



**Я. М. АЙЗЕНБЕРГ**

### **Памяти Якова Моисеевича Айзенберга**

*22 апреля 2018 года исполнился год, как ушел из жизни Яков Моисеевич Айзенберг, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный строитель РФ, почетный академик РААСН, научный руководитель ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», главный редактор журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений».*

*В память о выдающемся ученом, многолетнем бессменном главном редакторе нашего журнала, редколлегией было принято решение о ретроспективе публикаций Я.М. Айзенберга.*

*Сегодня мы предлагаем Вашему вниманию статью Якова Моисеевича «Дом для зыбкой тверди», опубликованную в журнале «Наука и жизнь» (№ 8, 1989 год).*

## **ДОМ ДЛЯ ЗЫБКОЙ ТВЕРДИ**

**З**емлетрясения в ряду природных катастроф, как свидетельствуют данные ЮНЕСКО, занимают печальное первенство по причиняемому экономическому ущербу и одно из первых мест по числу жертв. К сожалению, не удается с достаточной точностью предсказать время и силу подземных толчков. Нет оснований ожидать, что и в обозримом будущем удастся осуществить более или менее точные прогнозы землетрясений. Многочисленные недавние высказывания сейсмологов в этом отношении на страницах печати куда более пессимистичны, чем, скажем, десять лет назад, когда казалось, что проблема прогнозирования вот-вот будет решена.

Но если мы не имеем возможности предугадать, где, когда и какой силы случится землетрясение, то мы обязаны сделать все возможное, чтобы подземный удар имел как можно меньше разрушительных последствий. Борьба с сейсмической опасностью сегодня выдвигает на первый план повышение сейсмостойкости сооружений.

Среди научных учреждений страны, занимающихся этой проблемой, одно из ведущих мест принадлежит Центральному научно-исследовательскому институту строительных конструкций (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко). Ниже публику-

ется беседа с заведующим лабораторией теории сейсмостойкости сооружений ЦНИИСКА, доктором технических наук, профессором Я. М. Айзенбергом, который находился в составе первых групп специалистов, направленных в пострадавшие районы Северной Армении.

Доктор технических наук Я. АЙЗЕНБЕРГ, заведующий лабораторией Центрального института строительных конструкций имени В. А. Кучеренко (ЦНИИСК).

### **В ЧЕМ ПРИЧИНА РАЗРУШЕНИЙ В АРМЕНИИ?**

Меня, как и всех оказавшихся в районе землетрясения, потрясло горе людей, огромные масштабы разрушений, причиненных стихией. Специалисты, разделяя общую скорбь, прежде всего искали ответ на вопрос: в чем причина столь тяжких массовых разрушений? Только ли это всесокрушающая мощь стихии – или же дело в просчетах ученых, неудачах проектировщиков или халатности строителей? А может быть, то, другое и третье?

Оказавшиеся в зоне землетрясения люди в ответ на вопрос, как вело себя то или иное здание, в котором они находились в момент подземного толчка, отвечали совершенно по-разному. Кто-то вспоминал, что дом поднимался вверх и



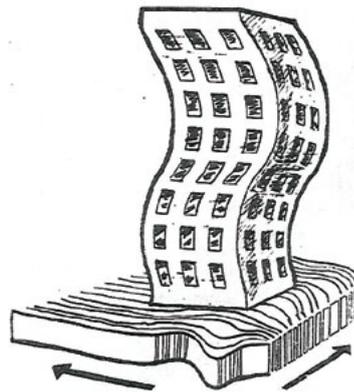
**Рисунок 1** — Повреждение одного из зданий Ленинакана, где строители допустили серьезный брак, уложив в ряде случаев между блоками вулканического камня – туфа вместо раствора строительный мусор

опускался вниз, другой очевидец зафиксировал колебания здания из стороны в сторону, у третьего в памяти остались односторонние боковые смещения, кто-то заметил лишь вертикальное «подпрыгивание», находились и такие, которые вообще ничего не ощутили, вплоть до непосредственного разрушения здания. В этой разноречивости, наверное, заключается сложность проблемы сейсмостойкости сооружений, которой человечество занимается с древнейших времен, но которая с каждым новым крупным землетрясением может предстать совсем неожиданной стороной.

Массовые разрушения в Северной Армении, как это часто случается в сейсмоопасных районах, вызваны несколькими причинами, сложно переплетенными между собой.

Прежде всего, интенсивность землетрясения оказалась намного выше (на 1–3 балла) прогноза сейсмологов. Например, карта сейсмического районирования (см. «Наука и жизнь», № 4) для Спитака давала 7 баллов, фактическая же интенсивность землетрясения достигала, по оценкам разных специалистов, 9–10 баллов. Некоторые сейсмологи считают, что их прогноз оказался несостоятельным не столько из-за недостатка знаний, сколько из-за отступления науки перед давлением ведомств.

