

## **Урок 9: Сейсмическая опасность для строений**

В данном уроке студенты ознакомятся с основными принципами, лежащими в основе разрушения строений при землетрясении. Во многих городах существует множество построек разного размера, формы, архитектурных стилей и материалов. В данном уроке мы разберём общие вопросы, касающиеся того, как различные строения реагируют на землетрясения. В работе мы будем использовать теоретические занятия и три вида практических упражнений. Теоретические занятия состоят из визуального анализа реальных фотографий, сделанных в районах землетрясений в Центральной Азии. Практические упражнения покажут, каким образом строения реагируют на приложенную нагрузку.

В данном уроке будут использоваться упражнения на вибрационном стенде, взятые из примеров Rathjen (2004 год), а модель вибрационной стены взята из работы Beven и др. (1995 год).

На теоретические занятия отводится 45-60 минут, практические упражнения занимают в целом 2-3 часа.

### **Введение**

1. Для начала обсудите со студентами 2 основных типа волн при землетрясении: волны P и S. Сравните и отметьте их различие. (Волны P – волны сжатия, продольные и в основном менее разрушительны, чем волны S; волны S - трансверсивные, они движутся перпендикулярно пути распространения). Поверхностные волны представляют собой сочетание обоих видов P и S и вызывают наиболее сильные разрушения, поскольку вызывают волнобразное движение по ходу как горизонтальной, так и вертикальной оси, что и приводит к разрушению построек. Пожалуйста, сошлитесь на урок 6 для более детального описания сейсмических волн.

2. Существует 3 различных вида приложенных сил, и в данном уроке мы их рассмотрим: сжатие, растяжение, изгиб. При сжатии сила удара направлена внутрь от поверхности конструкции, таким образом, укорачивая её. При растяжении сила удара направлена вовне от поверхности конструкции, таким образом, растягивая её (например, резинка для волос, которую растягивают). При сдвиге сила удара направлена параллельно конструкции под углом, перпендикулярным либо силе сжатия, либо силе растяжения. Сомните кусочек пластилина в форму цилиндра и пусть студенты сымитируют эти силы воздействия, наблюдая за деформацией фигуры. Напомните студентам об уроке № 4, когда они показывали это на куске теста. Объясните студентам, что деформации, под воздействием различных сил, подвергаются даже твёрдые конструкции, сделанные из стали или из камня, при этом невооружённым глазом её можно и не увидеть. На рисунке № 1 показаны три типа нагрузки и деформация конструкций при их воздействии.

3. Одни материалы и формы выдерживают воздействие на них разрушительной силы лучше, другие - хуже. Например, каменные материалы и конструкции из них лучше реагируют на сжатие, но из-за хрупкости они часто не выдерживают силы растяжения. Большинство металлов, такие как алюминий и сталь, могут выдерживать все типы сил воздействия, если у них соответствующая форма. Например, закруглённая труба может «хорошо себя вести», но малейший её дефект (вмятина или отверстие) сильно ослабляет её. Чтобы показать это наглядно, начните с двух одинаковых картонных трубок-вставок от бумажных полотенец. Возьмите одну из них и согните под углом в 90 градусов, а затем растяните её до первоначальной формы. Поставьте обе трубы вертикально на плоскую поверхность стола на расстоянии 30 см друг от друга. Затем положите что-то тяжёлое (например, большие книги) на одну из трубок по одной книге по очереди. Трубка, которую согнули, не сможет выдержать столько веса, сколько выдержит не согнутая трубка.

4. Для сооружения какой-либо конструкции можно использовать комбинированные материалы, чтобы конструкция хорошо реагировала на все виды направленной силы. Цемент, каменистый материал, может быть использован для сооружения структуры со стальными брусьями по её длине так, чтобы при сжатии выдерживала груз каменная структура, а при растяжении – стальная.

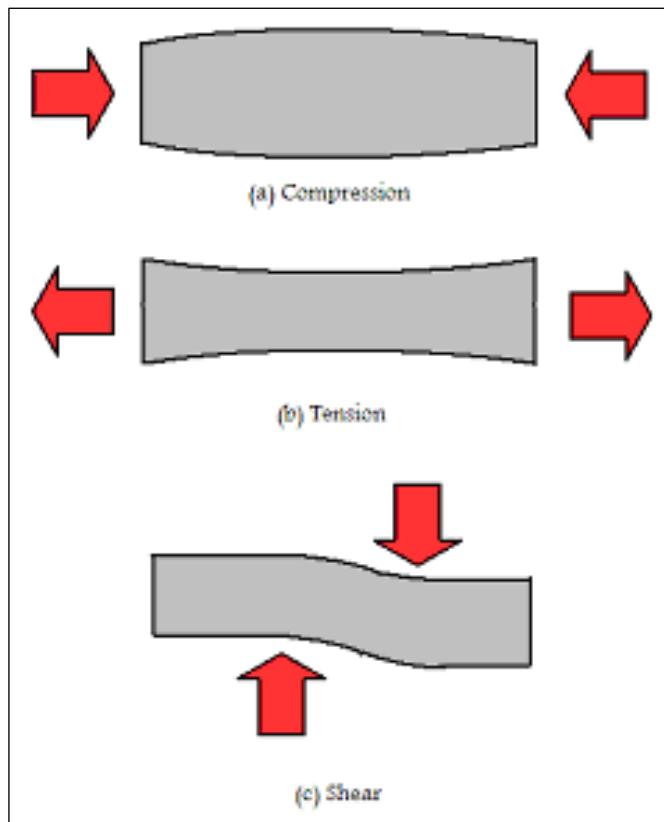


Рисунок №1: Различные виды приложенных сил.

## **Теоретические упражнения: дядя Архитектор**

**Внимание!** Это занятие было разработано (составлено) с целью объяснить, какие бывают опасности разрушения строений при землетрясениях. Они различаются в зависимости от топографии, геологии и архитектуры различных районов, а также опыта рабочих и материалов, использованных при сооружении построек. Это упражнение охватит некоторые из основных уроков, которые надо извлечь, наблюдая над строениями, выдержавшими землетрясения и строениями, построенными после землетрясений.

Прочитайте следующий сценарий, останавливаясь и задавая вопросы по ходу чтения, и обсудите материал по некоторым моментам со студентами или когда студенты задают вопросы, относящиеся к обсуждению опасности землетрясений:

Сэми живёт со своей семьёй в городе. Недавно землетрясение очень большой магнитуды разрушило многие районы их города. К счастью, семья Сэми была подготовлена к бедствию и имела всё самое необходимое (в частности, аптечку первой помощи, запас еды и воды и план оповещения семей соседей; подготовка к возможным землетрясениям будет обсуждаться в уроке № 11). Теперь, когда землетрясение миновало, многие люди приступают к нелёгкой работе по восстановлению города.

