

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ЗДАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Мурашко А.В., Кобский В.Н., Арсирий А.Н., Безушко Д.И.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

На сегодняшний день существует необходимость в определении фактической сейсмостойкости как существующих, так и проектируемых зданий и сооружений [10]. Разрабатываемые методы расчетов основных несущих конструкций зданий не всегда могут дать достаточно объективный и правильный ответ на этот вопрос. В таких случаях прибегают к экспериментальному анализу сейсмостойкости конструкций зданий и сооружений: начиная с испытаний по определению характеристик материала отдельных конструктивных элементов, и заканчивая натурными испытаниями целых зданий. Более достоверные результаты, естественно, приносит комплексное исследование зданий, включающее динамические и статические испытания всего здания, крупных моделей отдельных фрагментов и узлов здания, элементов конструкции и физико-механические испытания материала. Такие комплексные исследования должны сочетаться с детальными численными исследованиями, выполняемыми на основе полученных экспериментальных данных. Только такой метод исследования может полно и объективно раскрыть все особенности реальной работы конструкций и послужить базой для оценки фактической сейсмостойкости.

Динамические испытания являются частью исследований, проводимых на основе комплексной методики экспериментальных исследований действительной работы конструкций зданий.

Помимо динамических испытаний натуральных объектов, проводят испытания моделей зданий в $1/3$ — $1/5$ натуральной величины, фрагментов и образцов конструктивных элементов сооружений, а также исследования физико-механических свойств материалов, из которых изготовлен объект испытаний [1].

Конечная цель испытаний и теоретических исследований для каждого из объектов — уточнение действительной работы конструкций и получение на экспериментальной основе расчетной схемы здания или сооружения, которая будет учитывать реальные динамические характеристики конструкций и материала.

На сегодняшний день применяются следующие методы экспериментального определения сейсмостойкости зданий и сооружений:

1. Вибрационный метод.
2. Взрывной метод.
3. Метод «сброс нагрузки».
4. Ударный метод.
5. Испытания моделей здания.
6. Метод диагностики микросейсмических колебаний.

Для комплексного анализа эффективности этих методов в данной работе приводится следующая классификация по пяти критериям:

1. Класс последствий зданий и сооружений, для которых можно рекомендовать применение метода (в соответствии с [8]):

СС3 - для объектов (зданий и сооружений) повышенной опасности, определенных в соответствии с законодательством;

СС2 - для высотных жилых и общественных зданий;

СС1 - для жилых и общественных зданий массового строительства;

2. Сложность проведения испытаний:

С1 – испытания не требуют возбуждения колебаний, используются микросейсмические процессы природного либо техногенного характера;

С2 – воспроизведение динамической нагрузки не требует особых условий и дорогостоящей спецтехники;

С3 – испытания проводятся в лабораторных или натуральных условиях при помощи, специально разработанных, механизмов;

3. Соответствие воздействия реальному землетрясению

СВ1 – частично отражает сейсмическое воздействие

СВ2 – воздействие аналогично реальному землетрясению

СВ3 – собственно землетрясение

4. Местность, в которой рекомендуется применить метод:

М1 – жилые районы городов, деревни, поселки;

М2 – промышленные районы, полигоны;

М3 – лабораторные условия.

5. Влияние метода исследования на испытываемый объект.

Критерием оценки влияния метода исследования на объект предлагается степень повреждения установленная в шкале ДСТУ Б В.1.1-28:2010 [9], табл.1.

Для проведения динамических испытаний, помимо источников колебаний, необходимо иметь комплект регистрирующей аппаратуры, которая с достаточной точностью и надежностью могла бы зафиксировать испытательные процессы. Ввиду того что для всех

видов испытаний необходим схожий комплект аппаратуры, то в данной классификации регистрирующая аппаратура рассматриваться не будет.