И еще одно. При том, что интенсивность землетрясения на один, два или три балла превышала те значения, на которые были рассчитаны здания, дело усугубилось массовыми и серьезными нарушениями строительной технологии и низким качеством конструкций. Недостаточным, например, оказалось количество антисейсмических элементов – диафрагм наряду с их иногда весьма неудачным асимметричным расположением в каркасно-панельных зданиях. Это привело к перераспределению горизонтальных сейсмических нагрузок с диафрагм на колонны, которые не выдержали нагрузки. Относительно простое и эффективное средство повышения сейсмостойкости каменных и кирпичных зданий – устройство железобетонных поясов, стягивающих наподобие обручей каждый этаж. Но в Ленинакане, Спитаке, Кировакане обнаружилось, что многие дома построены без этих поясов. Наконец, там, где колонны каркаса сопрягаются по вертикали, оказывалось вдвое меньше, чем необходимо, соединительных стержней, оставшиеся же стержни часто



**Рисунок 2** — Огромная энергия распространяется от эпицентра землетрясения во все стороны в виде разнообразных волн, что вызывает сложные колебания коры земной поверхности. На рисунке: условная схема колебаний здания при сейсмическом воздействии

устанавливались без необходимого количества накладок и сварных швов требуемой длины. Бетон в стеновых панелях, которому надлежало быть прочным, как камень, случалось, крошился из-за того, что при приготовлении смеси цемент частично заменили песком. В любом случае непростителен столь откровенный брак, тем более он абсолютно недопустим в высокосейсмических районах.

Вот красноречивое сравнение. Если в США при анализе причин разрушений сооружений по «вине» землетрясений на первое место выходят ошибки проектирования, на второе – изъяны в теоретических концепциях и только на третье – недостатки самого строительства, то в наших условиях строительному браку принадлежит печальная пальма первенства в ряду различных причин разрушений.

Нельзя не сказать еще о том, что землетрясение в Северной Армении имело весьма широкий спектр частот колебаний, что, по-видимому, привело к массовым разрушениям гибких зданий разных типов, рассчитывавшихся, согласно нормам, на меньшие нагрузки, чем жесткие дома. Обратимся к важным данным наших и японских сейсмологов, которые свидетельствуют: в районе землетрясения преобладали весьма интенсивные низкочастотные горизонтальные колебания грунта, которые совпали с собственными колебаниями девятиэтажных каркасно-панельных домов, а также зданий, возведенных методом подъема перекрытий при центральном монолитном ядре жесткости и даже малоэтажных, но гибких каркасных строений. Возникло резонансное усиление колебаний самих зданий, и они, конечно же, не могли выдержать столь интенсивных дополнительных нагрузок.

### НЕБОСКРЕБ ПРОТИВ КОТТЕДЖА

К сожалению, первоначальная поспешная информация, поступавшая из районов бедствия, не всегда отличалась точностью и достоверностью. Возникли, например, мифы о том, что чуть ли не поголовно все многоэтажные здания разрушились или же оказались на грани разрушения. Но такое утверждение верно лишь для каркасно-панельных зданий. Действительно, многие дома такого рода в Ленинакане, Спитаке попросту упали, другие же оказались настолько поврежденными, что восстановить их невозможно.

Но иначе вели себя крупнопанельные здания. Например, 16 девятиэтажных домов, сравнительно недавно построенных в Ленинакане, не только уцелели, но практически не получили сколь-нибудь значительных повреждений. Даже в Спитаке, оказавшемся, как известно, в эпицентре землетрясения, два крупнопанельных дома не рухнули, хотя и были значительно повреждены. Почему же девятиэтажные крупнопанельные здания устояли, в то время как каркасно-панельные строения рухнули? Тому несколько причин. Крупнопанельные здания при большей жесткости, чем каркасные дома, имеют периоды собственных колебаний около 0,4 секунды и поэтому рассчитываются на максимальные сейсмические нагрузки, которые вдвое больше, чем нагрузки на каркасные дома. Но дело не только и, возможно, не столько в расчете. При изготовлении панелей в заводских условиях обеспечивается их достаточная прочность – на предприятиях контроль качества более эффективен, чем на стройплощадках. Что же касается монтажа, то панели соединяются между собой, как правило, весьма добротно – иначе дом, не дождавшись землетрясения и даже конца стройки, может обрушиться. Конструкция здания, по выражению американских специалистов, оказывается «дуракоустойчивой», то есть конструктивные особенности, присущие зданию, уже сами по себе не позволяют допустить крупный изъян при монтаже.

Наконец, живучесть крупнопанельных зданий объясняется их многосвязностью, высокой степенью резервирования. Речь идет о том, что разрушение какого-то одного элемента в таком здании не приводит к серьезным последствиям, в то время как выход из строя хотя бы одной колонны в каркасном доме, скажем, на нижнем этаже, приведет к тому, что рухнет значительная часть здания или даже весь дом. Причина живучести крупнопанельных зданий связана еще с одной конструктивной особенностью: сейсмическая нагрузка вызывает скольжение панелей вдоль горизонтальных и вертикальных швов, но одновременно возникает и трение, которое значительно снижает сейсмические перемещения, а следовательно, и деформацию здания.

