

УДК 624.04

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ (EXPERIMENTAL RESEARCH SEISMICSTABILITY OF BUILDINGS)**

А.С. Нааматов

A.S. Naamatov

Томский политехнический университет

E-mail: ars\_kga@mail.ru

Применяемые ныне меры сейсмозащиты неэффективны, а расчет и проектирование зданий и сооружений по действующим нормам вовсе не исключает их разрушение. Приведен критический анализ сейсмозащиты зданий и предлагаются основные принципы их совершенствования.

(The measures of seismic protection applied nowadays are inefficient, calculation and design of buildings and constructions for existing rules doesn't exclude their destruction at all. The critical analysis of seismic protection of buildings is provided and the basic principles of their improvement are offered.)

### **Ключевые слова:**

Землетрясение, сейсмозащита, антирезонансные, микротрещины, строительство, раздробление, разрушение, здания, сооружения.

(Earthquake, seismic protection, anti-resonant, microcracks, building, smashing, destruction, buildings.)

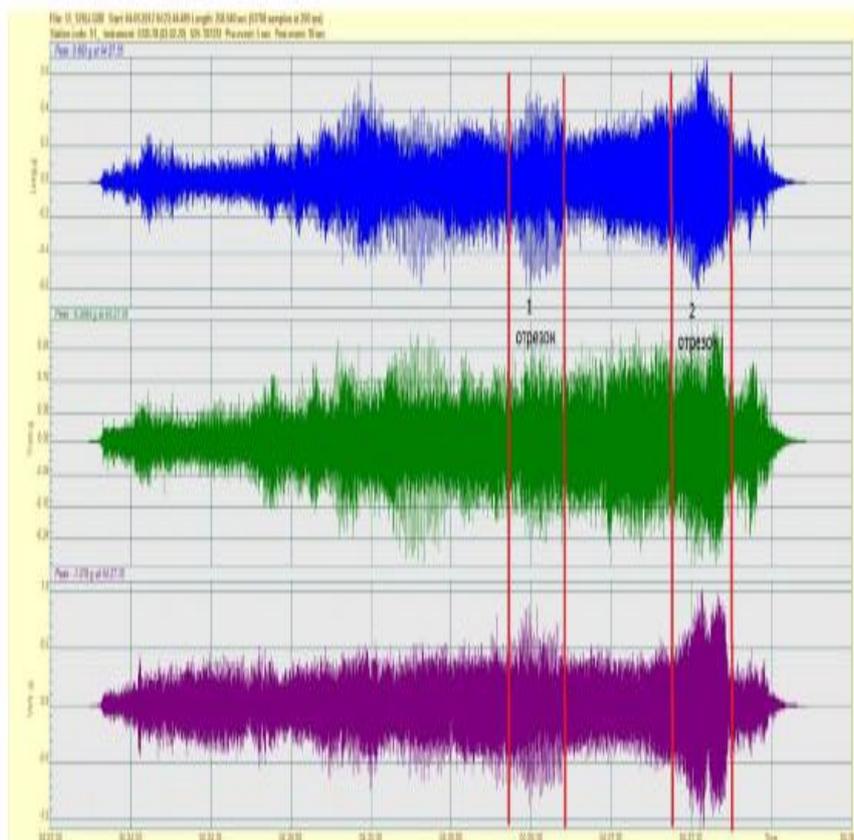
Несмотря на высокие достижения и развитие науки в области сейсмостойкого строительства проблема обеспечения сейсмоустойчивости жилых домов является все еще актуальной проблемой нашей жизни. Для строительства в сельских регионах у Кыргызстана применяется сырцовый кирпич, глинобит, саман и грунтоблоки. Как показывают статистические данные, в основном распространены постройки из глинобита. Глинобитные здания строятся из необработанной глины, которая имеет естественный состав, влажность и в которой нет примесей.

Чтобы построить таких зданий почти не требуется привозные материалы. Эти здания не строятся выше двух этажей. Они применяются как служебные и жилые, конюшни, складские помещения, хозяйственные помещения, ремонтные мастерские, кладовые, коровники и т.д. Следует продольные стены глинобитных зданий перевязывать поперечными стенами с интервалом не менее 10-12 см для исключения обвал стен и обеспечения устойчивости стен.

