
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.042.7

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ
СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННОГО ЗДАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ***Чылбак А.А.**Тувинский государственный университет, Кызыл***THE TECHNIQUE OF EVALUATING STRENGTH STRUCTURE
LOCATED ON THE SEISMIC ISOLATION SYSTEM***Chylbak A.A.**Tuvan State University, Kyzyl*

Предложена методика оценки сейсмочности сооружения, расположенного на системе сейсмоизоляции. Методика позволяет существенно уменьшить объем анализируемой информации и в то же время использовать основные рекомендации [1] по оценке сейсмостойкости конструкций. Методика основана на сравнительном анализе спектров отклика ускорений, полученных в результате прямого динамического расчета его реакции, с нормативными спектрами для несейсмоизолированного здания.

Ключевые слова: спектр отклика, сейсмостойкость, сейсмоизоляция.

The technique of evaluating strength structure located on the seismic isolation system. The technique allows to greatly reduce the amount of test information and at the same time, use the main recommendations [1] evaluation of earthquake resistance of structures. The method is based on a comparative analysis of response spectra of acceleration resulting from the dynamic calculation of the reaction, with spectra for none- seismic isolated buildings.

Key words: seismic design, response spectrum, seismic isolation.

В настоящее время анализ прочности сооружений при сейсмическом воздействии производится на базе линейно-спектральной теории сейсмостойкости, в соответствии с которой можно оценить сейсмические нагрузки и усилия в элементах линейной системы. Исходными данными для расчета являются уровень сейсмического воздействия A , зависящий от балльности землетрясения, и спектр отклика ускорений, т.е. зависимость коэффициентов динамичности сеймовоздействий β от собственных частот сооружения. Если сооружение поставлено на систему сейсмоизоляции (ССИ), то вышеуказанный подход не приемлем. Действительно, силовая характеристика сейсмоизоляционных опор не линейна.

Для сооружения, расположенного на таких сейсмоопорах, принцип суперпозиции нагрузок неприменим, что делает невозможным прямое применение СНиП II-7-81*. Если в некоторых случаях характеристики

сейсмоизоляторов все же удастся линеаризовать, то период T основного тона собственных колебаний сооружения оказывается больше $2\div 3$ с (иначе сейсмоизоляция не эффективна). Согласно СНиП II-7-81*, значения спектра отклика ускорений для $T \geq 2$ с принимаются постоянными: $\beta=0,8$. Таким образом, установить реальный эффект сейсмоизоляции с помощью нормативных спектров не удастся. Поэтому анализ эффективности ССИ проводят, выполняя так называемый прямой динамический расчет, т.е. пошаговое интегрирование нелинейной системы «сооружение–ССИ». Расчет должен проводиться для представительной выборки сейсмозодействий. Таким образом, в результате проведенных расчетов исследователь имеет дело с огромным информационным массивом (значениями внутренних усилий в узлах конечно-элементной модели в различные моменты времени и для различных воздействий), малоприменимым для проектного анализа. Ниже предложена методика оценки сейсмостойкости сейсмоизолированных сооружений, позволяющая существенно уменьшить объем анализируемой информации и, в то же время, использовать основные рекомендации СНиП II-7-81* по оценке сейсмостойкости конструкций. Последнее обстоятельство важно тем, что в СНиП II-7-81* аккумулирован огромный проектный и экспериментальный опыт сейсмостойкого строительства, в частности, позволяющий надежно учесть неупругое поведение сооружения (появление трещин и т.д.).

Сущность предлагаемой методики в следующем: в качестве исходных данных для расчета используются параметры, полученные при обработке законов движения кинематического фундамента (КФ). Расчет движения КФ может быть выполнен с помощью программ, учитывающих нелинейности в ССИ, таких как ING+. Анализ напряженно-деформированного состояния при этом не проводится.

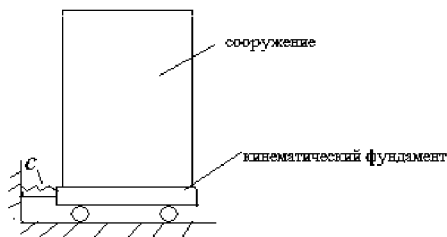


Рис. 1. Общий вид сейсмоизолированного здания

Для перехода от закона движения КФ к нагрузкам на здание используется идея поэтажных спектров, т.е. исходя из параметров движения КФ, определяются эквивалентные статические нагрузки, а потом проводится прочностной расчет. Такой подход позволяет в дальнейшем ввести понижающий коэффициент K_1 .