Одна из причин разрушения зданий при землетрясении в Северной Армении – многочисленные нарушения строительной технологии. Наглядную иллюстрацию дает эта конструкция в одном из жилых домов Ленинакана, где поперечная арматура не образует, как это положено, единого каркаса. В узле не произведена сварка между поперечными и продольными стержнями, кроме того, скрутки поперечных стержней находятся не там, где им надлежит быть, наконец, недостаточно количество соединительных стержней. Землетрясения во все времена наносили сильный ущерб малоэтажным строениям в небольших населенных пунктах и селах.

И здесь стоит тоже сказать о неточностях в прессе, скажем, в третьем номере журнала «Техника–молодежи» за этот год в целом квалифицированной статье содержится неверное утверждение о том, что в Армении обрушились все панельные дома.

Обратим внимание на одно распространенное заблуждение – чем ниже здание, тем оно якобы лучше противостоит землетрясению. Такой молве способствовали некоторые



Рисунок 3 — Полуразрушенный дом из туфа в Спитаке

сообщения из Армении, поспешившие противопоставить малоэтажные строения высоким зданиям. Но именно при внимательном изучении разрушений в районе землетрясения обнаружилось, что рухнули многие одноэтажные каркасные дома, двухэтажные строения, например, школа в Спитаке, каркасно-панельные пятиэтажки, а более высокие крупнопанельные здания уцелели. Если же обратиться к землетрясениям в прошлом – в Токио, Ашхабаде, в ряде чилийских городов, то для них характерны разрушения именно малоэтажных строений, а с ними связаны наибольшие жертвы. Во время сильного землетрясения, разразившегося более двадцати пяти лет назад в югославском городе Скопле, выстоял, например, гибкий высокий кирпичный минарет, в то время как малоэтажные кирпичные дома разрушились. Здания малой высоты обрушились в 1957 году при землетрясении в столице Мексики, а 43-этажный небоскреб «Банк Латиноамерикана» остался невредимым. Через тридцать лет в Мехико вновь произошло сильное землетрясение, рухнули 10-15-этажные дома, и погибло в общей сложности 15 тысяч человек, а этот небоскреб вновь оказался в числе уцелевших зданий.

По мере развития теории сейсмостойкости и совершенствования регистрирующей аппаратуры специалисты разных стран – первыми были советские ученые К. С Завриев, А. Г. Назаров и японец Монотобе – допустили возможность более сложного динамического взаимодействия системы «сооружение – грунт». Проведенные в 30-е годы Береговой и Геодезической службами Калифорнии широкие исследования с помощью новых приборов – акселерографов – выяснили, что преобладающие периоды колебаний землетрясений, например, в Калифорнии, находятся в пределах 0,2- 0,4 секунды. Произошла смена ориентиров и в сейсмостойком строительстве, вместо жестких зданий стали все больше сооружать высокие каркасные гибкие дома, как, например, 43-этажный небоскреб «Банк Латиноамерикана» в Мехико. Это здание высотой почти 139 метров (с телевышкой свыше 180 метров) построенное в начале 50-х годов, устояло даже после самых сильных землетрясений в Мехико, когда обрушились многочисленные здания разной высоты. Измерения, проводившиеся на трех его этажах, показали, что здание вело себя в сейсмичной обстановке так, как и предполагалось по расчету.

## РАСЧЕТ НЕ ВСЕСИЛЕН

И еще хотелось бы затронуть один, кажущийся отвлеченным от нашей темы, н на самом деле имеющий практическое значение, вопрос о соотношении математической формализации и здравого смысла в проектных решениях по сейсмостойкости. Известно, что в разных областях техник все шире распространяется и утверждается убеждение: прогрессивность проектных решений и их научная обоснованность тем выше, чем больше эти решения опираются на математические модели и формализованные процедуры. Но что касается сейсмостойкого строительства, то такая постановка вопроса закономерна при наличии достаточно точной исходной информации о движении грунта при будущих землетрясениях, о динамическом поведении сооружения при его сейсмических колебаниях и многих других сведений.

Как уже говорилось, подобная исходная информация пока крайне скудна. Тем не менее формализованные математически процедуры становятся правилом хорошего тона для исследователей и проектировщиков, которые, построив некую гипотетическую математическую модель действительности, в дальнейшем оперируют с нею как с самой действительностью, забывая, что это всего лишь модель.

Специалист, «гоняя» часами и днями свой компьютер, зачастую обретает некое особое психологическое состояние – уверенности в надежности результатов, которая в общем неоправданна. Не развивая далее тему, отмечу, что в условиях значительной неопределенности, которая объективно присуща нынешней сейсмологии, было бы крайне опасно уповать только главным образом на формализованные математические процедуры, ибо для принятия решения по сейсмостойкости еще долго будут необходимы здравое суждение, опыт и интуиция специалиста.

Это вполне относится и к проектированию многих каркасных зданий, разрушившихся, например, в Ленинакане. Вроде бы их расчет выполнен правильно, во всяком случае, формальные нарушения не так уж велики. Но, скажем, встречавшееся довольно часто такое конструктивное решение, как тонкие колонны с недостаточной поперечной арматурой, оказались малоспособны к неупругим деформациям и уязвимы для вертикальных нагрузок. Эти колонны даже при нормальном выполнении строительных работ, перегруженные вертикальной нагрузкой, не имели какого-либо запаса



**Рисунок 4** — Дома упали или сильно накренились вследствие разжижения грунта

прочности на восприятие сейсмических перегрузок. А если допускался брак – таких случаев, как уже говорилось, было немало, – то несущая способность колонн становилась вовсе не достаточной.