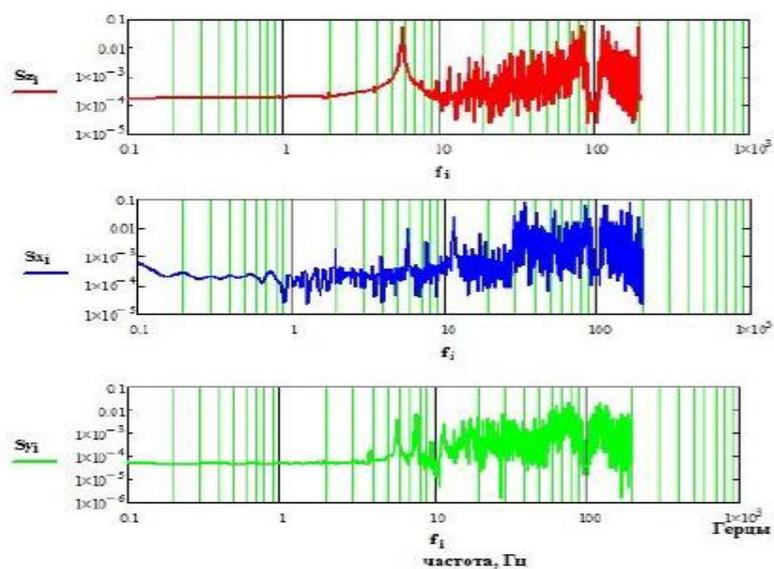
Глинобитные здания не устойчивы к сейсмическим колебаниям. Исходя из вышеуказанного, существует практическая необходимость в исследовании таких домов с целью усиления их от сейсмических воздействий и других природных явлений.

С этой целью лабораторией «Сейсмостойкое строительство» кафедры «Проектирование, возведение зданий и сейсмостойкое строительство» КГУСТА им. Н.Исанова была проведена серия экспериментов, том числе, и на модели дома из глинобита размером 2,5Х3м на сейсмоплатформе. Регистрация записи ускорений проводилась по трем составляющим: Z-вертикальная, горизонтальные: X – восток-запад и Y – север-юг. На рисунках 35-36 представлены записи интенсивности колебаний виброплатформы (балльности) на модели дома из «глинобита» 07 июля 2014 г. с ускорением 20 см/с<sup>2</sup> и 60 см/с<sup>2</sup> соответственно. На записи колебаний модели дома из «глинобита» виброплатформы 07 июля 2014г выделены отрезки записи: 1 отрезок – с 32000 до 36000, 2 – отрезок с 44000 до 48000, то есть в интервале 20 секунд. Полная длительность записи 4 минут 26 секунд. На записи амплитудного спектра колебаний виброплатформы для отрезка 1, преобладающая частота по составляющим: оси Z - f=5,8 Гц или период T=0,172 сек; X (B-3) - f=1,95; 3,9; 5,8 и 7,75 Гц или периоды T=0,513; 0,256; 0,172; 0,129 сек; оси Y (C-Ю) - f=3,9; 5,8 и 7,75 Гц или периоды T=0,256; 0,172; 0,129 сек (Рис.2).

Для второго участка 2 преобладающая частота по составляющей Z -  $f=6,7$  Гц или период  $T=0,149$  сек; по оси X (В-3) -  $f=6,7$  Гц или периоды  $T=0,149$  сек; по Y (С-Ю) -  $f=3,4; 6,7$  Гц или периоды  $T=0,294; 0,149$  сек соответственно.



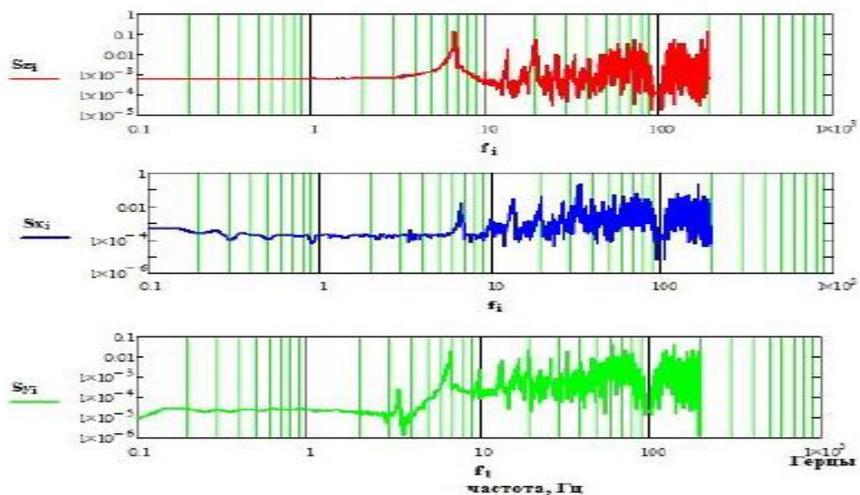
**Рис.1.** Запись колебаний на модели дома из «глинобита», виброплатформа. Отрезки записи: 1 – отрезок с 32000 до 36000, 2 – отрезок с 44000 до 48000, т.е. в интервале 20 секунд. Полная длительность записи 4 минут 26



