

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗДАНИЯ С СИСТЕМОЙ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ В ВИДЕ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР

А.А.БУБИС, зав. ЛССИМС,

А.Я.ЮН, мл. науч. сотрудник,

С.О.ПЕТРЯШЕВ, Н.О.ПЕТРЯШЕВ, инженеры

(ЦИСС ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, Москва)

В последнее время в нашей стране наблюдается растущий интерес инженеров к внедрению систем сейсмоизоляции при строительстве зданий в сейсмически опасных районах. Одним из самых распространенных методов сейсмоизоляции является установка в конструкции здания резинометаллических опор (РМО) из высокодемпфирующей резины. В статье приводится методика расчета зданий, в которых проектом предусмотрено использование резинометаллических опор и исследуется реакция подобных зданий на действие сейсмических нагрузок.

Ключевые слова: резинометаллическая опора, сейсмоизоляция, спектр реакции, сейсмические нагрузки, сейсмическое воздействие.

Применение систем сейсмоизоляции в районах сейсмичностью 7-9 баллов, позволяет снижать сейсмические нагрузки в несколько раз в зависимости от конкретных условий площадки и конструктивного решения здания, следовательно, снижать и стоимость строительства.

Одним из самых эффективных методов сейсмоизоляции является установка в конструкции здания резинометаллических опор.

Поскольку резинометаллические опоры являются элементами с ярко выраженным нелинейным характером работы при действии сейсмических нагрузок, встает вопрос о том, каким образом нужно учитывать влияние данных элементов на поведение несущих конструкций зданий при расчете в автоматизированных программных комплексах.

Специалистами Центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко был предложен метод расчета зданий с резинометаллическими опорами на действие сейсмических нагрузок, с использованием модифицированных спектров сейсмического воздействия. Такой способ значительно уменьшает требования к вычислительным мощностям ПК за счет того, что позволяет проводить расчет сооружения в упругой постановке.

Суть данного метода заключается в том, что расчет здания выполняется на поэтапной расчетной модели. На первом этапе расчета в соответствии с указаниями п.5.5 СП 14.13330.2011 [1] производится определение сейсмических нагрузок на изолированную часть здания. Для учета нелинейного характера работы системы сейсмоизоляции, при определении расчетных значений узловых сейсмических нагрузок используется специально полученный график спектра ускорений. Построение графика спектра ускорений осуществляется в программном «фильтре», написанном на языке Fortran, на основе анализа региональных особенностей, конструктивных решений и грунтовых условий непосредственно на площадке строительства. При расчете сейсмических нагрузок спектр ускорений задается в расчетный комплекс вместо графика коэффициентов динамичности.

После определения сейсмических нагрузок выполняется статический расчет изолированной части здания,

результатом которого являются значения усилий, перемещений, армирование конструкций здания.

Расчет неизолированной части здания ведется с использованием формул, графиков и зависимостей, приведенных в СП 14.13330.2011 [1], при этом изолированная часть здания учитывается как масса, сосредоточенная в точках установки РМО.

Модификация динамического воздействия для расчета зданий с системой сейсмоизоляции

Принципиально процесс получения графика спектра ускорений можно описать следующим образом: для каждого объекта имеется набор акселерограмм, учитывающий особенности площадки строительства. Первоначально определяется, какие сигналы необходимо модифицировать для учета особенностей системы сейсмоизоляции. В случае, когда РМО устанавливаются в уровне фундаментной плиты, такими являются акселерограммы, характерные для данной площадки. Если РМО устанавливаются выше отметки 0.00м, то нужно учитывать затухание воздействия при прохождении через нижележащие конструкции. Для этого проводится расчет пространственной модели здания в упругой постановке на действие акселерограмм землетрясений, прогнозируемых для данной площадки строительства. При этом РМО моделируются стержневыми элементами большой жесткости. Результатом такого расчета являются записи ускорений (скоростей, перемещений) в уровне низа сейсмоопор.

Для учета нелинейных свойств РМО и значительной величины затухания ускорений сигналы, определенные на первом этапе, пропускаются через программу-фильтр, на выходе из которой получают модифицированные акселерограммы. Если в здании установлено несколько типов сейсмоопор, модифицированный сигнал находится для каждого типа отдельно.