Дядя Сэми, мистер Джамали, архитектор и он теперь очень занят, так как к нему днем и ночью приходят люди с просьбами заново построить их дома, отреставрировать их, или внести какие-то изменения, чтобы пережить следующее землетрясение. Мистер Джамали настолько занят, что даже лучшие его помощники перегружены работой, и он попросил Сэми о помощи. Сэми начнет работать в качестве подмастерья у мистера Джамали, и будет выполнять задания, которые научат его разбираться в самых лучших видах проектирования зданий, способных выдержать землетрясение. Он обехал город со своим братом, сделал много фотографий и записей, и теперь просматривает их, чтобы выявить какие-либо схожие модели разрушений.

Сначала фотографий было так много, что Сэми не знал, с чего начать.

**Вопрос №1: Каким образом фотографии могут помочь Сэми изучить вопрос о том, почему одни строения могут выстоять при землетрясении, а другие нет? Почему так важно сопровождать фотографии записями?**

**Внимание!** Этот вопрос является общим и составлен, чтобы рекомендовать студентам быть в курсе тех ограничений, которые существуют при сборе информации. Есть множество возможных ответов, которые относятся или не относятся к вопросу об опасности разрушения строений. Рекомендуйте студентам делиться своим мыслями, и, если необходимо, покажите им фотографии и записи чтобы помочь им в начале работы получить какое-то представление о проблеме.

**Возможные ответы:** Человеческий мозг выборочно сосредотачивается на интересующих его элементах, в то время как фотография захватывает всё происходящее. Фотографии содержат большое количество информации, которую люди могут сразу не заметить или не успевают зафиксировать и, поэтому с помощью фотографий можно многое узнать о строениях.

Очень важно делать записи к фотографиям, так как очень легко забыть, где и когда они были сделаны, тем более, если за один день было сделано много фотографий. К тому же, фотографии не могут передать важную информацию - например, почему какое-то здание противостояло землетрясению, сколько лет этому зданию, была ли почва влажной или сухой, было ли здание построено на холме. Эти детали могут сыграть важную роль в прогнозе будущих аварий, связанных с землетрясениями, таких как, например, разжижение (см. Урок № 7) или оползни (см. Урок № 8).

Сэми решил сосредоточить внимание на фотографиях, где запечатлены здания, не пострадавшие во время землетрясения в сравнении с фотографиями, на которых были здания, либо на половину, либо полностью разрушены (см. Фотографии № 1-6). Таким образом, на указанных фотографиях сила землетрясения и состав почвы, на которой были построены здания, были бы одинаковы. Это помогает сравнить пострадавшие сооружения с теми, которые выдержали землетрясение в подобных условиях.

**Вопрос № 2: сравнимте фото №1 и фото № 2. Какие есть сходства и различия между типами стройматериалов и видами сооружений? По каким возможным причинам здания на фото №1 полностью не разрушились, а здания на фото №2 разрушились?**

**Возможные ответы:** Из записей следует, что обе фотографии были сняты недалеко от древних руин города. Оба здания построены из кирпича, но древние сооружения были построены из кирпича мокрой прессовки, в то время как для строительства разрушенных зданий был использован современный каменный кирпич. При этом древние руины намного старше зданий со второй фотографии, но они не пострадали в связи с землетрясением. Можно предположить, что эти древние развалины перенесли и другие мощные землетрясения за последние сотни лет.

Несколько возможных причин: в строительстве древних зданий были использованы округлые арки для поддерживания крыши, а современное строительство использовало прямые стены и острые углы. Из этого следует, что арки и куполообразные постройки способны перенести землетрясения лучше, чем прямоугольные стены и здания типа коробок. Это утверждение подтверждается первой фотографией, на которой видно, что в то время как крыша и поддерживающие её стены не пострадали, стена, которая не относится к арке, обвалилась. Можно предположить, что древние здания на фотографии № 1 были построены более искусно, чем современные здания на фотографии № 2. Прежде

*чем делать какие-либо выводы, Сэми необходимо рассмотреть эти идеи и побывать в местах на фотографиях.*

Рассматривая фотографии, Сэми понял, что обращал внимание исключительно на здания, в то время как землетрясение пережили не только здания.

**Вопрос № 3: посмотрите на фотографии № 3 и № 4. Какие объекты, помимо зданий, не разрушились во время землетрясения? Какие свойства этих объектов помогли им противостоять землетрясению, в то время как другие здания обвалились? Имеются ли другие опасности, связанные с этими объектами, которые отличаются от тех, которые относятся к зданиям?**

**Возможные ответы:** От студентов следует ожидать множество разных ответов на эти вопросы. Некоторые объекты включают деревья, электрические и телефонные провода, машины и указательные знаки.

Благодаря тому, что у деревьев мощная корневая система, они крепко укреплены в земле и, в принципе считаются сейсмостойкими (обладают способностью сопротивления землетрясениям). Дерево - очень прочный и легкий материал. Однако даже если учитывать то, что деревья лучше переносят землетрясения, чем некоторые здания, они также представляют опасность в связи с обваляющимися ветвями во время землетрясения, и, ни в коем случае, не должны служить убежищем. Вообще во время землетрясения рекомендуется не находиться под такими-либо предметами и сооружениями.

Электрические и телефонные столбы также глубоко врыты в землю, но всё-таки не так глубоко, как корни деревьев. Они предназначены, для того чтобы поддерживать нагрузку вдоль проводов так, что любое нарушение равновесия (например, вызванное разрушением здания, падением веток деревьев на провода и т.д.) может привести к падению деревьев. Машины и дорожные знаки расположены близко к земле и не несут никакой внешней нагрузки, поэтому и землетрясения они переносят очень хорошо, если только на них не упадет что-то более крупное.

У деревьев могут обломиться и упасть ветви. Электрические и телеграфные столбы могут при падении поразить людей электрошоком. А у машин имеется взрывоопасное топливо, способное вытечь, если что-то падает на них. Поэтому следует так проектировать здания, чтобы максимально снизить риск для людей.

Сэми заметил, что в то время как здания на фото № 4 и № 5 также использовали штабелирование камней и кирпичей, как и разрушенное здание на рис. № 2, большая часть этих домов сохранилась, хотя другие вокруг них – нет.

**Вопрос № 4: Посмотрите очень внимательно на рисунки № 4, 5 и 6. Какие вы видите различия, и почему эти различия способствуют лучшему сохранению зданий от землетрясений?**

**Возможные ответы:** Если приглядеться, то вы увидите, что вертикальные стены на рисунках 4, 5 и 6 укреплены стальными опорами различными способами.