Табл.1. Степень повреждения зданий

Степень повреждений d	Классификация повреждений	
	Несущие (конструктивные) элементы	Ненесущие (второстепенные) элементы
0	Повреждения отсутствуют	Повреждения отсутствуют
1	Повреждения отсутствуют	Легкие повреждения, которыми пренебрегают
2	Легкие повреждения, которые снижают несущую способность	Умеренные повреждения
3	Умеренные повреждения, которые существенно снижают несущую способность	Тяжелые повреждения, возникает вероятность причинения убытка жизни и/или здоровью людей
4	Тяжелые повреждения, состояние зданий близкий к предельному, несущая способность исчерпана, частичные обрушения. Высокая вероятность ранений и гибели людей	Очень тяжелые повреждения. Отказ, выход из строя
5	Обрушение зданий	Обрушение зданий

1. Вибрационный метод.

Вибрационный метод заключается в возбуждении и исследовании вынужденных колебаний объекта. В качестве возбудителя чаще всего применяют центробежный вибратор, в котором создается неуравновешенная центробежная сила при вращении эксцентрично расположенных грузов. Вибромашина либо жестко крепится к зданию, либо располагается на грунте рядом со зданием. В обоих случаях в здании возбуждаются вынужденные колебания. Чаще всего изучают направленные простые колебания, поэтому вибратор обычно имеет направленное действие, хотя известны случаи испытаний зданий ненаправленным вибратором. Для создания направленной силы обычно применяют вибратор, имеющий два, три, а иногда четыре вала, на которых вращаются сдвинутые друг относительно друга эксцентричные грузы. В зависимости от направления их вращения и взаимного положения происходит геометрическое сложение центробежных сил, в результате чего возникает вертикальная,

горизонтальная или наклонная пульсирующая сила, изменяющаяся по закону синуса.

При динамических испытаниях с помощью вибрационных машин достижимы довольно высокие уровни напряженности конструкции, приближающиеся в отдельных случаях к эквивалентным расчетным для землетрясения силой 5-6, а в некоторых случаях до 9 баллов.

Такие высокие уровни напряженного состояния конструкции, приближающиеся к расчетным, позволяют более уверенно судить о действительной расчетной схеме, сооружения, выявляемой при этих испытаниях.

Исходя из рассмотренной информации о вибрационном методе испытаний можно сказать, что данный метод используют для сооружений которые не эксплуатируются, расположены в нежилых или промышленных районах так как воздействия вибромашин могут привести к потере несущей способности элементов конструкции испытываемого объекта либо повредить близ лежащие сооружения. Для объектов расположенных в районах с густой застройкой данный метод может быть применен только при степени повреждения не превышающей 3.

Для реализации данного метода необходимы дорогостоящие вибромашин. Также процесс установки оборудования требует больших затрат времени и труда, что обусловлено весом вибромашин, их положением (на кровле, в заглублениях вблизи здания, зафиксированы на несущих стенах и т.д.).

Всевозможная конфигурация направления и характера волн, которой можно подвергнуть испытываемый объект, позволяет воспроизвести стабильные динамические нагрузки, а также привести колебания сооружения в состояние резонанса. Таким образом можно судить, что вибрационным методом можно достигнуть нагрузки аналогичной сейсмической причем высокой интенсивности.

2. Взрывной метод.

Одним из наиболее эффективных экспериментальных методов исследования сейсмостойкости зданий и сооружений является метод сеймовзрывных воздействий. Сейсмометрические измерения колебаний зданий и сооружений при взрывных воздействиях позволяют изучать поведение зданий и сооружений в условиях, приближающихся к реальным. В практике сеймовзрывных испытаний зданий и сооружений применялись три различные модификации проведения взрывных работ:

- взрывы в водной среде в искусственно созданных или естественных водоемах, не имеющих народнохозяйственного значения;

- взрывы группированных зарядов в скважинах диаметром 100-150 мм, многорядные, линейно-рассредоточенные, с замедленным взрыванием между рядами;

- взрывы направленного сейсмического действия на испытываемый объект при использовании плоских линейно-протяженных зарядов с односторонним боковым воздушным промежутком.

При имитации сейсмических колебаний заданной интенсивности, соответствующих реальным землетрясениям, необходимо моделировать такие параметры воздействия, как максимальная амплитуда колебаний, их частотный состав, длительность и форма огибающей сейсмического процесса. Взрывы во влажных и жидких средах позволяют имитировать сейсмическое воздействие заданной интенсивности с наименьшими затратами и отличаются от взрывов в грунтовых средах простотой выполнения, значительным сокращением времени проведения эксперимента и возможностью многократного его повторения. Вместе с тем оценки преимущества взрывов в воде для создания сейсмического эффекта заданной интенсивности у разных исследователей оказываются различными.