Следующим этапом является определение спектров реакции по ускорениям от получившегося набора модифицированных сигналов. Спектр ускорений, использующийся при расчете изолированной части здания, является огибающей по максимальным значениям соответствующего набора спектров реакции. Общая схема проведения расчета

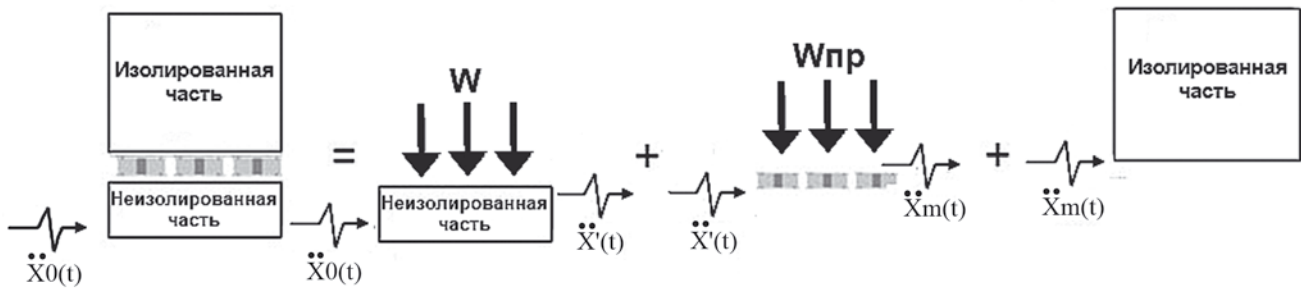


Рис.1. Схема проведения расчета на модифицированный сигнал:
 W – вес изолированной части здания;
 Wпр – проектная несущая способность РМО.

здания с системой сейсмоизоляции при использовании модифицированного сигнала показана на рис.1.

Реализация «фильтра»

Рассмотрим далее принцип работы программы-фильтра, на примере сейсмоопоры GZY700V5A. На основании проектных данных для сейсмоопоры строится ее диаграмма работы (рис.2).

Система, образованная сейсмоопорой с приходящим на нее весом от здания (несущая способность РМО), представляется в виде осциллятора (рис.3)

Для данной системы решается дифференциальное уравнение движения (1):

$$\ddot{y}(t) + FQ\dot{y}(t) + ky(t) = \ddot{X}(t), \quad (1)$$

где $k = w^2$ жесткость опоры

$$w_{1/2} = \begin{cases} 2\pi / P_1, & \text{если } \ddot{y} \leq RY \\ 2\pi / P_2, & \text{если } \ddot{y} > RY \end{cases} \text{ — круговая частота}$$

$$P_1 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_u g}} \text{ и } P_2 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_d g}} \text{ — собственные}$$

периоды колебания системы,

где W — вес конструкции, приложенный к сейсмоопоре (проектная несущая способность РМО),

k_u -горизонтальная начальная жесткость, k_d — горизонтальная жесткость в пластической стадии, $FQ = 2 * CD * w$ — затухание, CD — коэффициент демпфирования. $RY = d_1 * w_1^2$ — максимальное допустимое значение ускорений до начала пластики для рассматриваемой сейсмоопоры.

$$R(t) = \begin{cases} w_1^2 y(t) & \text{если } \ddot{y}(t) \leq RY \\ RY + w_2^2 (y(t) - d_1) & \text{если } \ddot{y}(t) > RY \end{cases}$$

— окончательный модифицированный сигнал.

После решения данного уравнения, мы получаем записи ускорений, скоростей и перемещений в уровне верха РМО — это модифицированный сигнал, который действует на изолированную часть здания. От данного сигнала по ускорениям строится спектр реакции для изолированной части здания.

Пример расчета

Рассмотрим применения вышеописанного метода на примере расчета высотного здания «Многоквартирного multifunctional жилого комплекса по адресу: г.Сочи, Хостинский р-н, Курортный пр-т, 108».