секунд

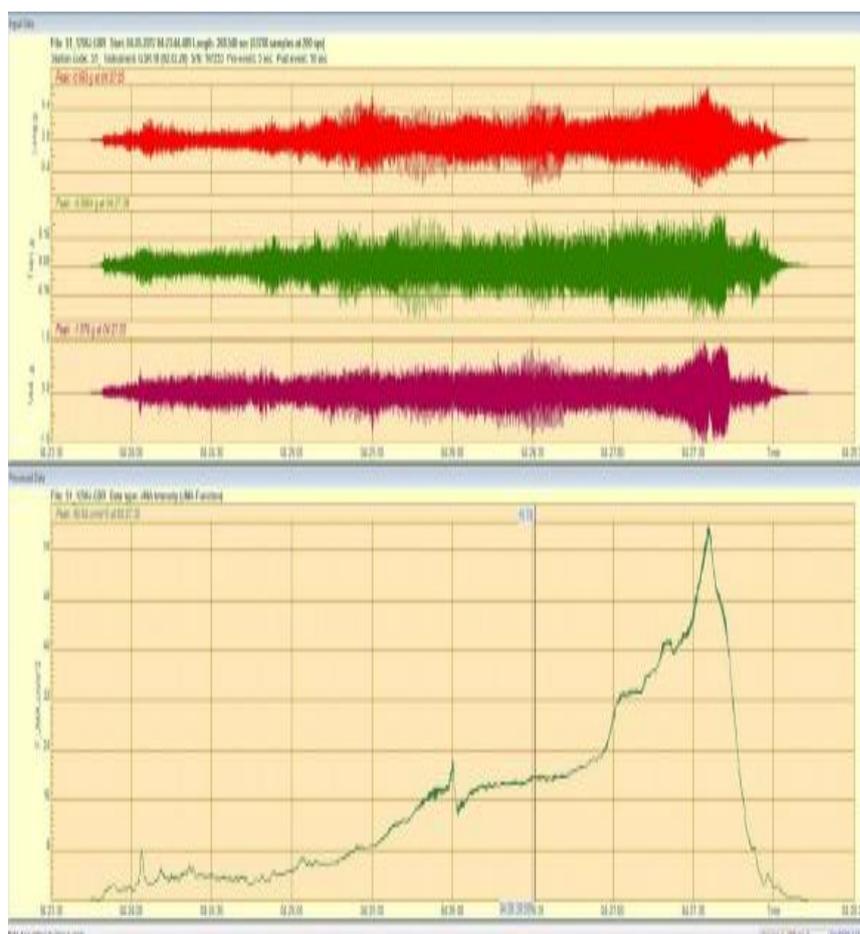
**Рис.2.** Амплитудный спектр колебаний виброплатформы для отрезка 1

Преобладающая частота по составляющим: оси Z -  $f=5,8$  Гц или период  $T=0,172$  сек; X (В-3) -  $f=1,95; 3,9; 5,8$  и  $7,75$  Гц или периоды  $T=0,513; 0,256; 0,172; 0,129$  сек; оси Y (С-Ю) -  $f=3,9; 5,8$  и  $7,75$  Гц или периоды  $T=0,256; 0,172; 0,129$  сек