Таким образом, методика предполагает следующий порядок расчета:

1) выполняется прямой динамический расчет системы «сооружение – ССИ». Расчет производится для представительной выборки воздействий, сгруппированных по балльности. В результате расчета находятся законы движения КФ сооружения;

2) для каждого закона движения КФ находится нормированный спектр отклика ускорений на MathCAD;

3) производится статистическая обработка спектров отклика и максимальных (по времени) значений абсолютных ускорений КФ. В результате обработки находятся:

а) усредненный спектр отклика ускорений (усреднение производится по всем спектрам независимо от балльности);

б) средние значения абсолютных ускорений КФ ($A_{\max}^{\text{кф}}$), соответствующие различным балльностям землетрясений (при статистической обработке спектр отклика находится как оценка математических ожиданий плюс оценка стандартного отклонения, а пиковые значения ускорений КФ ($A_{\max}^{\text{кф}}$) как оценка математических ожиданий;

4) указанные средние значения используются как исходные данные для расчета в соответствии с рекомендациями СНиП II-7-81*.

В качестве примера применения этой методики приведен анализ сейсмостойкости девятиэтажного панельного здания, расположенного на резинометаллических опорах (РМО). Вес здания 6000 т, здание расположено на 37 РМО, каждая грузоподъемностью 280 т. В качестве исходных данных для проведения динамических расчетов были использованы акселерограммы реальных землетрясений (Холистера, Броули, Кишиневского, Спитакского, Ташкентского, Карпатского землетрясения), а также акселерограммы исследовательского центра в Калифорнии (Эль Центро), захватывающие высоко-, средне- и низкочастотные составляющие. Ускорения грунта были разбиты на три группы, соответствующие интенсивности землетрясений 7, 8 и 9 баллов. Каждая группа воздействий состояла из 10 акселерограмм.

Для каждой акселерограммы был построен нормированный спектр отклика ускорений на MathCAD. Использовалась обычная процедура построения спектров ускорений. Спектры ускорений находились при значении относительного затухания $\zeta=0,05$.

Спектральный коэффициент динамичности находился по формуле:

$$\beta = \frac{\ddot{x}_a(f)}{\max_t |\ddot{x}_0(t)|}$$

После того, как были получены спектры отклика для всех акселерограмм, была произведена их статистическая обработка.

Сравнение спектра, полученного после статистической обработки, с нормативными показано на рис. 2. Полученные результаты показывают, что выбранные акселерограммы имеют такой же характер, как нормативный спектр отклика. Поэтому ансамбль внешних воздействий можно считать представительным.

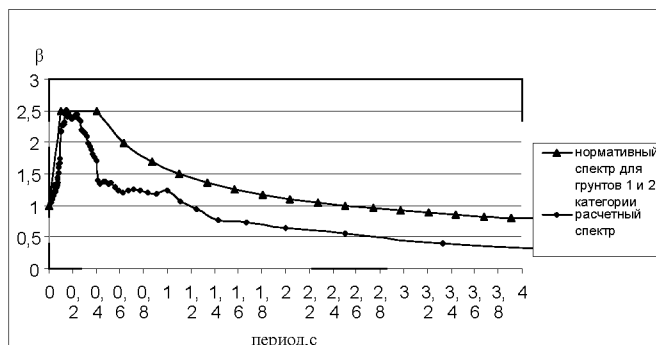


Рис. 2. Сравнение полученного спектра с нормативным спектром отклика

Каждая акселерограмма, описывающая ускорение грунта, подавалась на вход математической модели «сооружение – ССИ». Расчет проводился с помощью ПК «MicroFe» (опция «нелинейный анализ»). Из полученных решений были установлены законы движения КФ здания.

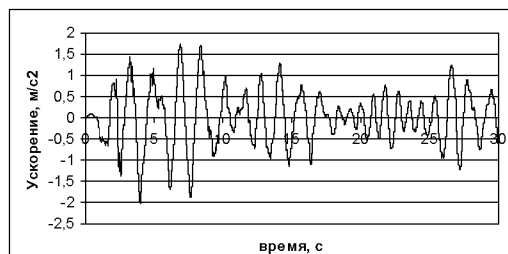


Рис. 3. Ускорение в КФ при 9 бальном воздействии
(максимальное ускорение грунта $3,6 \text{ м/с}^2$)

Следующим этапом расчета было определение спектров отклика, соответствующих абсолютным ускорениям в КФ. Результаты статистической обработки этих спектров показаны на рис.4.

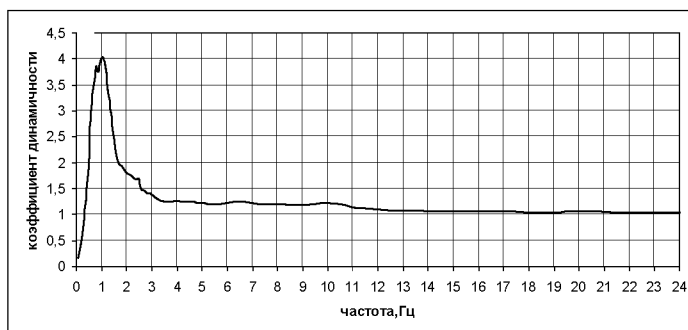


Рис. 4. Усредненный спектр отклика, соответствующий движению КФ

Статистическая обработка $A_{\max}^{\text{кф}}$ приведена в таблице 1.