Технология проведения испытаний для каждого случая индивидуальна, так как характер взрывной волны зависит от множества факторов. Проведя исследование геологии местности и непосредственно испытываемого здания определяют место установки, глубину заложения и массу заряда. Таким образом можно достигнуть эффект квазирезонанса либо условий, приближенных к реальному сейсмическому воздействию[9].

Взрывное воздействие, передаваемое сооружению через грунт, не в полной мере моделируют землетрясение. Однако в колебаниях грунта при взрывах и землетрясениях имеется много общих признаков, что позволяет для большинства вопросов сейсмостойкого строительства, в частности, получения пространственной работы зданий и сооружений, считать возможным интерпретировать землетрясения с помощью взрывов.

Специфика взрывного метода позволяет проводить испытания только на не эксплуатируемых сооружениях, вдали от населенных пунктов на открытой местности.

Последствия испытаний могут привести к разрушению здания и повредить ближайшие сооружения [2].

Так как во время испытаний приходится работать с взрывоопасными материалами, требуется привлечение специалистов в вопросах взрывных работ. Устройство зарядов довольно трудоемкий процесс и нуждается также в спецтехнике (буровые машины). В некоторых случаях можно использовать динамические нагрузки вызванные промышленной разработкой горных пород.

Взрывные волны по своему характеру приближены к волнам, возбуждаемым землетрясением, что позволяет интерпретировать землетрясение с помощью взрывов. Достоверность таких испытаний можно считать высокой и схожей с реальным воздействием землетрясения.

3. Метод «сброса нагрузки».

Особенность этого метода заключается в по фрагментном исследовании здания, так как импульсная нагрузка прилагается к одному из несущих элементов каркаса здания.

Импульсная нагрузка достигается посредством мгновенного приложения нагрузки. Этот эффект достигается следующим образом, к необходимой конструкции присоединяют высокопрочный трос, между тросом и машиной, которая создает натяжение троса, устраивают специально откалиброванные вставки которые при движение машины разрушаются обеспечивая импульс определённой величины рис. 1.

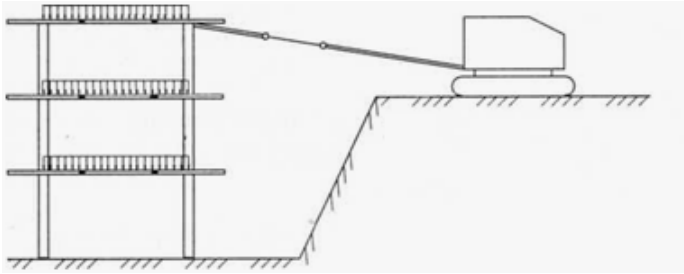


Рис. 1. Пример создания импульсной нагрузки на элементе здания.

Испытания проводят в несколько этапов, на которых используют вставки различной прочности. По результатам испытаний можно давать рекомендации по усилению, как отдельных конструкций, так и здания в целом[4].

Воздействие на объект, вызываемое методом «сброса нагрузки», локально и не представляет опасности для окружающих его сооружений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что этот метод применим в местностях М1-М3. Нагрузка на конструкцию может привести к ее разрушению, а в следствии и критическим повреждениям всего здания, что не дает возможности повторно провести эксперимент.

Технология достижения колебательного процесса довольно проста и не требует значительных трудозатрат. Основным пунктом в затратах на проведение исследований можно считать высокоточную аппаратуру и расстановку датчиков по сооружению.

Этот метод не может полностью воспроизвести воздействие землетрясения на сооружение, но может показать поведение отдельных частей здания при сильных динамических нагрузках. А также дает возможность определения основных динамических характеристик здания.

4. Ударный метод.