По функциональному назначению здание является

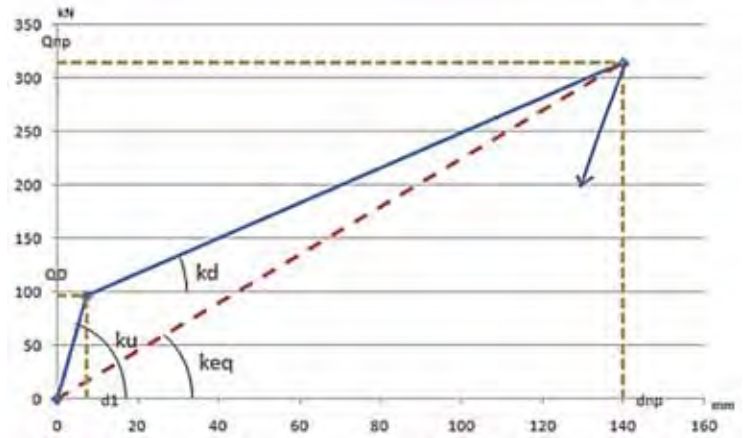


Рис.2. Диаграмма работы РМО на примере сейсмоопоры GZY700V5A:
 Qd - горизонтальная сила в точке начала пластики;
 Qnp - горизонтальная сила при 100% от проектного перемещения;
 d1 - горизонтальное перемещение в точке начала пластики;
 dnp - горизонтальное проектное перемещение;
 ku - начальная горизонтальная жесткость;
 keq - эквивалентная жесткость при 100% проектном перемещении;
 kd - горизонтальная жесткость в пластической стадии.

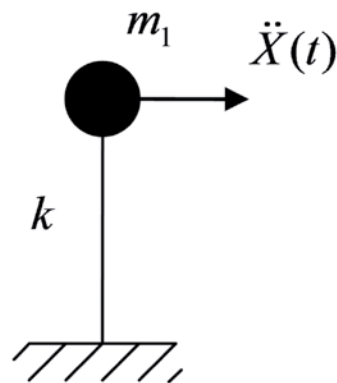


Рис.3. Схема представления конструкции

жилым и включает в себя помещения автостоянок, кафе, жилой зоны. Здание жилого комплекса сложное в плане, оборудовано закрытыми и панорамными лифтами и лестничными клетками. Сейсмичность площадки 9 баллов по карте ОСР -97В.

Здание включает высотный жилой блок и 3-х этажную автостоянку, отделенные друг от друга горизонтальным антисейсмическим швом, в котором устроена система сейсмоизоляции. Здание предусматривает: два подземных этажа, цокольный этаж, первый этаж, антресоль и 25 жилых

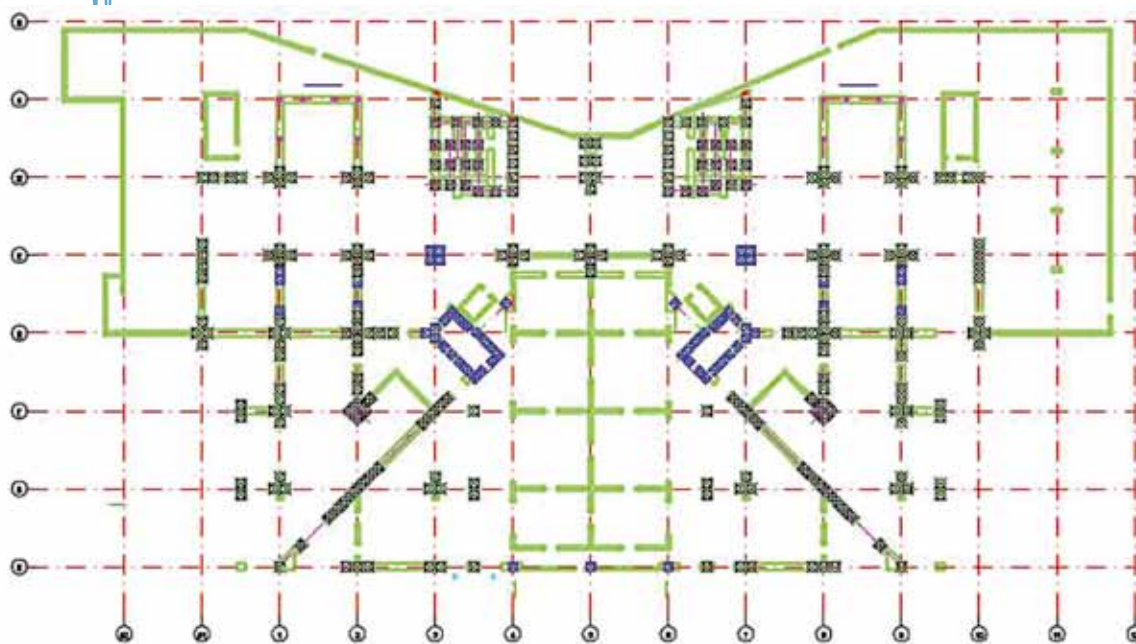
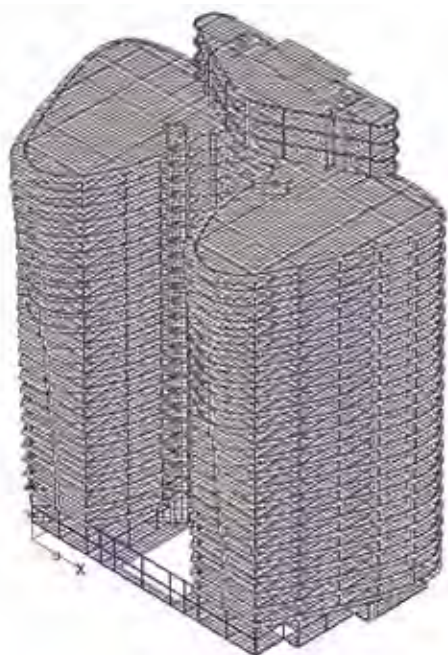