Таблица 1

A (в долях g)			
Бальность	7	8	9
КФ	0,08	0,11	0,23
СНиП	0,1	0,2	0,4

Если считать, что внешними воздействиями на здание являются движения КФ, то в соответствии с СНиП II-7-81* для расчета сейсмостойкости нужно определить частоты здания, считая его жесткозашемленным в КФ. Эти частоты, определенные с помощью ПК «MicroFe», даны в таблице 2.

Таблица 2

№ формы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота, Гц	3,84	5,126	6,343	14,65	15,24	16,25	19,31	22,47	23,56	23,84
Период, с	0,26	0,195	0,157	0,068	0,065	0,061	0,052	0,044	0,042	0,042

Сравнивая данные таблицы 2 и спектры, показанные на рис. 4, видим, что сейсмоизоляция позволила «отстроиться» от резонансных частот $f \geq 3,8$ Гц.

Эффект ССИ виден из таблицы 3, в которой для разных собственных частот приведены произведения βA , определяющие уровень эквивалентной статической нагрузки для каждой собственной формы.

Таблица 3

№ формы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\beta_1 * A_{\text{снп}}$	1	1	1	0.809	0.793	0.769	0.708	0.664	0.654	0.6518
$\beta_1 * A_{\text{кф}}$	0.279	0.279	0.279	0.238	0.237	0.237	0.243	0.233	0.227	0.227

В рассматриваемом случае сейсмоизоляция снизила нагрузки по всем формам более чем в 3 раза.

Предлагаемая методика позволяет уменьшить объем выходной информации и упростить анализ результатов расчета по сравнению с прямым динамическим расчетом; использовать коэффициенты понижения нагрузки K_1 , учитывая тем самым возможность частичного разрушения сооружения.

Библиографический список

1. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах»: утв. Госстроем СССР 15.06.81 : взамен главы СНиП II-A.12 – 69* : введ. 01.01.82 / Центр. науч.-исслед. и проект.-эксперим. ин-т комплекс. проблем строительных конструкций и сооружений им. В.А. Кучеренко и др. – переизд. [с изм.] по состоянию на 01.01.2000. – М.: ГУП ЦПП, 2000. 44 с. + прил. 2: 10 карт.



Bibliograficheskij spisok

1. SNiP II-7-81*. Stroitelstvo v sejsmicheskikh rajonakh": utv. Gosstroem SSSR 15.06.81 : vzamen glavy SNiP II-a.12 - 69* : vved. 01.01.82 / tsestr. nauch.-issled. i proekt.-eksperim. in-t kompleks. problem stroitelnykh konstruksij i sooruzhenij im. V.A. Kucherenko i dr. - pereizd. [s izm.] po sostoyaniyu na 01.01.2000. - M.: GUP TSPP, 2000. 44 s. + pril. 2: 10 kart.

Чылбак Алдынай Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры ПГС, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, E-mail: ertnach@list.ru

Chylbak Aldynai – Candidate of technique, Senior lecturer, Tuvan State University, Kyzyl, E-mail: ertnach@list.ru

УДК 624.042.7

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРОЩЕННОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

Чылбак А.А.

Тувинский государственный университет, Кызыл

THE POSSIBILITY OF SIMPLIFIED CALCULATION MODELS IN SELECTING THE PARAMETERS OF SEISMIC ISOLATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Chylbak A.A.

Tuvan State University, Kyzyl

Подбор оптимальных параметров систем сейсмоизоляции, включающих нелинейные элементы представляет собой сложную вычислительную задачу. В статье рассматривается возможность использования упрощенных расчетных моделей при выборе параметров систем сейсмоизоляции зданий и сооружений.

Ключевые слова: расчетная схема, сейсмоизоляция, относительные перемещения, абсолютные ускорения.

Selection of optimal parameters of seismic isolation systems with non-linear elements is a difficult computational task. The article describes the possibility of simplified calculation models in selecting the parameters of seismic isolation of buildings and structures.

Key words: design scheme, seismic isolation, the relative displacement, absolute acceleration.

В большинстве из систем сейсмоизоляции (ССИ) скомпонованы упругие и демпфирующие устройства, которые работают параллельно. Поэтому силовая диаграмма систем сейсмоизоляции получается суммированием диаграмм отдельных элементов. Типовая силовая диаграмма упругого элемента