Рисунок № 4 показывает, как используют стальные перекрёстные балки при кирпичной кладке. Стены же здания на рисунке № 5 сделаны из цемента и камня, и неукреплённые передние стены разрушились. Но выстоявшие стены на рисунке № 5 имеют стальные брусья по всей площади стены (стальные брусья выступают из передней части верхней стены). Арматура видна по всей длине стен вниз в тех местах, где откололся или упал цемент). На рисунке № 6 похожая, но меньшего размера структура рядом с большим стоящим зданием имеет выступающие из верхних поверхностей стальные части, и, по-видимому, были построены теми же людьми, что строили большое здание сзади. Можно видеть по открытой стене слева, внизу большого здания, что оно не полностью построено из кирпича, а лишь частично состоит из кирпичной кладки внутри укреплённого остова. Треугольники на верхнем этаже большого здания справа показывают, в каких местах остов отошёл от кирпичей, несмотря на то, что наружная краска осталась нетронутой.

Укрепление сооружений арматурой крайне важно при строительстве из кирпича или камня, поскольку оно обеспечивает прочность на растяжение (способность выстоять при нагрузке на растяжение).

Это означает, что стену можно растянуть (по длине и ширине) и её трудно будет сломать.

Камни и кирпичи очень хорошо выдерживают сжатие. Однако каменная или кирпичная стена при растяжении или изгибе ломается при гораздо меньшей нагрузке, чем при сжатии. Во время землетрясения вибрация способна растянуть, сжать или изогнуть все части строения. Сталь – гораздо более гибкий материал, чем камень. Поэтому, сочетание стали с кирпичом или камнем означает, что стена может быть сжата, растянута или изогнута и, скорее всего, выстоит, перенесёт землетрясение.

Сэми начал замечать в течение дня, что при разрушении стен совсем не обязательно рушится крыша, особенно если стены укреплены арматурой. Но, поговорив с людьми в городе, ему стало ясно, что разрушение крыши – это серьёзная опасность. Многие люди пострадали, получив ранения, застряли в завалах или погибли при обвале на них тяжёлых крыш.

**Вопрос № 5: Сравните фотографии № 7 и № 8. Чем отличаются крыши этих зданий от крыш на других фотографиях? Почему эти крыши могут с большим успехом перенести землетрясение?**

**Возможные ответы:** У большей части этих зданий крыши сделаны из легкого и гибкого материала, например, из дерева и тонких листов металла. На других фотографиях видно, что крыши сделаны из толстого и негнущегося материала, как, например, из земли, кирпича, камня или цемента.

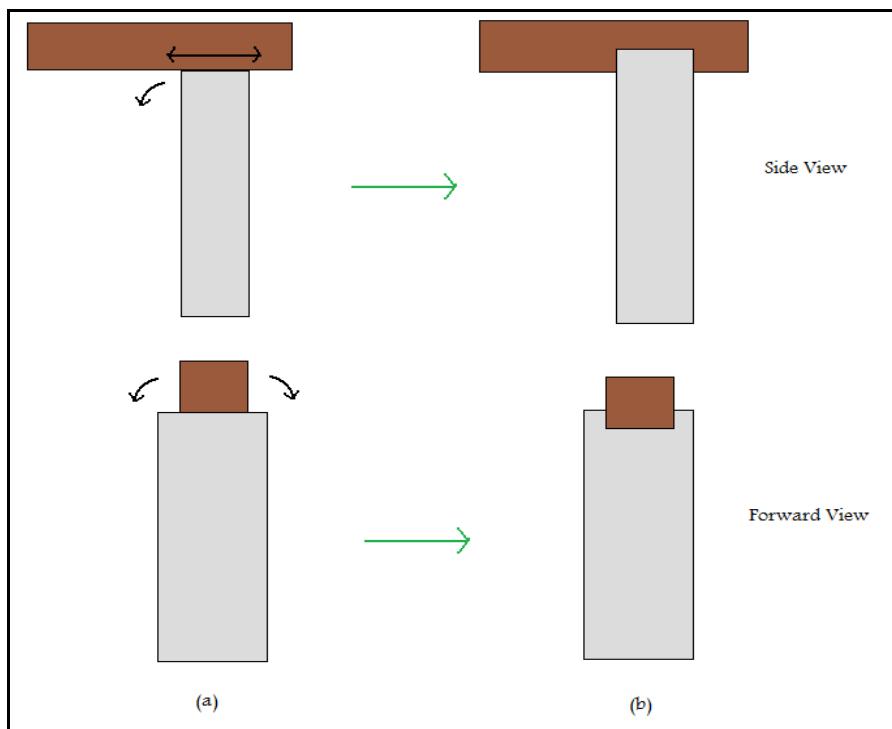
*Дерево и металл, по многим причинам, являются наилучшими стройматериалами в регионах, подверженных землетрясениям. Одна из самых очевидных причин потому, что, когда рушатся здания из легкого материала, они приносят гораздо меньше разрушений и повреждений людям, застрявшим под обломками. Кроме того, благодаря тому, что легкие материалы более гибки, при падении во время землетрясения они сохраняют свою изначальную форму. Это значит, что в обвалившемся здании, построенного из легкого материала есть пустые пространства, где могут укрыться пострадавшие (в сравнении, когда обрушивается каменная или кирпичная крыша, таких пространств практически не остается).*

Сэми посетил здание с крышами из легкого материала, которое строил его дядя, но его смущило то, как балки были прикреплены к цементным столбам. Он сфотографировал эти крепления и принес фотографии домой, чтобы подумать о том, что же всё-таки ему не понравилось. Из разговора с людьми, пережившими землетрясение, Сэми узнал, что деревянные стены, балки и доски так сильно трясутся во время землетрясения, что они даже двигаются из стороны в сторону или подпрыгивают вверх и вниз на своих точках опоры.

**Вопрос № 6: Посмотрите на крупный план крыши на фотографии № 8. Как вам кажется, что не понравилось Сэми в том, как деревянные балки прикреплены к столbam? Как бы вы изменили конструкцию крепления для того, чтобы крыши лучше выдержали землетрясение?**

**Возможные ответы:** Деревянные балки лежат на плоской поверхности на цементном столбе. Если деревянные балки и доски трясутся из стороны в сторону, вперед и назад или вверх и вниз во время землетрясения, то очень возможно, что они упадут со столбов и приведут к обвалу крыши.