Возбуждающий импульс может быть создан ударом по зданию грузом (обычно весом от 0,2 до 2,0 т) с маятниковым подвесом, падением тяжелого груза на грунт рядом со зданием. В этих случаях, применяя обычную современную высокочувствительную аппаратуру, можно записывать свободные колебания здания. По этим данным можно определять периоды и форму собственных колебаний здания, характеристики затухания, влияние грунта на работу здания и некоторые другие параметры.

Этот метод исследований, однако, не может дать исчерпывающих данных о работе здания из-за невозможности точно определить

величину возбуждающего импульса, а также весьма низкого уровня деформаций (напряжений). Существенным недостатком данного метода является трудоемкость анализа полученных колебаний, которые чаще всего представляют собой суперпозицию различных форм собственных колебаний[1].

Применение ударного метода вызывает слабые динамические нагрузки которые не могут повлиять на целостность конструкции и здания в целом. Метод можно применять и к эксплуатируемым зданиям и к объектам, которые еще не введены в эксплуатацию.

Для проведения исследования нужен комплект высокочувствительной аппаратуры и корректная расстановка датчиков по сооружению. В зависимости от характера проведения эксперимента может потребоваться создание маятниковой системы, либо простейшее приложение нагрузки весом около 50 кг в определённой точке сооружения. Эксперимент можно повторять многократно для достижения наилучшего результата.

С помощью этого метода можно определить общий характер работы и частоту собственных колебаний здания. Метод не дает полной картины работы здания при воздействии землетрясения.

5. Испытание моделей зданий.

Одним из самых распространенных является метод испытания моделей зданий. Его распространение во многих странах повлекло накопление большого опыта в проведении подобных испытаний (рис. 2).

Колебания модели здания вызывается виброплатформой. Ее конструкция зависит от размеров и веса модели, движение платформы обеспечивается гидроцилиндрами на шарнирном соединении. Расстановка гидроцилиндров позволяет получить высокий спектр амплитуды и частот колебаний, а также вызывать Р и S волны. Также этот метод позволяет выполнять модели зданий любой формы и конструкции по подобиям существующих и проектируемых зданий.



Рис.2. Пример испытания на сейсмоплатформе до разрушения.

Этот метод не дает полного представления работы полномасштабного здания, так как невозможно добиться точного соответствия распределения масс и работы узлов проектируемого здания.

Испытания данным методом можно проводить в лаборатории либо на полигоне. Макет сооружения, как правило, невозможно использовать повторно, после проведения эксперимента он требует реставрации или полной замены.

Кроме комплекта записывающей аппаратуры для эксперимента необходима виброплощадка и сам макет здания. Это влечет за собой иногда существенные финансовые и трудозатраты.

Возможно воссоздать любую конфигурацию здания и влияющих на него нагрузок, что позволят определить характер работы будущего сооружения при землетрясении. Макет не может полностью воспроизвести жесткостные и массовые характеристики здания, что влечёт за собой не точное представление о восприятии нагрузок полномасштабным сооружением.

6. Метод наблюдений микросейсмических колебаний.

С развитием аппаратно-методической базы микросейсмические наблюдения приобретают все больший вес в геофизических

исследованиях, причем преимущественно для практических применений. Это связано с их дешевизной и технологической простотой исполнения, а также с возможностью применения в практически любых ситуациях (например, для тела плотин, стесненных условий площадки и пр.). Все это делает микросейсмические наблюдения приоритетными для целей рекогносцировки перед детальными исследованиями и для долговременного мониторинга[5].

В настоящее время понятие «микросейсмические наблюдения» объединяет целый набор технологий, основанных на анализе волн разного генезиса и типов (эмиссия, техногенные сигналы, поверхностные волны и пр.). Существенно, что зарегистрированное волновое поле может параллельно обрабатываться различными способами, опирающимися на разные составляющие микросейсм, для получения принципиально разной информации о среде. Рассмотрим две составляющие среднечастотных (0,5-10 Гц) микросейсм: поверхностные волны Рэлея и техногенные монохроматические колебания (пики в спектре микросейсм), возбуждаемые в геологической среде при работе электрических машин. Примеры из практики иллюстрируют возможность комплексирования разных методик, а также использование техногенных пиков для структурных и геодинамических исследований.

