепками.

Внешний каркас установлен на таком расстоянии от внутреннего, чтобы обеспечить требуемые параметры теплозащиты здания. Внутренний, несущий, каркас здания: колонны, ригеля и сформированные межэтажные перекрытия выполнены из металлических труб прямоугольного сечения, скреплённых между собой с помощью сварки и дополнительно винтовыми соединениями или заклепками, заполненных бетоном, где параметры трубы и марка бетона определяется исходя из высоты здания и длины пролётов.

Внешний каркас совмещает функции каркаса для крепления листов несъёмной опалубки и одновременно может служить для крепления кляммеров с последующей установкой керамогранита. Расстояние между каркасами может быть от 10 см и выше. В межопалубочном пространстве до заливки прокладываются необходимые инженерные коммуникации. В наружных стенах установлены устройства приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла. По ним в жилые комнаты и кухню подаётся чистый воздух. Зимой воздух подогревается, а летом охлаждается до комфортной температуры. На последнем этаже здания стены с утолщением переходят в мансардную крышу. На данную конструкцию (рис. 1) подана заявка на изобретения [5], и в данный момент проводится экспертиза по существу.

Нами предлагается заполнять конструкции лёгким бетоном, например, полистиролбетоном (ПСБ). Технология полистиролбетона была запатентована в Германии в 1952 г. В Советском Союзе полистиролбетон считался стратегическим строительным материалом и применялся в основном для строительства крупных производственных и складских помещений, а так же на военных объектах. Вторую жизнь ПСБ в России дал НИИ Железобетона (г. Москва), который провёл большую научную работу и выпустил ГОСТ (Р 51263-99) на полистиролбетон в 1999 г.

Рассмотрим основные особенности полистиролбетона. Правильней было бы назвать этот материал: полистирол-воздухо-бетон. 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 нужны для равномерного распределения 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 разрушения материала под проектной нагрузкой.

По нашим расчетам для создания условий комфортного проживания в зданиях, построенных в соответствии с представленной концепцией, и соблюдения энергоэффективного режима их эксплуатации необходимо применять в ограждающих конструкциях монолитный полистиролбетон марки D-200 толщиной 300...700 мм (таблица). Таким образом, всё здание (фундамент, все стены, перекрытия, крыша) должно быть залито монолитно. При этом будут отсутствовать «мостики холода», и весь массив полистиролбетона будет являться эффективной теплоизоляцией внутреннего пространства дома от окружающей среды. В таком здании будет тепло зимой и прохладно летом.

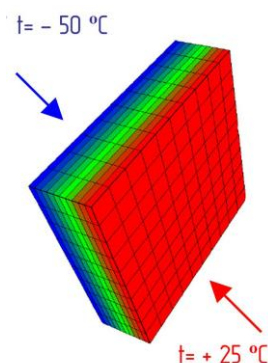
Таблица 1. Зависимость теплового потока от толщины ограждающей конструкции из монолитного полистиролбетона D-200, $\Delta t = [(-50\text{ }^{\circ}\text{C}) - (+25\text{ }^{\circ}\text{C})] = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$

Толщина стен, мм	Сопротивление теплопередачи, $\frac{\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$	Тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$
300	4,282	17,50
350	5,000	15,00
400	5,714	13,12
450	6,428	11,66
500	7,142	10,50
550	7,857	9,54
600	8,571	8,75
650	9,258	8,10
700	10,000	7,50

Отдельно необходимо рассмотреть такие характеристики монолитного полистиролбетона, залитого в несъемную опалубку, как горючесть и огнестойкость. Прежде всего, для производства требуется применение только пищевых самозатухающих марок пенополистирола. Так, при контакте с открытым огнём шарики пенополистирола в цементной матрице как бы исчезают. Так как шарик пенополистирола состоит по объёму на 98 % из воздуха, то он полностью сгорает в избыточной атмосфере кислорода воздуха, соприкасаясь с воздухом не только снаружи, но и изнутри. В процессе реакции окисления образуются углекислый газ и вода. Углекислый газ препятствует горению, а вода в момент образования, переходя в пар, препятствует дальнейшему разрушению шариков внутри массива.

Следует особо отметить, что, находясь в монолитно залитом полистиролбетоне, 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.

Температурные поля части ограждающей конструкции из монолитного полистиролбетона показаны на рис. 2.