Рис.4. Схема расстановки РМО

а)



б)

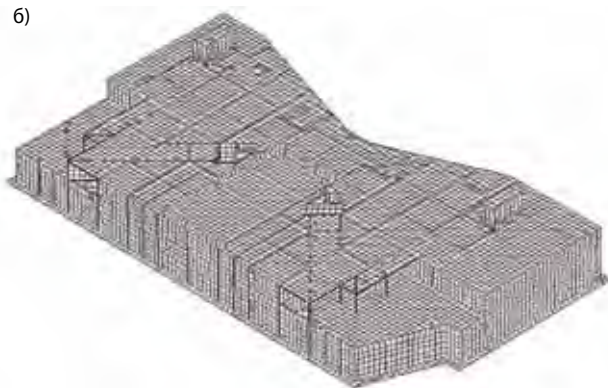


Рис.5. Расчетная модель здания:
а) изолированная часть здания;
б) неизолированная часть.

этажей и еще два уровня этажа — смотровые площадки над крышей, с максимальной высотой объекта в +84,00 м, и соответственно +94,50 м.

Пространственная жесткость здания жилого комплекса обеспечивается совместной работой системы вертикальных железобетонных стен и диафрагм, колонн и горизонтальных дисков монолитных железобетонных перекрытий. В подземной части строения жесткая конструкция заключена в жесткую коробчатую систему, образованную подпорными стенами котлована, контурными железобетонными стенами и фундаментной плитой.

Проектом предусмотрена установка в здании 311 резинометаллических опор 3-х типов: GZY350V5A, GZY700V5A,, GZY800V5A. Производителем опор являлась китайская фирма «Shantou Vibro Tech Ltd.»

Расчет конструкций здания

Расчеты конструкций здания выполнялись с применением автоматизированного программного комплекса Ing + 2010.

Для расчетов на особое сочетание нагрузок комплексная модель была разделена на изолированную и неизолированную части (рис.5).

В изолированной части здания опоры моделировались стержнями большой жесткости, на свободные концы которых накладывались граничные условия. Параметры граничных условий, а именно, жесткость в горизонтальном и вертикальном направлениях, принимались в соответствии с параметрами РМО при 100% проектного смещения.

Далее алгоритм расчета выглядит следующим образом:

1. Рассчитывались параметры собственных форм колебаний изолированной части здания (табл.1).
2. Вычислялись значения сейсмических нагрузок. При этом, вместо графика коэффициента динамичности, представленного в СП 14.13330.2011 использовался график спектра ускорений (рис.7), учитывающий нелинейный

Таблица 1.

Динамические характеристики изолированной части здания

№ формы	Период, с	Частота, Гц
1	3.094	0.323
2	2.923	0.342
3	2.906	0.344
4	0.734	1.362
5	0.589	1.698
6	0.567	1.764
7	0.366	2.732
8	0.292	3.425
9	0.252	3.968
10	0.249	4.016

характер работы системы сейсмоизоляции. Для площадки строительства на основании микрорайонирования имеется набор синтезированных акселерограмм, при обработке которых получены модифицированные сигналы и их спектры реакции (рис.б) огибающая, по которым является расчетным спектром.