Из изложенного выше следует, что использование микросейсм для решения строительных задач открывает большие возможности. Изучение микроколебаний, которые ранее относились к разряду помех, дает огромный материал для анализа. Это особенно важно при исследовании слабоактивных платформенных территорий. Главным преимуществом является возможность получить за короткое время богатую и достоверную информацию для анализа[6].

Анализ микросейсмических колебаний можно проводить на любом сооружении без вреда для него. Так как колебания возникают без вмешательства исследователей этот метод можно определить, как самый простой. Но процесс распознавания волн и определения их природы является весьма трудоемким. Микросейсмические волны могут дать довольно достоверную информацию о пространственной работе сооружения, а также возможных последствия при более сильном землетрясении.

Таким образом, описанные выше методы испытаний зданий динамическими нагрузками можно представить в следующей форме (таблица 2).

Выводы

1. Проведен сравнительный анализ существующих методов экспериментальной оценки фактической сейсмостойкости зданий.

2. Предложена система критериев, позволяющая системно оценить рекомендуемую сферу применения существующих методов.

3. Разработан подход к выбору метода оценки фактической сейсмостойкости, который на основании предложенных критериев позволяет подбирать метод в зависимости от конкретных условий объекта

Таблица 2. Сводная таблица по выбору метода испытаний

Методы испытания	Класс последствий зданий и сооружений для которых рекомендуется применить метод	Сложность проведения испытания	Соответствие воздействия реальному землетрясению	Местность в которой можно применить метод	Влияние на испытываемый объект
Вибрационный	CC2-CC3	C3	CB2	M2	2-4
Взрывной	CC1-CC3	C2	CB1-CB2	M3	0-3
«Сброс нагрузки»	CC1-CC3	C2	CB1	M2	0-3
Ударный	CC1-CC3	C2	CB1	M1	0-1
Испытания моделей здания	CC2-CC3	C2	CB2	M3	2-5
Метод наблюдений микросейсмических колебаний	CC1-CC3	C1	CB3	M1-M3	0-1

Summary

A review of the building's testing methods by dynamic loads, their systematization and recommended limits of applicability in the actual seismic resistance determining described in the article.

Литература

1. Шапиро Г. А., Ашкинадзе Г. Н., Симон Ю. А. Вибрационные методы испытания жилых и общественных зданий. Государственный комитет по гражданскому строительству архитектуре при Госстрое СССР. Москва-1967 г.

2. Михайлов А.А. «Определение жесткостных и динамических характеристик зданий как пространственных систем при их расчете на сейсмическое воздействие». Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Дальневосточный ордена трудового красного знамени политехнический институт им. В. В, Куйбышева. Владивосток – 1973 г.

3. Заренко В. А., Захаров И. Д., Савин С. Н., Шнитковский А. Ф.. Современные методы технической диагностики строительных конструкций, зданий и сооружений. Санкт-Петербург – 2000 г.

4. I. Iskhakov, Y. Ribakov. «Использование результатов динамических испытаний для расчета сейсмостойких железобетонных конструкций» - 2000 г.

5. Капустян Н. К., Антоновская Г.А., Нго Тхи Лы «Инновационные технологии использования микросейсм для оценки состояния инженерных сооружений и процессов их основаниях (на примере плотин ГЭС)», ИФЗ РАН, Москва, ИЭПС УрО РАН, Архангельск, ИГ ВАНТ, СРВ.

6. Юдахин Ф. Н. Микросейсмические колебания - важный источник информации. Вестник УрО РАН №33, 2010, 65-73с <http://www.iie-uran.ru/doc/33/65-73.pdf>

7. Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Ордынская А.П. и др. «Оценка повреждаемости зданий и сооружений по результатам сейсмозрывных и вибрационных испытаний опытных объектов»Институт земной коры СОРАН.

8. ДБН В.1.2-14-2009. СНББ Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. - К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009.- 32с.

9. ДСТУ Б В.1.1-28:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності». - К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010.- 79с

10. O. Murashko, O. Adamov., “A New Approach To The Dynamic Certification In Ukraine”, Proceedings of the 5th International Conference of Young Scientists GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION, November 21–23, 2013, Lviv, Ukraine, pp112-113.