**Рис. 2.** Температурные поля ограждающей конструкции из монолитного полистиролбетона

В качестве листов несъемной опалубки целесообразно применять стекломгнезитовые листы (СМЛ) толщиной от 10 мм, которые относятся к негорючим материалам и имеют предел огнестойкости EI 90, что позволяет, по нормативам, применять их в зданиях высотой до 150 м. Таким образом, СМЛ защищает полистиролбетон от открытого огня и дополнительно защищает несущие конструкции здания: колонны, ригеля, перекрытия от воздействия высоких температур и соответственно разрушений.

Данная концепция проектирования позволяет совместить металлокаркас наружной части несъемной опалубки с подвесной системой для крепления керамогранита (рис. 3). Наружные листы несъемной опалубки крепятся через кляммер к направляющим профилям вытяжными заклёпками. Одновременно возможна установка окон и балконных дверей. Каркас здания полу-

чается облаченным как бы в «скорлупу». На устройство наружных стен с облицовкой керамогранитом получен патент на полезную модель [4].

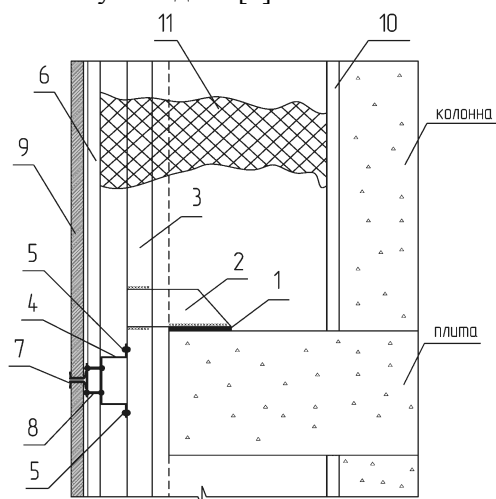


Рис. 3. Многослойная стена: 1 – закладная деталь; 2 – косынка, 3 – вертикальная стойка; 4 – горизонтальный профиль; 5 – заклёпка короткая; 6 – наружный лист несъёмной опалубки; 7 – кляммер; 8 – заклёпка длинная; 9 – облицовочный элемент; 10 – внутренний лист несъёмной опалубки; 11 – полистиролбетон

Зазор между керамогранитом и опалубкой получается равным толщине кляммера. Таким образом, мы получаем не трёхслойную, а пятислойную конструкцию стен. Где, кроме двух листов опалубки и слоя полистиролбетона, появляется керамогранит и воздушный зазор. Он играет очень важную дополнительную роль в тепловой и огневой защите стен. Зимой тепловой поток, выходящий из помещений, нагревает воздушный слой, а вследствие маленького зазора и шероховатости соприкасаемых поверхностей тёплый воздух двигается вверх в ламинарном режиме, что приводит к дополнительному теплоизоляционному эффекту. Летом, наоборот, солнечные лучи нагревают керамогранит и образовавшийся в зазоре воздушный поток способствует охлаждению поверхности стены.

Выводы

В соответствие с предложенной концепцией, совместное применение технологий трубобетона и монолитного полистиролбетона позволяет проектировать быстровозводимые малоэтажные здания с повышенной устойчивостью к землетрясениям и пожарам, обладающие, кроме того, исключительно высокой энергоэффективностью. Концепция позволяет добиться снижения себестоимости строительства и эксплуатационных затрат на поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях летом и зимой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A sure report for building damages due to the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake // Building Research institute. Ministry of Construction (Japan). – 1996. – 222 p.
2. Смирнов С.Б. Сейсмический срез зданий – результат отдачи толщи грунта сдвигаемой глубинными сейсмическими волнами // Жилищное строительство. – 2009. – № 9. – С. 32–35.
3. Смирнов С.Б. Причины разрушения сейсмостойких зданий и принципы их эффективной сейсмозащиты // Бетон и железобетон. – 1994. – № 3. – С. 22–25.
4. Многослойная наружная стена с облицовкой: пат. на полезную модель RU № 97147 U1; заявл. 30. 04.10; опубл. 27.08.10, Бюл. № 24.
5. Быстровозводимое энергоэффективное каркасное здание: пат. RU № 2012131704; заявл. 24.07.12.

Поступила 27.11.2012 г.