В связи с этим формула для расчета сейсмических нагрузок, указанная в СП 14.13330.2011, принимает следующий вид:

$$S = m_k A K_1 K_\psi K_A \eta,$$

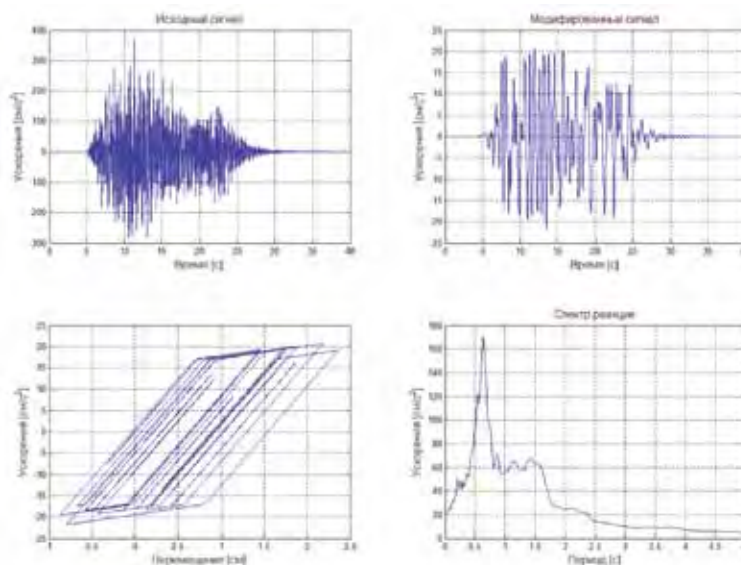


Рис.б. Исходная синтезированная акселерограмма для площадки строительства, умноженная на $k_0=1.5$, модифицированный сигнал для РМО GZY700V5A, и диаграмма зависимости ускорения перемещения в верхней части сейсмоопоры, спектр реакции по ускорения для полученного сигнала.

Таблица 2.

Суммарные горизонтальные и вертикальные нагрузки на здание без РМО

Нагрузка №	Опорные реакции		
	Rx/Ax [KN]	Ry/Ay [KN]	Rz/Az [KN]
1	— 0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 909756.68/909756.68
2	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 178098.02/178098.02
3	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 29055.89/29055.89
4	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 184687.02/184687.02
5	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 3519.65/3519.65
6	3085.96/-3085.96	1019.51/1019.51	0.00/0.00
7	3.91/-3.91	5250.78/-5250.78	0.00/0.00
8	36771.35/-36771.35	— 99.02/99.02	— 5.97/5.97
9	107292.15/-107292.15	3832.96/3832.96	66.10/-66.10
10	58345.37/-58345.37	505.11/-505.11	— 126.83/126.83
11	— 3742.81/3742.81	151324.12/-151324.12	2386.00/-2386.00
12	— 592.75/592.75	36605.95/-36605.95	— 6324.07/6324.07
Сумма	201163.17/-201163.17	198439.41/-198439.41	— 1309122.03/1309122.03

Таблица 3.

Суммарные горизонтальные и вертикальные нагрузки на здание с РМО

Нагрузка №	Опорные реакции		
	Rx/Ax [KN]	Ry/Ay [KN]	Rz/Az [KN]
1	— 0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 909756.68/909756.68
2	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 178098.02/178098.02
3	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 29055.89/29055.89
4	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 184687.02/184687.02
5	0.00/-0.00	0.00/-0.00	— 3519.65/3519.65
6	3085.96/-3085.96	1019.51/1019.51	0.00/0.00
7	3.91/-3.91	5250.78/-5250.78	0.00/0.00
8	1687.79/-1687.79	— 819.40/819.40	— 0.22/0.22
9	54259.00/-54259.00	9701.30/-9701.30	— 0.21/0.220
10	1130.62/-1130.62	— 8892.30/8892.30	— 0.69/0.69
11	— 872.20/872.20	405.69/-405.69	0.00/0.00
12	— 8888.04/8888.04	55689.73/-55689.73	60.29/-60.29
Сумма	50407.04/-50407.04	62353.31/-62353.31	— 1305058.11/1305058.11