*Чтобы улучшить конструкцию этого крепления следует сделать рубцы или углубление, к которым балки бы прикреплялись. Такого рода крепление не позволит легко снести деревянные балки с точки крепления и, когда здание перестанет трястись, деревянная балка закрепится за рубцы (см. Рисунок № 2 ниже).*



**Рисунок № 2.** На рисунке изображено крепление деревянной балки на плоской поверхности столба (а) и на зазубренной поверхности (б). Чёрные стрелки обозначают возможные направления движения волны во время землетрясения, в результате которого деревянная балка свалится со столба в случае (а), а в случае (б) эти движения ограничены зарубками. Side View: Вид сбоку; Forward View: Вид спереди

#### Настольное упражнение: Сооружение и укрепление конструкций

Теперь, когда студенты имели возможность увидеть и проанализировать состояние зданий, выстоявших или разрушенных при землетрясении, они смогут в течение последующих 3-хневых занятий изучить все опасности, которым подвергаются строения, а также меры по предупреждению разрушений. В первый день студенты строят модели и обсуждают, что происходит с ними при попадании на них груза. Во второй день студенты сооружают и тестируют модели на вибрационном столе, чтобы понять, как структура будет себя вести при вибрации различной скорости, а также ознакомятся с явлением резонанса. В третий день студенты строят модель стены, чтобы узнать, как структурные элементы, могут сделать конструкцию прочной, такие как диагональные стяжки, стены жесткости и жёсткие углы.

#### Материалы

##### ДЕНЬ 1-ый

1 набор пенопластовых блоков различного размера

Куски верёвки по 30 см длиной

Скрепки для бумаги

Зубочистки  
Кирпич или какой-либо тяжёлый предмет  
Ленточная пила (для разрезания пенопласта)  
Соломинки для питья  
Прямые булавки

### **ДЕНЬ 2-ой:**

1 вибрационный стенд для имитации землетрясения – Смотри ссылку:  
[http://www.exo.net/~donr/activities/Shake\\_Table.pdf](http://www.exo.net/~donr/activities/Shake_Table.pdf)  
1 набор деревянных кубиков различного размера  
1 набор пенопластовых кубиков различного размера

### **ДЕНЬ 3-ий:**

Копии раздаточных материалов № 1а и 1б (один на группу - в конце урока)

#### Материалы для одной модели стены:

21 большая палочка для поделок примерно 15см x 2см x 2мм  
Электродрель со сверлом 3/16 дюйма  
1 тонкий деревянный лист (~2 мм толщиной) 45 см x 6 см (~18 дюймов x 2 дюйма)  
1 кусок крепкого дерева (2 x 6) для основы, примерно 45 см (18 дюймов) длиной  
16 машинных болтов, 10 x 24, около 2 см длиной (.75 дюйма)  
16 машинных винтовых гаек, 10 x 24

32 шайбы, #8

7 маленьких шурупов для дерева

#### Крепления для одной стены:

2 куска верёвки, каждый примерно 25 см (10 дюймов) длиной  
1 кусок лёгкого картона, примерно 15 см x 15 см (квадрат чуть меньше 6 дюймов)  
8 маленьких пружинных зажимов для скрепления картона

**Внимание!** Вибрационный стенд и модели стен должны быть хорошо сооружены и протестированы до начала урока, детали моделей также должны быть проверены до начала урока. Рекомендуется, по возможности, вовлекать студентов в установку моделей.

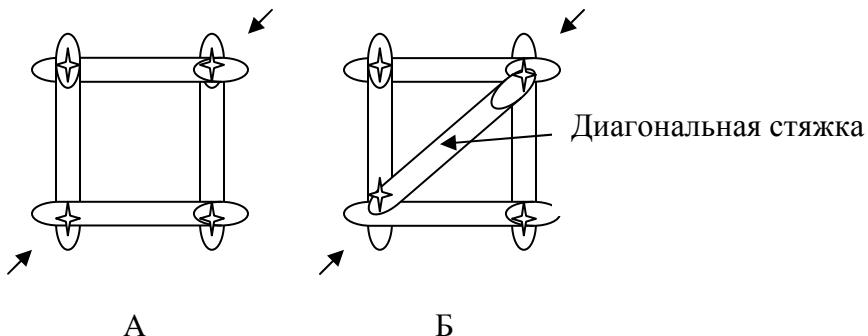
### **Упражнения (ДЕНЬ 1-ый)**

1. Поделите студентов на небольшие группы. Раздайте каждой группе куски пенопласта, верёвку, скрепки для бумаги и зубочистки. Объясните каждой группе, что они инженеры-сейсмологи и им следует соорудить самую прочную конструкцию из материалов, приведённых в упражнениях Дня № 1. На это им отводится 20 минут. Это работа предназначена для развлечения, и их действия критике подвергаться не будут.
2. Попросите каждую группу назначить представителя. Представитель должен продемонстрировать конструкцию классу и описать её (т.е. почему они именно так её построили)

3. А теперь попросите студентов предположить, что произойдёт, если вы положите тяжёлый предмет (например, кирпич) на вашу конструкцию. Объясните студентам, что тяжёлый предмет приводит к возникновению статической силы тяжести (вертикальная нагрузка), которую должна выдерживать любая конструкция. Пенопласт, например, достаточно прочен для своего веса, так что тяжёлые предметы также представляют собой вес всех неструктурных элементов здания (например, полы, половые покрытия, электропроводка и т.д.). Объясните студентам, что некоторые стройматериалы прочные, способные выдерживать большие нагрузки, а некоторые могут быть хрупкими и соответственно разрушающимися при большой нагрузке.

4. Затем попросите студентов предположить, что произойдёт, если потрясти основание конструкции. Позвольте им осторожно проверить это явление на своих моделях. Пусть они поделятся своими наблюдениями.

**Внимание!** Конструкции треугольной формы могут противостоять тряске лучше, чем квадратные или глыбистые конструкции. Спросите студентов, почему это происходит. Чтобы они лучше поняли это явление, раздайте им 4 соломинки для питья и 4 прямые булавки и скрепите соломинки следующим образом (по рисунку А):



Попросите студентов взять квадрат за противоположные углы и сжать его. Они заметят, как легко можно изменить его форму. Потом пусть они добавят ещё одну соломинку (немного длиннее), соединив два противоположных угла (по рисунку Б).

Студенты смогут заметить, как диагональная соломинка закрепляет конструкцию. Они только что сделали треугольники и диагональные стяжки, чтобы сделать структуру более крепкой. Это происходит потому, что нагрузка (давление на конструкцию вследствие сжимания углов) либо растягивает, либо сжимает каждую из соломинок в треугольнике. Узкие куски структуры самые прочные при растяжении или сжатии, но они становятся самыми слабыми при сгибании, сдвиге или, когда нагрузка приходится на сочленения. На рисунке Б диагональная стяжка сжимается и несёт самую большую нагрузку, именно поэтому она и укрепляет конструкцию.

(По выбору) Попросите студентов определить, не прикасаясь к конструкции, помогает ли диагональная стяжка на рисунке Б поддержать конструкцию, если её сжать по противоположным углам, которые не стянуты (верхний левый и нижний правый углы)? Да или нет и почему? После того как студенты это обсудят и сформулируют свою гипотезу, позвольте им протестировать её, используя модель. Ответ должен быть «да» - она действительно держит конструкцию, даже если нет стяжки противоположных углов. В данном случае стяжка растягивается по мере того, как сочленения передают нагрузку по всей конструкции. Поскольку узкие детали конструкции, такие как соломинка, являются самыми прочными при растяжении или сжатии, конструкция всё ещё плотная. Пусть студенты обсудят свои ответы и сравнят их с поведением модели.