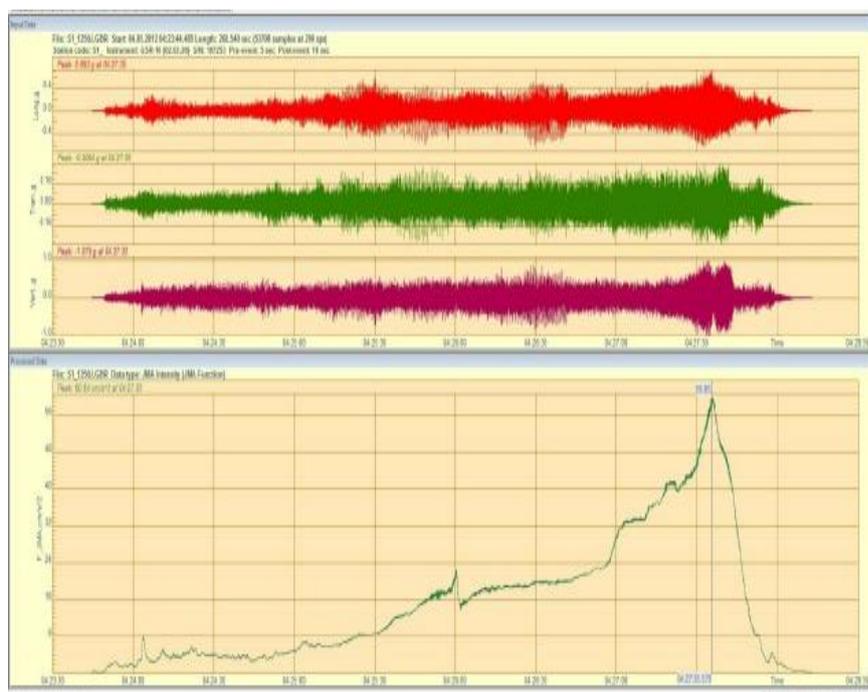


**Рис.3.** Амплитудный спектр виброплатформы для отрезка 2

Преобладающая частота по составляющей Z -  $f=6,7$  Гц или период  $T=0,149$  сек; по оси X (В-3) -  $f=6,7$  Гц или периоды  $T=0,149$  сек; по Y(С-Ю) -  $f=3,4; 6,7$  Гц или периоды  $T=0,294; 0,149$  сек соответственно.



**Рис.4.** Запись интенсивности (балльности) колебаний виброплатформы на модели дома из «глинобита», 07 июля 2014г. Ускорение - 20 см/с<sup>2</sup>



**Рис.5 .** Запись интенсивности (балльности) колебаний виброплатформы на модели дома из «глинобита», 07 июля 2014г. Ускорение -  $60 \text{ см/с}^2$

Для модели дома из глинобита величина интенсивности колебаний, равная  $60 \text{ см/с}^2$ , при которой наступает разрушение, по шкале MSK-64 соответствует сейсмической интенсивности 8 баллов, а по EMS-92 – 5 баллам. Результаты эксперимента показывают, что данный тип дома не является сейсмостойчивым и мероприятия по его усилению обязательны.

На основе анализа множества фактов сейсмических разрушений зданий, в том числе официально считавшихся сейсмостойкими, к сожалению, вынуждены констатировать, что применяемые ныне меры сейсмозащиты неэффективны, а расчет и проектирование зданий по действующим нормам вовсе не исключает их разрушению. В связи с этим отмечаем, что в строительных кодах некоторых стран (к примеру, в Канаде) имеется весьма новый, необычный прогрессивный пункт, который предусматривает расчет зданий на любые иные сейсмические воздействия, пока не предусмотренные официально. Следует отметить, что подобная крайне негативная оценка ситуации, сложившейся в среде сейсмозащиты, была дана специалистами Японии сразу после катастрофы в городе Кобе в 1995 году. Нам кажется бесспорным и очевидным то, что главной причиной всех неудач нынешней стратегии сейсмозащиты может быть только дефицит информации о реально разрушительном сейсмическом воздействии. Если судить по тем аномальным формам сейсмических разрушений и срезов элементов зданий, которые регулярно возникают после всех сильных землетрясений, то они явно не могут быть вызваны только лишь низкочастотными колебаниями грунта. По-видимому, их вызывает некоторое иное сейсмическое воздействие. Теория сейсмозащиты дискредитировано ценой трагедии в Кобе. Как же произошел, отрыв сейсмической науки от учета реальных воздействий землетрясения? Надо признать, что природа сделала все возможное, чтобы сбить с толку ученых, принявших в качестве постулата следствие разрушений за их причину, и пустить специалистов по ложному следу. Увы – жизнь показала несостоятельность такого подхода. Убедительный тому пример – землетрясение в Кобе, где самые современные «антирезонансные здания» с гибким первым этажом разрушались в 6 раз чаще, чем обычные каркасные здания. Примерно тоже самое происходило везде, где «антирезонансные здания» попадали в зону сильных землетрясений: в гг. Кишиневе и Спитаке, в Турции, Греции, Перу. Дело в том, что здания, разрушенные землетрясениями, всегда выглядят так, словно их материал и конструкции изначально были непрочными, низкокачественными. При этом логика и смысл разрушительного воздействия землетрясений выглядят простыми и очевидными:

землетрясения, прежде всего разрушают плохие низкокачественные здания, наказывая строителей за их брак и ошибки, а высококачественные здания оказываются стойкими. Следовательно, рецепт надежной сейсмозащиты прост – достаточно лишь строить здания качественно и проблема будет решена. В результате такого подхода создалась иллюзия, что и сам механизм разрушительного воздействия землетрясений столь же прост. Возник соблазн объяснить и описать его на основе повседневного житейского опыта, используя для этого так называемую «резонансную модель землетрясений», согласно которой здания разрушаются оттого, что попадают в резонанс с сейсмическими колебаниями грунта. И что же? Это и означает – «строить качественно»?! В чем же дело? Да в том, что разрушительная трансформация материалов и конструкций зданий происходит отнюдь не только (и, надо полагать, не столько!) из-за резонансных колебаний грунта, а в результате своеобразного силового сейсмического воздействия, при котором, как свидетельствует практика, сейсмическое воздействие на здание и подвергнувшуюся землетрясению территорию распределяется неравномерно. Следует отметить, что в Кобе, где строительное качество зданий было безупречным, впервые никто не попытался списать их разрушения на брак строителей. Там впервые всем стало ясно, что строительный брак не может быть первопричиной своеобразных изменений, происходящих в структуре материала зданий после землетрясений. Анализ показал, что под воздействием сильных землетрясений в бетоне и в каменной кладке всегда развивается необычайно густая сеть микротрещин, которая резко снижает их начальную прочность и приводит к частичному или полному разрушению. Очень часто бетон после землетрясений буквально «крошится в руках» (как это оказалось в Спитаке), а бетонные блоки превращаются в «труху» (как в Нефтегорске). Итак, можно констатировать, что главным и весьма необычным свойством сейсмического воздействия является его «дробящий эффект» [4]. В зависимости от силы сейсмических толчков он проявляется по-разному; от скрытого прорастания микротрещин до полного раздробления и рассыпания высокопрочного бетона и каменной кладки.

При этом конструкции, выполненные из нехрупких материалов (дерева и стали), которые имеют высокую ударную прочность и не поддаются дроблению, всегда очень хорошо сопротивляются землетрясениям.

Все эти и многие другие факты, и свойства сейсмических разрушений указывают на то, что их вызывает некое квазиударное сейсмическое воздействие. Оно совсем не похоже на те низкочастотные колебания грунта, которые должны вводить здания в резонанс [1-4].

И здесь мы подходим к главной загадке землетрясений, которая до сих пор не разгадана. Она состоит в том, что нынешние маятниковые сейсмические приборы по ряду известных и неизвестных причин не фиксируют то дробящее воздействие, особые отпечатки которого ясно на всех стенах и колоннах зданий после землетрясений [1-4].

Приходится признать, что существует два качественно разных типа сейсмических сигналов. На первый тип реагируют маятниковые приборы, а на второй – здания своими раздроблениями. Это раздвоение особенно наглядно проявляется над разломами, где колебательное низкочастотное воздействие «почему – то» полностью исчезает, а дробящее достигает максимума. Именно в этих зонах раздробления зданий особенно интенсивны, а маятниковые приборы не фиксируют вообще никаких сигналов.

Итак, до сих пор мы защищаем здания лишь от первого типа тревожных сигналов, по-видимому, для них вообще не опасных. Эта традиционная стратегия сейсмозащиты, безусловно, обречена на провал. Но сейсмическая наука (пока!?) не видит ей альтернативы; при этом она полностью игнорирует чрезвычайно ценную и обширную информацию, которая заложена в бесчисленных сейсмических разрушениях зданий и их элементов.

Мы впервые обратили внимание на явное противоречие между квазиударной формой всех сейсмических разрушений и теми низкочастотными колебаниями грунта, которые до сих пор считаются единственной причиной сейсмических разрушений и которые, в принципе, не могут раздробить бетон и каменную кладку.

Проведя всестороннее изучение и анализ информации, заключенной в сейсмических разрушениях конструкций и материалов, мы пришли к выводу, что до сих пор нигде в мире нет реально сейсмической массовой застройки, способной противостоять 9-балльным землетрясениям.