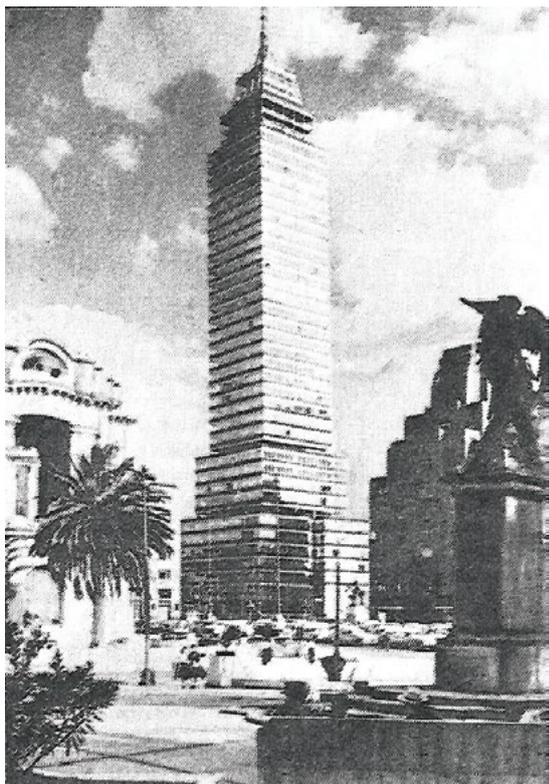
## СЕЙСМИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ НЕПРЕДСКАЗУЕМЫ, НО НАДО УЧИТЬСЯ ВСТРЕЧАТЬ ИХ ВО ВСЕОРУЖИИ

Такова главная мысль выступления вице-президента АН СССР академика Н. П. Лаверова на сессии общего собрания Академии. В общем эту же истину исповедуют в известном смысле те, кто работает в области сейсмостойкости зданий, выражая ее, правда, несколько по-иному: интенсивность, частота, спектр и другие параметры сейсмических воздействий непредсказуемы, но следует научиться проектировать сооружения, которые могли бы эффективно воспринять различные сейсмические движения.

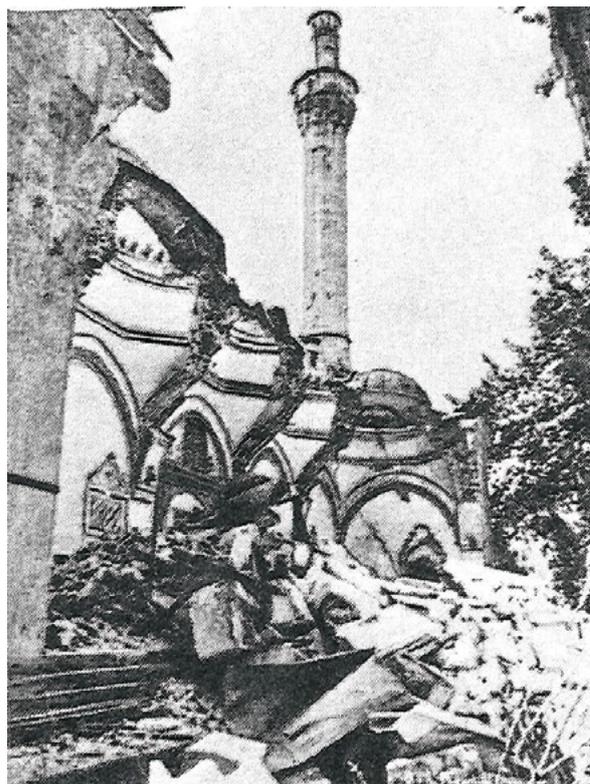
С давних пор зодчие, инженеры, занимавшиеся сейсмозащитой, стремились наряду с повышением прочности конструкций, что требует значительного расхода материалов, труда и средств, снизить сейсмические ускорения и перемещения зданий. Еще древнеримский зодчий Витрувий описал дом на шарах, которые, выполняя роль сейсмоизоляторов, препятствовали бы смещению зданий при горизонтальных движениях грунта. Кстати, поток предложений подобного рода не иссякает по сей день, оказываясь наиболее плодотворным после каждого сильного землетрясения. Авторы предлагают различные конструктивные элементы для снижения жесткости связей между зданием и фундаментом: качающиеся стойки, пружины, скользящие подушки, пояса с низким трением и многое другое. Наиболее настойчивые конструкторы доводят свои идеи до практического внедрения. Так, Ф. Д. Зеленков построил в Ашхабаде дом, в котором вертикальные толчки воспринимаются стальными пружинами, а горизонтальные – маятниковой подвеской. В Севастополе по проекту В. В. Назина построен дом с опорными элементами в виде эллипсоидов вращения. Другое севастопольское здание опирается на качающиеся стойки типа «ваньки-встаньки». В Америке еще в 1935 году инженер Грин запатентовал дом с нижним сейсмоизолирующим этажом, гибкость которого достигается за счет замены высокими колоннами.