5. Теперь попросите их предугадать, что произойдёт, если взять основание конструкции и поместить его горизонтально сверху. Пусть они аккуратно проверят это на своих моделях и поделятся своими наблюдениями друг с другом. Объясните им, что во время землетрясений здания испытывают горизонтальную нагрузку и одним из способов сымитировать это - просто потянуть на себя или от себя конструкцию сбоку. Эти силы вызывают сжатие, напряжение и изгиб по всему строению в зависимости от того, как было построено здание.

## Упражнения (ДЕНЬ 2-ой)

1. Поделите студентов на маленькие группы. Раздайте каждой из них деревянные кубики. Пусть они построят простую конструкцию, но достаточно прочную, чтобы она выдержала тряску вибрационного стенда. Студенты могут использовать любое количество кубиков для своих моделей. На это упражнение выделяется 10 минут.

**Внимание!** Вам следует объяснить классу, что представляет собой вибрационный стол, особенно, если они не участвовали в его сборке. Вибрационный стол - это устройство, имитирующее землетрясение. Инженеры-сейсмологи и техники используют вибрационный стол для наблюдения за поведением моделей при землетрясениях. Покажите его студентам. Пусть они внимательно рассмотрят, из чего он состоит. Объясните им назначение каждой детали стола. Сошлитесь на ссылку, которая будет дана в конце урока, для подробной информации о вибрационном столе.

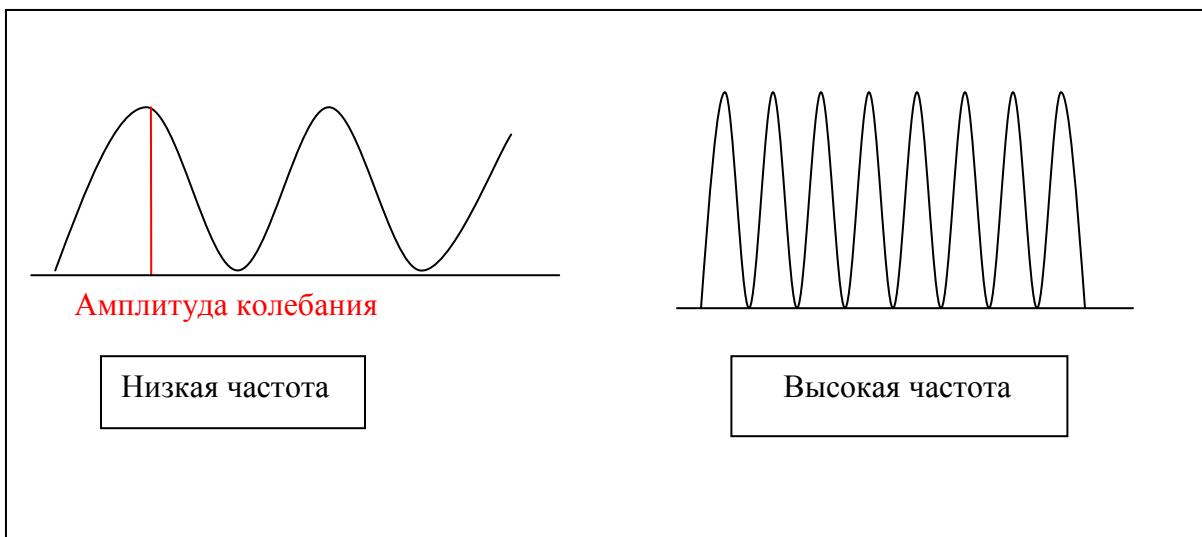
2. Затем попросите представителя каждой группы поставить модель перед классом. Представитель должен описать конструкцию, сделанную в своей группе, прежде чем ставить её на вибрационный стол. Дайте студентам возможность прогнозировать, что произойдёт с конструкцией, когда стол начнёт вибрировать. Объясните, что скорость двигателя регулируется потенциометром, позволяя вибрационному столу вибрировать с различной скоростью. Пусть представитель сначала включит малую скорость и затем постепенно повышает обороты двигателя. Пусть студенты наблюдают за поведением конструкции и протестируют свои модели.

3. Пусть студенты в каждой группе обсудят, почему их модели разрушились или не разрушились. При обсуждении того, как модели среагировали на вибрацию, пусть они обратят внимание на высоту, вес и форму конструкций. Студенты могут спорить о том, что высокие строения разрушаются быстрее, чем низкие и, что широкие конструкции лучше выдерживают вибрацию. Попросите студентов спрогнозировать, что произойдёт, если строения разной высоты стоят рядом друг с другом при вибрации в случае землетрясения. Пусть студенты проверят это на своих моделях, поставив их на стенде, стенка к стенке. Строения могут либо обрушиться вместе, либо наползти друг на друга в случае сильного землетрясения.

4. Теперь давайте рассмотрим такие понятия как амплитуда, частота и резонанс. Спросите у студентов, что они уже знают об этих явлениях. Некоторым студентам, например, известно, что резонанс и частота используются при описании тона музыкальных инструментов и качества звука, извлекаемого различными приборами и исполнителями. Объясняя амплитуду колебаний, сошлитесь на Урок № 6 (сейсмическая энергия). Амплитуда- это мера измерения энергии волны. В этом упражнении будет рассказано, что амплитуда – это то, как далеко в стороны переместится кубик или конструкция. Частота – это скорость, при которой повторяется движение (или раскачивается). В данном уроке понятие частоты - это количество колебаний сейсмической волны, в секунду или в минуту. В инженерной сейсмологии частота- это скорость колебания верхней части здания. Можете нарисовать что-то похожее на рисунок № 3, при обсуждении этих явлений. Резонанс – это увеличение амплитуды колебания физического тела (модели студентов, в данном случае), которое происходит, когда частота вибрации стенда близка к естественной.

Определите естественную частоту колебаний студентам: частота колебаний (или раскачивания) предмета или системы предметов (например, здание) в зависимости от его дизайна и строительных материалов. Чтобы помочь студентам лучше понять концепцию естественной частоты колебаний и резонанса, обсудите примеры естественной частоты, которые студенты наблюдают в повседневной жизни.