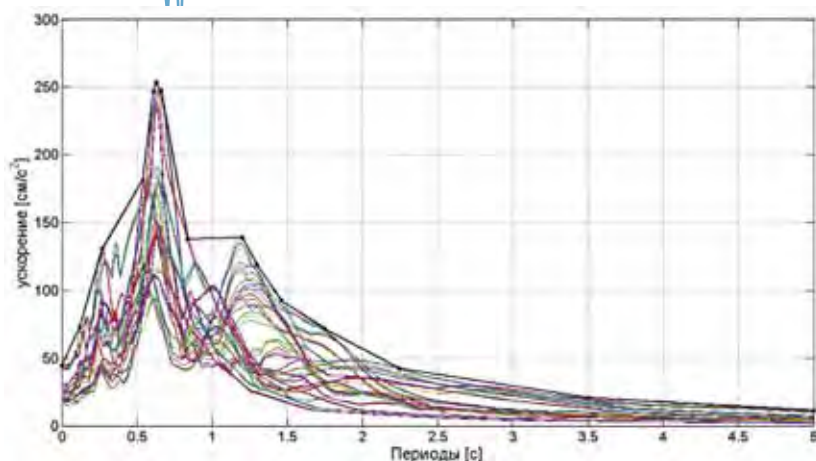


Рис.7. Расчетный спектр ускорений

где: K_1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый для изолированной части здания $K_1 = 1$; для неизолированной части здания и фундаментов $K_1 = 0.3$;

m_k^j — масса сооружения, отнесенная к точке k конструктивной системы, определяемая с учетом нагрузок на конструкции;

A — спектральное ускорение, m/c^2 , значение которого следует принимать по графику спектра ускорений рис.7; при построении спектра A в исходном воздействии учтено значение $K_0 = 1.5$;

K_ψ — коэффициент, учитывающий способность сооружения к рассеиванию энергии колебаний, принят равным $K_\psi = 1.0$;

K_A — коэффициент зависящий от сочетания карт ОСР-97, принимать равным $K_A = 1$, так как сейсмичность площадки назначена с учетом сейсмического микрорайонирования.

η_{ijk} — коэффициент, зависящий от формы деформирования здания при его собственных колебаниях по i -й форме для j -го направления и от места расположения масс m_k .

3. Расчет изолированной части здания на особое сочетание нагрузок.

4. При расчете неизолированной части, влияние вышележащих конструкций учитывалось путем передачи уз-

ловых нагрузок в точки сопряжения двух частей здания. Значения сейсмических нагрузок действующих на «подопорную» часть здания вычислялись по спектральному методу, описанному в п. 5.5 СП 14.13330.2011, после этого проводился расчет на особое сочетание нагрузок.

Из табл.2 и 3 видно, что система сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор позволяет уменьшить значение сейсмических нагрузок, действующих на здание, в несколько раз.

ВЫВОДЫ

1. Предложен оценочный метод расчета зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор.

2. Данный метод позволяет: производить расчет здания в упругой постановке, учитывая при этом нелинейные свойства опор, уменьшить требования к вычислительным мощностям ПК, получить достаточно достоверные результаты расчета.

Литература

1. СП 14.13330.2011. *Строительство в сейсмических районах*. — М: Минрегион России. 2011.
2. Айзенберг Я.М. *Сейсмоизоляция высоких зданий*. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений* — 2007. №4. С.41-43.
3. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. *Современные методы сейсмозащиты зданий*. — М.: Стройиздат. 1988.
4. Смирнов В.И. *Применение инновационных технологий сейсмозащиты зданий в сейсмических районах*. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2009. №4. С.16-21.
5. Смирнов В.И., Никитина В.А. *Демпфирование как элемент сейсмозащиты сооружений*. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2007. №4. С.44-47.
6. Мартынов Н.В. *Аналитический обзор систем и элементов активной сейсмозащиты на базе резинометаллических и резинопластиковых опор сжатия*. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2008. №6. С.49-50.

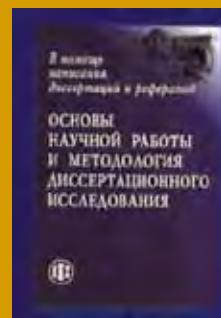
Материалы хранятся в ЦИСС ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко по адресу: 109428, Москва, ул.2-я Институтская, д.6, корп.37. Тел/факс: (499) 174-70-64. E-mail: al_bubis@mail.ru, yun-work@mail.ru.

Г.И.Андреев, В.В.Барвиненко, В.С.Верба и др.
ОСНОВЫ НАУЧНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Издательство: Финансы и статистика. 2012. 295 с.
ISBN: 978-5-279-03527-4
Тираж: 500
Формат: 60x90/16
УДК: 001.8

Монография посвящена основам научной работы в вузе. Рассмотрены такие основополагающие понятия, как принцип, парадигма, концепция и научные категории, в качестве которых выступают теоретическое знание, метод исследования и аргументация. Изложены методологические, логические и философские основания организации научных исследований.

http://www.mdk-arbat.ru/bookcard?book_id=733725



КНИЖНЫЕ НОВИНКИ