Насколько эффективны подобные системы, насколько экономичны и вообще реалистичны? Все зависит от того, насколько каждая система снижает или ограничивает сейсмические ускорения и, следовательно, инерционные силы. Важно, что само снижение сейсмических сил не должно приводить к чрезмерным перемещениям сооружения, когда здание может соскользнуть с фундамента или сам фундамент опрокинется. Наконец, сейсмозащита не должна сопровождаться слишком большим расходом материалов и средств, по сравнению со строительством сейсмостойкого дома по обычным нормам.

Увы, многие авторы новшеств выполняют лишь одно, в крайнем случае два условия, забывая о том, что лишь полное удовлетворение всем названным требованиям делает систему эффективной. К тому же предлагаемые системы часто оказываются весьма чувствительными к конкретным параметрам сейсмического воздействия. Так, эффект сейсмоизоляции зданий, опирающихся на гибкие стойки, на



**Рисунок 5** — 43-этажный небоскреб «Банк Латиноамерикана» в Мехико



**Рисунок 6** — Минарет мечети в Скопье

пружины или же на кинематические опоры с относительно длинными периодами (низкими частотами) собственных колебаний, будет обеспечен в том случае, если землетрясение окажется высокочастотным. Но если в его спектре будут преобладать низкие частоты, система из сейсмоизолирующей превратится, наоборот, в «сейсморезонирующую». Рассказывают, что жители ашхабадского дома, поставленного на пружины, покидают здание при самых слабых толчках, которые обитатели обычных ашхабадских домов не ощущают.

Но как угадать конкретные параметры сейсмического воздействия, если измерительная сейсмология сегодня считает непреложным фактом то, что «раз на раз не приходится»: у подземных толчков могут преобладать как длиннопериодные, так и короткопериодные колебания. Землетрясения в Скопье, Ташкенте, Агадире были «жесткими» – короткопериодными и разрушали в основном жесткие здания. Землетрясения в Бухаресте, в Мехико-сити, Ленинанкане содержали в спектре интенсивные длиннопериодные колебания (в Мехико – 2,5 секунды, в Бухаресте – 1,25, в Ленинанкане, по данным сейсмологов, – 0,8 и более секунды) и, следовательно, угрожали относительно гибким зданиям.

#### **ВЫБИРАЯ МЕЖДУ «ЖЕСТКИМ» И «ГИБКИМ»**

Какие же строить дома, чтобы избежать резонанса? Жесткие? Гибкие? В начале двадцатого века отвечали – «жесткие», полагая, что сейсмические колебания, как правило, медленные (низкочастотные). В середине века мнение изменилось: «гибкие» дома обеспечивают, дескать, снижение нагрузки, поскольку в сейсмическом спектре преобладают относительно высокие частоты. Ныне оказывается, что с землетрясениями «всякое бывает». Одни – высокочастотные, другие –

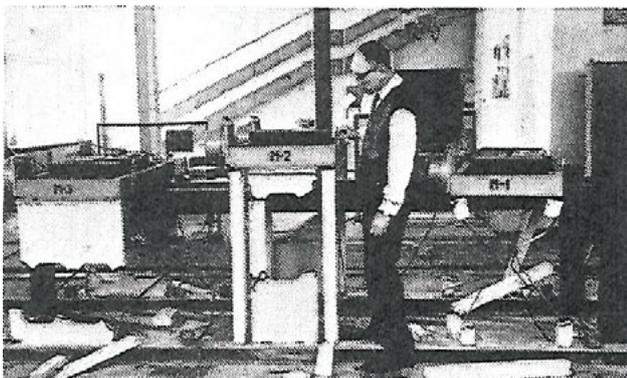
низкочастотные, и заранее ничего не угадаешь. Ситуация, не правда ли, напоминает известные эпиграммы: «Был этот мир глубокой тьмой окутан. Да будет свет! И вот явился Ньютон!» «Но сатана недолго ждал реванша. Пришел Эйнштейн, и стало все как раньше».

В ответ на вызов природы, создавшей столь непростую ситуацию, родилась идея – использовать такую систему сейсмозащиты, которая бы, меняя свою жесткость, как бы «самонастраивалась» на те или иные параметры землетрясения. Такая система, созданная в ЦНИИСКе (иногда ее называют «система с выключающимися связями»), представляет собой конструкции с жесткими резервными элементами, которые, не воспринимая вертикальных статических нагрузок, играют роль как бы предохранителей, выключаясь или не выключаясь в зависимости от типа землетрясения, тем самым эти элементы оберегают сооружение от резонанса. Первоначально в качестве «предохранителей» использовали срезающиеся болты, пластины или электросварные заклепки в металлических пакетах. Зданиями с такими элементами по проекту ЦНИИСКА и ЛенЗНИИЭПа застроен, например, почти весь город Северобайкальск на трассе БАМ.