Когда студент качается на качелях, он движется с естественной частотой колебания качелей/студента. И если его друг толкает качели, чтобы они взлетели выше, то он толкает их с естественной частотой качелей/студента. Это вызывает резонанс, и каждый раз, когда студента толкают, он поднимается выше и амплитуда раскачивания качелей повышается. Если не толкать качели с естественной частотой, сидящий на них, высоко в воздух не подлетит и резонанс будет утрачен. То же самое происходит со строениями во время землетрясения. Если вибрация затрагивает здание с естественной или близкой к этому частотой, оно начнёт резонировать, частота колебаний будет увеличиваться, пока часть здания не обрушится или полностью не развалится само здание.



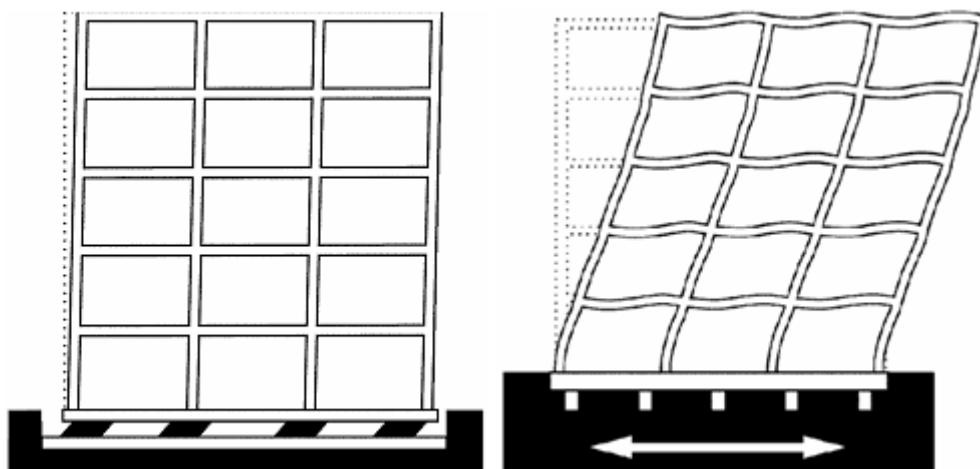
**Рисунок № 3.** амплитуда колебаний волны, и высокая/низкая частота колебаний.

5. Теперь давайте проведём связь между вышеупомянутыми понятиями. Объясните студентам, что все предметы или все конструкции (или все вместе) имеет естественную частоту. Во время землетрясения здания движутся и, если частота колебаний близка к естественной, то резонанс может вызывать серьёзные повреждения. Поставьте одну из деревянных конструкций на стенд, и попросите студентов понаблюдать за резонансом, пока стенд будет вибрировать. В некоторых местах конструкция может быть совершенно статичной, в то время как в других частях она сильно вибрирует - это требует особого режима двигателя. Это касается только частей конструкции, а не её самой. Например, какая-то часть конструкции сильно вибрирует при определённой скорости двигателя, а при другой скорости (более высокой или более низкой) вибрации почти не происходит. Кроме того, вполне возможно, что одна деталь обрушится при условиях, при которых другая выстоит.

Пусть все группы протестируют свои конструкции (или просто деревянный кубик) на предмет новых наблюдений. Для этого попросите студента поместить кубик вертикально на вибрационный стол. И пусть студент медленно включает установку на разную скорость. При низкой скорости ничего существенного с кубиком не произойдёт, но при определённой скорости кубик начнёт сильно трястись и, возможно, упадёт. Это естественная скорость кубика. Если студент переключит скорости слишком быстро, то кубик так энергично себя не поведёт и может оставаться на месте, даже если стол движется быстрее. Некоторые кубики достигают естественной скорости за пределами той, которую может развить вибрационный стол. Пусть студент попробует определить естественную скорость кубиков, поставленных в длину, конструкций из кубиков или других длинных предметов в классе, способные сами стоять при подобных манипуляциях. Выделите побольше дополнительного времени на эксперименты с вибрационным столом и конструкциями из кубиков, а также для ответов на вопросы.

6. Объясните студентам, что одним из способов защиты здания от резонанса при землетрясении – это установка под фундаментом специальных устройств, похожих на колёса. Эта технология называется «изоляция фундамента», используемая инженерами-проектировщиками, которые ставят здания на подобные устройства, чтобы колебания почвы не напрямую передавались зданию (рисунок № 4). Схожий пример можно привести такой: автомобиль и его система подвески с пружинами и амортизаторами, которые предохраняют пассажиров от неровностей дороги.

(По выбору): Если позволит время, раздайте студентам простые маленькие колёсики, чтобы они добавили их к своим моделям. Пусть они ещё раз протестируют свои сооружения (с колёсиками, прикреплёнными к основанию) на вибрационном столе.



**Рисунок № 4.** Реакция здания с изоляцией фундамента на землетрясение, по сравнению с обычным фиксированным фундаментом (из: <http://6earthquake.org/new-technologies.html>)

Чтобы снизить колебания конструкции и развеять сейсмическую энергию, инженеры-сейсмологи применяют гасители потока энергии. Это устройства, монтируемые между некоторыми элементами здания. Во время землетрясения эти гасители подвергаются движениям, схожим друг с другом. Они замедляют вибрацию, рассеивая вязкую энергию или энергию трения, когда здание шатается.

7. Попросите студентов подумать о других способах снижения резонанса в здании. Спросите у них, какие ещё элементы конструкции они могут добавить к своим моделям, чтобы сделать их более устойчивыми к землетрясениям. Эта тема будет обсуждаться позднее, в 3-й день.

## Упражнения (ДЕНЬ 3-ий)

1. Объявите студентам, что они будут собирать модель стены и прогнозировать, что произойдёт, если сдвинуть основание стены (имитируя землетрясение). Студентам дадут материалы для укрепления их моделей и повторного тестирования.
2. Разделите студентов на маленькие группы. Раздайте каждой группе достаточно материалов (основания, палочки, гайки и шайбы) для сборки модели стены (рисунок № 5). Пусть они проверят, чтобы сочленения были достаточно прочными для того, чтобы сохранить прямую форму конструкции, но и достаточно свободными, чтобы можно было части конструкции легко сдвинуть. Вы можете собрать одну модель для демонстрации в классе.



Рисунок № 5а. Модель стены (спереди и сзади)

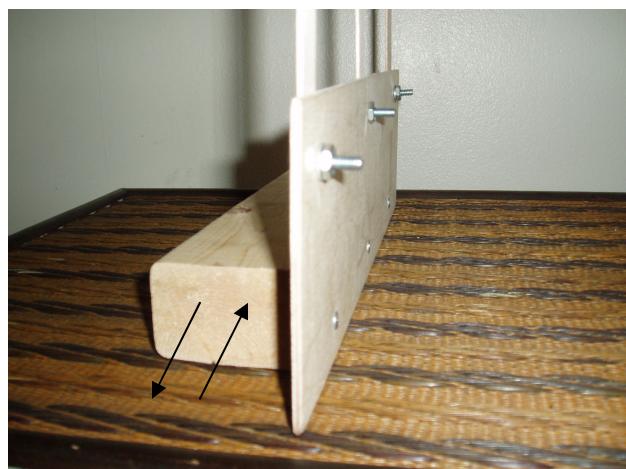


Рисунок № 5б. Увеличенный вид фундамента

3. Теперь попросите студентов описать компоненты стены, и пусть они ответят на вопрос «что удерживает стену вертикально?» Ответом является следующее: взаимодействие вертикальных и горизонтальных элементов, что позволяет конструкции устоять на месте при нагрузке. Объясните студентам, что то, что они называют грузом, будет в данном эксперименте называться силой тяжести. Попросите студентов подумать о том, что произойдёт, если сдвинуть основание стены из стороны в сторону (как показано стрелками на рисунке № 5b), имитируя землетрясение.