Что самые современные антирезонансные здания в Японии столь же уязвимы, как любые другие, ибо они, как и все, не защищены от дробящего сейсмического воздействия. При этом мы подчеркнули, что уязвимыми являются здания с «гибким первым этажом».

Итак, можно утверждать: если мы будем и впредь защищать здания только от низкочастотных колебаний, фиксируемых маятниковыми приборами, то никогда не добьемся успеха.

Как же можно изменить эту ситуацию? Если исходить из традиционной приверженности к инструментальной информации для сейсмических расчетов зданий, то следует попытаться зафиксировать неизвестное пока по своему явлению «дробящее» разрушающее сейсмическое воздействие с помощью качественно иных высокочастотных приборов, хотя неизвестно подвергается ли это явление «улавливанию» таким инструментальным способом.

В конечном счете, предлагаем реализовать принципиально новый подход к решению проблемы сейсмозащиты зданий. Суть его в следующем. Необходимо приоритетно сосредоточить внимание на исследованиях и анализе «дробящих воздействий» на структуру сейсмических разрушений, чтобы, в конечном свете, выявить природу этого явления и определить рецепты защиты от него.

Сформулируем ряд первоочередных практических рекомендаций по борьбе с сейсмическими раздроблениями элементов зданий.

Самый распространенный случай сейсмических раздроблений – раздробление железобетонных колонн. Используемые ныне меры защиты, состоящие в сгущении поперечного армирования или в утолщении колонн, не могут дать положительного эффекта, так как они не направлены непосредственно на защиту от раздробления бетона. Решить радикально эту проблему, на наш взгляд, можно путем использования трубобетонных колонн, колонн с очень частым спиральным армированием или с иной мощной стальной облицовкой.

Разумеется, целесообразно использовать в сейсмоопасных зонах колонны из нехрупких материалов – дерева и стали, которые, в принципе, не поддаются раздроблению. Для одноэтажных зданий можно рекомендовать срубы, которые весьма сейсмостойки. В зданиях до трех этажей можно применять деревянный каркас. Что касается зданий со стальным каркасом, то их уязвимыми элементами являются сварные швы. Поэтому в сейсмоопасных зонах следует исключать сварку, заменив ее заклепочными и болтовыми соединениями.

Раздроблению кирпичной кладки в зонах до 8 баллов можно успешно противостоять, интенсивно армируя ее.

Помимо борьбы с раздроблениями следует направить внимание на использование конструкций и конструктивных решений, хорошо зарекомендовавших себя при сильных землетрясениях. Например, весьма надежными оказываются крупнопанельные здания, где несущие стены образуют ячейки 3х3 м. с плитами перекрытий, опертые по всему периметру. При этом необходимо исключить сварные соединения панелей, обеспечить их интенсивное армирование, использовать бетон, обладающий повышенной ударной вязкостью, и скруглять все углы в проемах.

По тому же принципу тщательного изучения и анализа каждого типа разрушений можно разработать эффективные контрмеры для всех остальных известных из практики типов разрушений несущих элементов в панельных, монолитных и иных зданиях.

До тех пор, пока параметры разрушающего сейсмического воздействия не будут измерены, строительные «нормы», основанные на новой стратегии «антиразрушений», не должны содержать расчетных формул. Вместо них должен функционировать набор строгих конструктивных ограничений и рекомендаций, которые вберут в себя также весь накопленный ранее практический опыт сейсмозащиты.

Переход к новой стратегии сейсмозащиты позволит более надежно защитить от землетрясений граждан, живущих в сейсмоопасных зонах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов С.Б. Ударно – волновая концепция сейсмического разрушения зданий // «Энергетическое строительство», 1992. – №9. – С. 70-73.

2. Смирнов С.Б. Причины разрушения «сейсмостойких» железобетонных зданий и принцип их эффективной сейсмозащиты // Бетон и железобетон, 1994. – №3. – С. 22-25.
3. Смирнов С.Б. Исследование достоверности резонансно – колебательной модели сейсмического разрушения сооружений // Бетон и железобетон, 1995. – №1. – С. 23-26.
4. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. «Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд», сборник научных трудов, часть I, Бишкек, 2012. – 138 с.
5. Sergey Smirnov. Discordances between real seismic destruction and present calculation // International Civil Defence Journal, 1994. – №1, pp. 6-7; 28-29; 46-47.

**Сведения об авторе:**

**Нааматов А.С.:** г. Томск, Томский политехнический университет, магистрант. Сфера научных интересов: сейсмология, исследование устойчивости зданий и сооружений.