Со временем выяснилось, что еще более эффективны системы, где элементы, перестраивающие жесткость, комбинируются с элементами сухого трения – демпферами или гистерезисными элементами, поглощающими энергию колебаний. Применение таких комбинированных систем позволяет, кроме главного эффекта – сейсмоизоляции – достигать побочных выгод, а именно, предусматривать просторные помещения для магазинов, ателье, гаражей на первых этажах зданий, расширять тем самым возможности



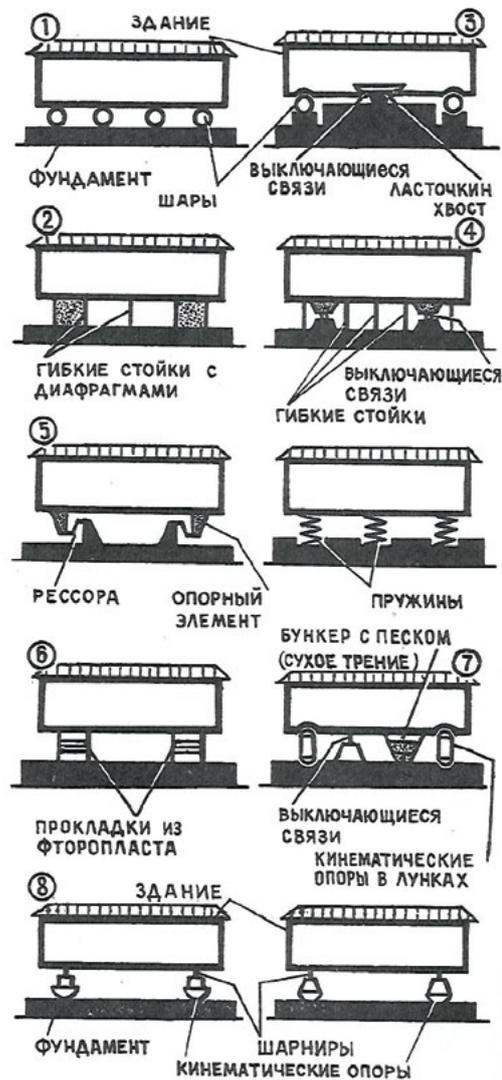
**Рисунок 7** — В каркасно-панельных зданиях, сооруженных в Северной Армении, недостаточным оказалось количество специальных антисейсмических элементов — диафрагм наряду с их неудачным асимметричным расположением. К тому же качество изготовления этих и других элементов каркаса оставляло желать лучшего. Вдобавок весьма мощное сейсмическое воздействие привело к резонансному усилению колебаний самих каркасно-панельных зданий, и они не выдержали интенсивных нагрузок. На снимке: разрушение одного из каркасно-панельных зданий в Ленинанке (внизу).



**Рисунок 8** — Я. М. Айзенберг

архитекторов. Устойчивость колонн обеспечивается в этом случае размещением между ними выключающихся и энергопоглощающих элементов.

Сейчас в стране по широкомасштабной программе исследуются различные сейсмозащитные системы: с выключающимися связями, с кинематическими опорами, со скользящими поясами. В Петропавловске-Камчатском и Тбилиси построены экспериментальные здания. Девятиэтажные крупнопанельные дома, сооруженные по проекту ЦНИИСКА и ЛенЗНИИЭПа в городе якутских горняков Нерюнгри, конструктивно представляют собой комбинацию различных сейсмозащитных устройств. Особенно эффективны сухие стыки в виде прокладок, которые, обеспечивая должную сейсмозащиту, приносят дополнительный выигрыш тем, что позволяют чрезвычайно быстро возводить дома — всего за два месяца, как это было в Нерюнгри. Сейчас строительство домов с сухими стыками рекомендовано для 7-балльных и некоторых 8-балльных районов. Исследуют возможность их сооружения в 9-балльных районах.



**Рисунок 9** — Системы сейсмоизоляции. 1. Древнеримский зодчий Витрувий предложил устанавливать на фундамент шары для предохранения здания от горизонтальных смещений. 2. В 1935 году американский инженер Грин запатентовал конструкцию, где на нижнем этаже стены заменялись колоннами. Гибкие колонны давали возможность зданию несколько перемещаться в горизонтальном направлении, и тем самым «уходить» от резонанса. Диафрагмы играли роль выключающихся связей — своеобразных предохранителей. 3. Сейсмозащитная конструкция «Фрунзгорпроект» ЦНИИСКА (1970 г.) в составе шаров, выключающихся связей и узла в виде ласточкина хвоста, для ограничения горизонтальных перемещений здания. 4. Сочетание гибких стоек или каркасного нижнего этажа с выключающимися связями, предложенное специалистами ЦНИИСКА и других институтов. 5. Здание, опертое на маятниковую подвеску или на пружины, обладает сейсмоизолирующим эффектом, предложено Ф. Д. Зеленьковым и построено в 1960 году в Ашхабаде. 6. Пояс в виде двойных прокладок из фторопласта (иногда в середине с металлической прокладкой), которые укладываются между фундаментом и зданием для поглощения сейсмической энергии за счет трения. Конструкция С. В. Полякова, Л. Л. Солдатова. Л. Ш. Килимника (ЦНИИСК), Фрунзенский политехнический институт, «Фрунзгорпроект». 7. Система В. Назина, сочетающая кинематические опоры для снижения вибрации, выключающиеся связи и устройство сухого трения (бункер с песком) для гашения колебаний, использована в Севастополе в 1970 году. 8. В 1970 году Ю. Д. Черепинский из «Казпромстройинипроекта» сконструировал кинематические опоры с шарнирами, исключающими передачу сейсмического воздействия на здание. Ю. И. Безруков из «Камчатскгражданпроект» предложил устанавливать эти кинематические опоры в лунки, чтобы лучше воспринимать вертикальные нагрузки и горизонтальное сейсмическое воздействие.