**Внимание!** При землетрясении земля может сотрясаться по разным направлениям (смотри Урок № 6), но в данном эксперименте студенты моделируют тряску только в одном направлении.

4. Попросите студентов в каждой группе слегка подвинуть основание модели снизу, справа налево и обратно (как показано стрелками на рисунке № 5b). Если сильно толкать основание, модель разрушится только на первом этаже. Спросите у студентов, почему не упали другие этажи. Пусть они покажут, где находились самые слабые части стены на упавших образцах. (Первый этаж рухнул, потому что он был слишком непрочным чтобы передать достаточно горизонтальной нагрузки верхним этажам. Он не мог передать тряску на верхние этажи).

5. Объясните студентам, что если сдвинуть фундамент здания - это всё равно, что применить горизонтальную силу давления к верхним этажам. Пусть студенты попробуют аккуратно применить горизонтальное давление в разных местах модели, таким образом, имитируя то, что происходит во время землетрясения.

6. Теперь попросите студентов объяснить, что нужно для того, чтобы укрепить модель стены. Студентам следует обдумать все возможные пути, по которым нагрузка может достичь земли, когда конструкция подвергается сильному давлению. Раздайте каждой группе куски картона, пружинные зажимы, верёвку, палочки и копию Заданий № 1а и № 1б. Попросите студентов стрелкой нарисовать вектор силы и показать, какой путь проделывает сила до земли. Проверьте схемы, чтобы убедиться, что студенты поняли материал.

7. Попросите студентов спроектировать и построить три разных экземпляра структурных элементов. Каждый раз, когда они изменяют модель, новые траектории действия нагрузки должны отразиться на рисунке. Необходимо испытать модели стен, чтобы убедиться в прочности и выносливости всех этажей модели, при давлении. Если конструкция надежно укреплена, надавив на верхний уровень модели, студенты должны передвинуть всю модель без ущерба для стен.

**Внимание!** Есть множество разных способов построить модель, способную противостоять приложённой силе. Однако каждая модель должна иметь непрерывную траекторию действия нагрузки, проходящую от верхнего левого угла до основания модели.

8. Пусть студенты обсудят вопросы из задания № 1б. Попросите одного студента из каждой группы записать ответы всей группы. Когда все группы закончат отвечать на вопросы, пусть один студент из каждой группы преподнесет ответы всей группы на один из вопросов. Обсудите со студентами разные ответы на один и тот же вопрос, чтобы они пришли к согласию друг с другом. Продолжайте по этой схеме пока все вопросы не будут исчерпаны.

**Внимание!** Обсудите со студентами различия и сходства того, что переносят модели стены и настоящие стены во время землетрясения. Основным различием является то, что поверхностные волны землетрясения трясут постройки вперёд и назад (горизонтально) и вверх и вниз (вертикально), в то время как эта модель лишь имитирует горизонтальные силы воздействия. Кроме того, тряущееся движение направляет силу нагрузки, с изменением направления и магнитуды сложным образом, а данная модель лучше подходит к стабильной, не направленной силе нагрузки. Стабильная, не направленная сила нагрузки, также известна как «статическая» нагрузка, а изменяющиеся нагрузки называют «динамическими».

9. Объясните студентам, что инженеры-сейсмологи используют схожие методы для укрепления зданий от землетрясений. Инженеры склонны применять комбинированные технологии для демонстрации плюсов и минусов в каждом подходе, что включает в себя диагональные стяжки, стены жёсткости, и жесткие узлы. Диагональные стяжки (палочки для поделок в данном упражнении) обычно встраивают в стену, чтобы укрепить её. Стены жёсткости (картонные детали в данном упражнении) добавляют к конструкции для передачи горизонтальной силы сдвига. Это обычно твёрдые элементы и необязательно спроектированы таким образом, чтобы нести вертикальную нагрузку на конструкцию. Жёсткие узлы (скрепки в данном упражнении) не позволяют элементам конструкции двигаться относительно друг друга.

10. Закончите это упражнение, помогая студентам связать поведение их моделей стены с их представлением о настоящих зданиях во время землетрясения. Отметьте, что движение взад-вперёд, горизонтальный компонент тряски земли является самой разрушительной силой для строений. Строения, в основном, спроектированы, чтобы передавать гравитационную силу притяжения, но чтобы преодолеть тряску при землетрясении, они должны преодолевать как горизонтальные, так и вертикальные силы нагрузки.

## **Библиография**

Beven, R.Q., Crowder, J.N., Dodds, J.E., Vance, L., Marran, J.F., Morse, R.H., Sharp, W.L., Sproull, J.D., 1995, Seismic Sleuths-Earthquakes: A teacher's package for grade 7-12 (second edition), American Geophysical Union and Federal Emergency Management Agency, FEMA 253, 364 p.

Rathjen, D., 2003, Shake table, Exploratorium Teacher Institute, San Francisco, California, p. 1-4, смотрите в Интернете на сайте  
[http://www.exo.net/~donr/activities/Shake\\_Table.pdf](http://www.exo.net/~donr/activities/Shake_Table.pdf)



**Фото № 1.** Развалины древнего города. Кирпич мокрой прессовки.  
Равнинная местность. 200-300 лет.



**Фото № 2.** Старая часть города, неподалеку от древних развалин. Стандартный кирпич. 30-70 лет. Изначально здание было трёхэтажным; задняя стена частично уцелела. Арматура не относится к обвалившемуся зданию.



**Фото № 3.** Промышленный район города, напротив сталелитейного цеха. Стандартный кирпич и стальные сараи. Равнинная местность. 10-30 лет.



**Фото № 4.** Северная часть промышленного района, неподалеку от жилого района. Единственное уцелевшее здание в этом квартале. Пострадавшие здания были построены из стандартного кирпича. Равнинная местность. 10-30 лет.



**Фото № 5.** Центр жилого квартала. Обвалившиеся стены были построены из кирпича и камня вперемешку с цементом и известкой. Остальные несущие стены не пострадали. Слегка наклонная местность. 10-30 лет.



**Фото № 6.** Восточная окраина жилого района рядом с горами. Равнинная местность. Все голубые здания были построены одной и той же компанией, использованы схожие методы. Минимальное повреждение – несколько обвалившихся стен. 10-20 лет.



**Фото № 7.** Западная окраина жилого района около реки. Равнинная местность. Кирпичное здание практически полностью разрушено. Металлические постройки почти не пострадали. 10-30 лет.



**Фото № 8.** Восточная окраина жилого района рядом с горами. Наклонная местность. Новая строительная площадка (после землетрясения).

Задание № 1а

Имя: \_\_\_\_\_

Следующая таблица взята из источника Beven и др. 1995 г.

**Траектория действия нагрузки с дополнительными элементами конструкции**

Используйте предоставленные материалы, чтобы добавить к модели вашей стены элементы, способные перенести горизонтальное давление или нагрузку.

<p>1. Надавите на третий уровень стены. Если добавленные элементы вызвали траекторию действия нагрузки, то при нажатии на третий уровень основание стены должно сдвинуться. Если элементы добавлены неправильно, то стена не выдержит давления. Когда вы обнаружите, как лучше укрепить стену, нарисуйте чертеж и обозначьте траектории действия нагрузки стрелочками в соседней графе справа. Обозначьте, какие из элементов испытывают напряжение, сдавливание, или поперечную силу.</p>		<p>2. Спроектируйте и постройте ещё один набор дополнительных элементов конструкции. Обозначьте траекторию действия нагрузки. Основание модели должно двигаться, когда присутствует горизонтальное давление на верхние укрепления.</p>		<p>3. Спроектируйте и постройте третий экземпляр дополнительных элементов конструкции. Используйте как можно меньше дополнительных элементов. Обозначьте траекторию действия нагрузки, и пусть преподаватель проверит вашу работу. Проверьте траекторию действия нагрузки, убирая лишние элементы, чтобы определить, сможет ли здание перенести давящую силу.</p>	
--	--	--	---	---	--

## КЛЮЧ К ОТВЕТАМ

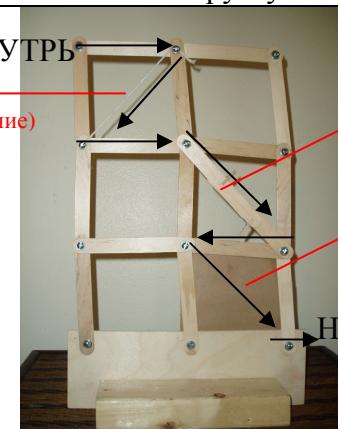
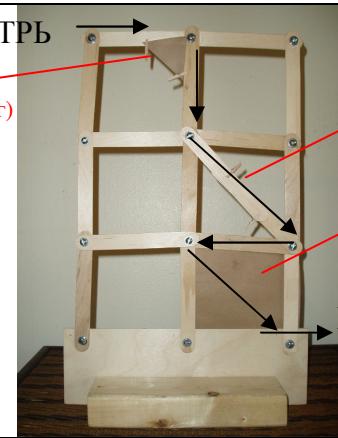
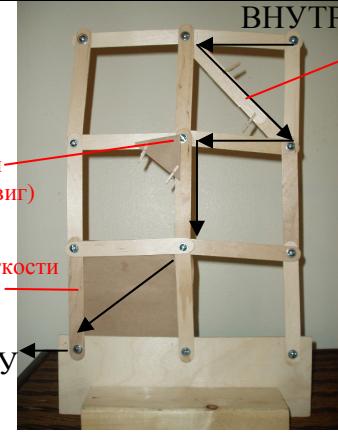
Задание № 1а

Имя: \_\_\_\_\_

Следующая таблица взята из источника Beven и др. 1995 г.

### Траектория действия нагрузки с дополнительными элементами конструкции

Используйте предоставленные материалы, чтобы добавить к модели вашей стены элементы способные перенести горизонтальное давление или нагрузку.

<p>1. Надавите на третий уровень стены. Если добавленные элементы вызвали траекторию действия нагрузки, то при нажатии на третий уровень основание стены должно сдвинуться. Если элементы добавлены неправильно, то стена не выдержит давления. Когда вы обнаружите, как лучше укрепить стену, нарисуйте чертеж и обозначьте траектории действия нагрузки стрелочками в соседней графе справа. Обозначьте, какие из элементов испытывают напряжение, сжатие, или поперечную силу.</p>	
<p>2. Спроектируйте и постройте ещё один набор дополнительных элементов конструкции. Обозначьте траекторию действия нагрузки. Основание модели должно двигаться, когда присутствует горизонтальное давление на верхние укрепления.</p>	
<p>3. Спроектируйте и постройте третий экземпляр дополнительных элементов конструкции. Используйте как можно меньше дополнительных элементов. Обозначьте траекторию действия нагрузки, и пусть преподаватель проверит вашу работу. Проверьте траекторию действия нагрузки, убирая лишние элементы, чтобы определить, сможет ли здание перенести давящую силу.</p>	

Задание № 1б

Имя: \_\_\_\_\_

Эти вопросы взяты из источника Beven и др. 1995 г.

Обсудите ответы на следующие вопросы. Кто-то из студентов должен записывать ответы за другими.

1. Что такое траектория действия нагрузки?

2. Почему необходимо добавить к стенам дополнительные элементы конструкции, чтобы они могли перенести горизонтально действующее давление?

3. Сколько дополнительных элементов пришлось добавить?

4. По какой причине давление проходит не по тому пути, который вы изобразили на схеме?

## КЛЮЧ К ОТВЕТАМ

Задание № 16

Имя: \_\_\_\_\_

Эти вопросы и ответы взяты из источника Beven и др. 1995 г.

Обсудите ответы на следующие вопросы. Кто-то из студентов должен записывать ответы за другими.

1. Что такое траектория действия нагрузки?

*Это траектория, по которой движется нагрузка (сила) землетрясения через элементы конструкции здания.*

2. Почему необходимо добавить к стенам дополнительные элементы конструкции, чтобы они могли перенести горизонтально действующее давление?

*При нормальных условиях на здания действует только вертикальное давление (притяжение). Когда добавляется горизонтальное давление, как при землетрясении, требуются дополнительные элементы конструкции для поддержки стен.*

3. Сколько дополнительных элементов пришлось добавить?

*Каждое сочленение нуждается всего в одном дополнительном элементе. Нужен всего лишь одно сочленение на каждом этаже, чтобы стена выдержала горизонтальное давление, проходящее через всю стену.*

4. По какой причине давление проходит не по тому пути, который вы изобразили на схеме?

*На схеме изображены части конструкции, способные перенести нагрузку давлением. Если бы было больше одного участка, нагрузка (сила) была бы направлена на обе части.*