В последнее время быстро развивается интересное направление, когда дом «приспосабливается» к сейсмическим воздействиям тем, что заранее намечаются зоны возможных повреждений. Расположенные в этих зонах конструктивные части (обычно перемычки и другие элементы, не испытывающие вертикальных нагрузок) проектируют так, чтобы они во время землетрясения принимали на себя основное сейсмическое воздействие, поглощая энергию, получили бы локальные повреждения и тем самым «спасали» само здание.

Конечно, сейсмостойкое строительство, предполагающее разнообразное усиление сооружений, требует дополнительных затрат. Для семербалльных районов удорожание составляет 2–4 процента по сравнению с обычными районами, для восьмibalльных – от 4 до 8 процентов, для девятибалльных – 10–15 процентов. Суммы в общем получаются значительные, но они все-таки неизмеримо меньше тех потерь, которые наносит мало-мальски крупное землетрясение. Ущерб, например, от подземных толчков, случившихся около двадцати лет назад в районе американского города Сан-Фернандо, составил 1,5 миллиарда долларов, в то время как для предотвращения таких потерь, по мнению специалистов, понадобилось бы лишь несколько сотен тысяч долларов.

8 нашей стране экономия на предварительных изысканиях в зоне Северомуйского тоннеля на трассе БАМа вылилась в резкое замедление темпов прокладки самого тоннеля, вплоть до крупной аварии и убытков, составлявших сотни миллионов рублей. Несостоятельность прогноза о силе грядущих землетрясений в Северной Армении уже обошлась, по предварительным данным, в более чем 10-миллиардные потери. Что же касается унесенных человеческих жизней, то любая материальная оценка здесь неуместна.

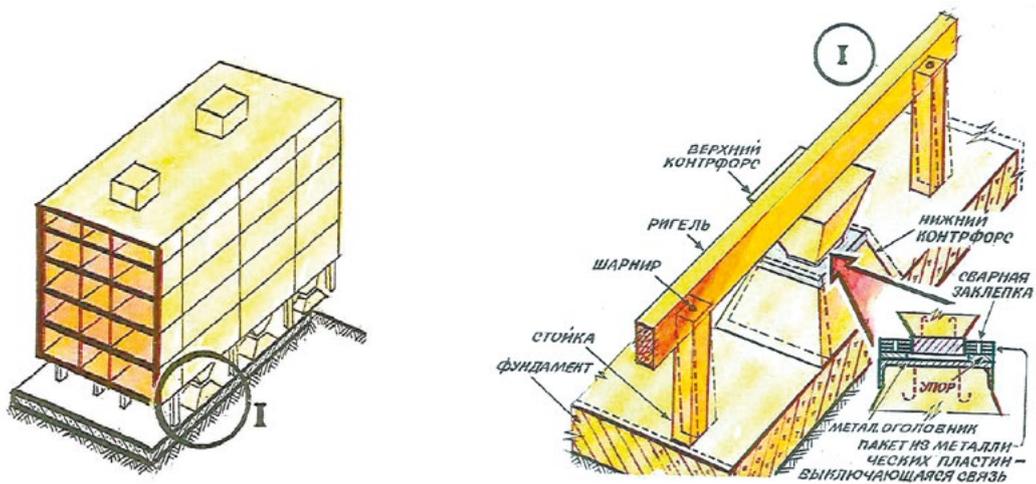
Однако следует остерегаться и других крайностей, которые тоже встречаются в печати («Правда», 3 февраля 1989 г.), где высказывается такая мысль: если на Кавказе возможны девятибалльные землетрясения, то здесь следует немедленно снести все прежние строения и поставить новые здания, которые выдержат любой удар. Столь эмоциональная реакция на крайне тяжелые последствия стихийного бедствия в общем понятна. Но кроме того, что это предложение, мягко говоря, нереалистично, следует признать, что вообще невозможно гарантировать полную безопасность при всех сейсмических ситуациях. Любое общество может направить далеко не беспредельные ресурсы на снижение различных видов риска, среди которых сейсмическая опасность не окажется лидером, достаточно сказать, что в автомобильных авариях на дорогах страны ежегодно погибает несколько десятков тысяч человек.

Другое дело – оптимально распределять государственные ресурсы, чтобы максимально снизить суммарный риск. Но эта важнейшая задача до сих пор, насколько известно, даже не сформулирована Госпланом СССР, Академией наук или какими-либо другими учреждениями. Пока же по необходимости приходится исследовать лишь ограниченную задачу оптимального распределения ресурсов (для обеспечения сейсмостойкости) между различными сейсмоопасными районами, на которые приходится примерно четверть территории, страны. В рамках исследований заново пересматриваются как понятия сейсмичности (балльности) территории, так и самого сейсмического балла.

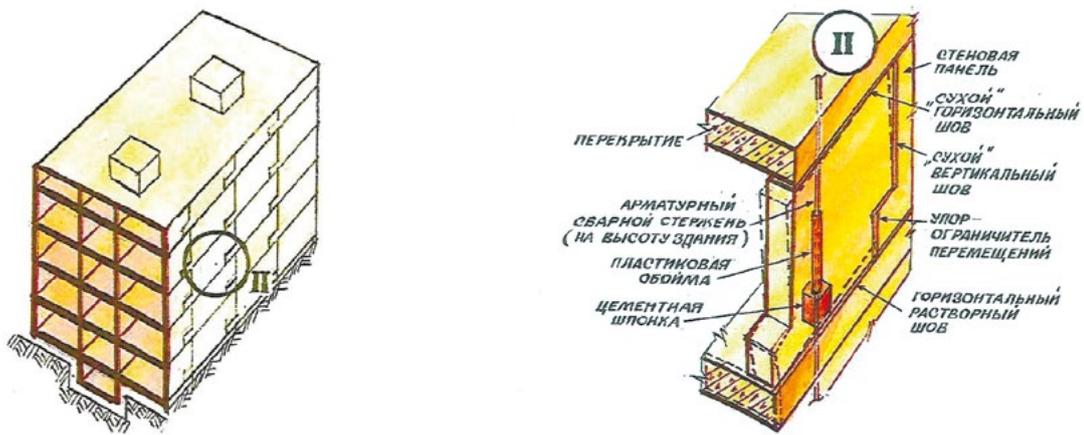
В исследованиях такого рода и создании адаптивных (самонастраивающихся) систем сейсмоизоляции и сейсмозащиты и заключается один из ответов на вызов: «Мы, сейсмологи, предсказать землетрясение пока еще не умеем, но вы, строители, должны действовать так, чтобы обеспечить надежность и безопасность людей».

Сейсмоизолирующая конструкция с выключающимися связями, применявшаяся при строительстве жилых зданий в Северобайкальске. Верхний и нижний бетонные контрфорсы, расположенные между зданием и фундаментом, окружены в точке касания пакетом из металлических пластин, соединенных электросварными заклепками — пакет играет роль «предохранителя» - выключающейся связи. При сейсмическом воздействии нижний контрфорс движется в ту или иную сторону, заклепки срезаются, пластины смещаются, связь выключается, здание меняет периоды своих колебаний, как бы самонастраиваясь на определенные параметры землетрясения (!).

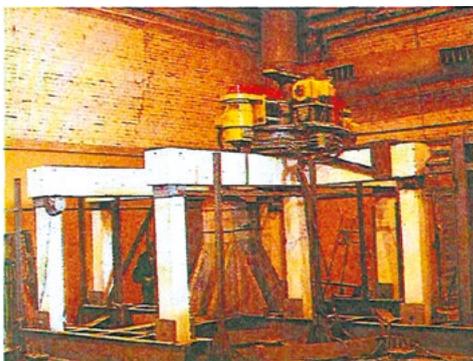
Сейсмоизолирующая конструкция сухих стыков, использованная при строительстве жилых зданий в Нерюнгри. Конструкция представляет собой комбинацию нескольких сейсмозащитных устройств. При сейсмическом воздействии прежде всего разрушается растворная или бетонная шпонка — своеобразная выключающаяся связь. Тем самым создаются условия для перемещения панелей вокруг упора-ограничителя и перехода всей конструкции к более гибкому состоянию. Арматурный стержень после разрушения растворной шпонки не препятствует подвижке панелей потому, что он на значительном протяжении помещен в пластмассовую втулку и в этой зоне не сцепляется с бетоном — следовательно, стержень при небольшой подвижке панелей способен растягиваться в безопасных пределах. Сама же подвижка, происходящая по сухим стыкам (например, прокладки из бумажных отходов со стекловатой), способствует гашению сейсмозащиты. Слишком значительному перемещению отдельных панелей препятствуют упоры-ограничители (II).



**Рисунок 10** — Сейсмоизолирующая конструкция с выключаемися связями, использованная при сооружении жилых зданий в Северобайкальске Иркутской области



**Рисунок 11** — Сейсмоизолирующая конструкция сухих стыков, использованная при сооружении жилых зданий в Нерюнгри Якутской АССР



**Рисунок 12** — Испытания конструктивных узлов здания с выключаемися связями для города Северобайкальска с помощью вибромашины инерционного действия (ВИД-12) ЦНИИСКА



**Рисунок 13** — Вибромашина ЦНИИЭП жилища, установленная на крыше одного из домов в Нерюнгри, моделирует горизонтальную сейсмическую нагрузку на здание

EIZENBERG J.M.

## THE BUILDING FOR SHAKY GROUND