



А. П. ОРДЫНСКАЯ

кандидат геолого-минералогических наук, Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Ю. А. БЕРЖИНСКИЙ

кандидат геолого-минералогических наук, руководитель отдела сейсмостойкого строительства, Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Л. П. БЕРЖИНСКАЯ

кандидат технических наук, Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Е. А. ФИНКЕЛЬШТЕЙН

младший научный сотрудник, Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск

УДК 699.841

К ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ 9-ЭТАЖНЫХ БЛОК-СЕКЦИЙ СЕРИИ 111 ПРИ СПИТАКСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1988 ГОДА

Изложены результаты ретроспективного анализа сейсмостойкости 9-этажных блок-секций в г. Гюмри (Ленинакане), подвергшихся воздействию Спитакского землетрясения 08.12.1988 года. Используются результаты вибрационных испытаний опытной блок-секции серии 111. Выполнены расчеты сейсмостойкости блок-секции по методу «pushover analysis», а также прямой динамический расчет модели сложного упруго-пластического деформирования механической системы с двумя степенями свободы. Приведены данные макросейсмического обследования последствий Спитакского землетрясения 1988 года.

Ключевые слова: интенсивность землетрясения, сейсмостойкость зданий, метод «pushover analysis», прямой динамический расчет, коэффициент пластичности, коэффициент редукации, вибрационные испытания, макросейсмическое обследование, степени повреждения зданий.

ВВЕДЕНИЕ

В 2018 году исполняется 30 лет со дня трагических событий в Армении – Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Магнитуда землетрясения составила $M_S=7.0$, глубина очага

15-20 км, интенсивность в эпицентре – 10 баллов по шкале MSK-64. Очаг землетрясения вышел на поверхность и возник в пределах зоны, нормированная интенсивность которой составляла 7 баллов: города Спитак, Ванадзор (Кировакан), Степанаван. Район г. Гюмри (Ленинакана) был отнесен по карте сейсмического районирования к 8-балльной зоне. Для различных строительных площадок в пределах этого города расчетная сейсмичность должна была составлять от 7 до 9 баллов в зависимости от грунтовых условий. Для городов в 7-балльной зоне расчетная сейсмичность должна была составлять от 6 до 8 баллов. Согласно Заключению государственной комиссии [1] фактически интенсивность сотрясений в г. Спитаке составила 9-10 баллов, превысив нормативную на 2 балла, в г. Ванадзоре (Кировакане) и Степанаване интенсивность землетрясения составила 8 баллов, превысив нормативную на 1 балл. В пределах территории г. Гюмри (Ленинакана) интенсивность сейсмического воздействия была несколько выше 8-балльной нормативной и составила 8.5-9 баллов.

Целью настоящей статьи является исследование реакции 9-этажной блок-секции серии 111 на сейсмические воздействия вплоть до разрушения. При оценке несущей способности здания учтены результаты вибрационных ис-

пытаний опытного объекта. Реакция здания на сейсмические воздействия определена по методу нелинейного статического анализа «Nonlinear pushover analysis» и прямого динамического расчета на акселерограммы землетрясения, зарегистрированные в пункте Гукасян. Анализ реакции блок-секций проведен с учетом данных макросейсмического обследования зданий этой серии после Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. [1].

КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА 9-ЭТАЖНЫХ БЛОК-СЕКЦИЙ СЕРИИ 111

Серия 111 каркасно-панельных жилых домов предназначалась для строительства в Армянской ССР в районах с сейсмичностью 7-8 баллов [14]. Блок-секции (односекционный жилой дом) были запроектированы высотой 9 и 5 этажей. Размеры в плане 9-этажной блок-секции 18×18 м. Пространственная жесткость блок-секций в продольном направлении обеспечивается рамной конструкцией каркаса, а в поперечном – двумя вертикальными железобетонными диафрагмами жесткости (рамно-связевая система). Сборные железобетонные диафрагмы жесткости не имели надежной связи с прилегающими колоннами, а горизонтальные стыки диафрагм фактически выполнены без шпонок. Для сборных перекрытий применены многпустотные предварительно напряженные плиты из легкого бетона толщиной 220 мм. Заполнением наружных стен служат навесные стеновые панели толщиной 220 мм.

ВИБРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ 9-ЭТАЖНОЙ БЛОК-СЕКЦИИ СЕРИИ 111

Вибрационные испытания опытной блок-секции были проведены Лабораторией прочностных испытаний ЦНИИЭП жилища под руководством к.т.н. Г.Н. Ашкинадзе в г. Ереване в 1976 году. При вибрационных испытаниях 9-этажной блок-секции серии 111 были достигнуты максимальные перемещения в уровне покрытия при колебаниях:

- в продольном направлении несущих рам $d = 0.023$ м на частоте $f = 0.9$ Гц ($T = 1.11$ с);
- в поперечном направлении $d = 0.017$ м на частоте $f = 1.25$ Гц ($T = 0.80$ с).

Максимальные горизонтальные инерционные нагрузки при испытаниях составили 110 и 83 тс в поперечном и продольном направлениях соответственно (таблица 1). Расчетная величина 8-балльной сейсмической нагрузки

$S_{расч.} = 367$ тс определена в соответствии со СНиП II-A.12-69* [2] и СНиП II-7-81 [3]. Величина инерционной нагрузки при испытаниях составила: в продольном направлении – 30% от расчетной сейсмической нагрузки, а в поперечном – 23%. Опыт проведения вибрационных испытаний свидетельствует, что при столь низком уровне динамического нагружения в сейсмостойком здании не должны были проявиться какие-либо повреждения.

Однако в процессе испытаний было отмечено, что уже при незначительном повышении интенсивности колебаний резонансная частота здания снизилась с 1.75 Гц до 1.28 Гц, что свидетельствовало о накоплении повреждений в несущих конструкциях [4]. Они были обнаружены визуально. Также было установлено, что проектные решения блок-секции содержат ряд существенных недостатков, строительно-монтажные работы выполнены с дефектами, сейсмостойкость здания – низкая, необходима корректировка проектных решений. Но эти результаты были оспорены, а испытания прерваны по настоянию заказчика, причем по причинам, весьма далеким от научных проблем.

Результаты вибрационных испытаний позволили построить экспериментальную кривую несущей способности для эквивалентной модели блок-секции с одной степенью свободы (рисунок 1а).

В таблице 2 представлены значения параметров кривой несущей способности здания (продольное направление) в виде диаграммы Прандтля. Параметрами модели, характеризующими возникновение в системе условного предела текучести, являются:

- перерезывающая сила в основании $F_T = 2130$ кН;
- соответствующее ей перемещение в уровне верхнего перекрытия $d_T = 0.032$ м ($d_T = 0.0224$ м – в уровне $\eta = 1$);
- период колебаний $T_T = 1.18$ с ($\omega^2 = 28.1$ 1/с²), определенный в предположении, что основная форма горизонтальных прогибов будет соответствовать колебаниям по первой форме многомассовой системы с периодом $T_T = 1.18$ с;
- обобщенная горизонтальная жесткость $K_T = F_T/d_T = M_{экр} \cdot \omega^2 = 0.95 \cdot 10^5$ кН/м;
- ускорение упруго-пластической системы $a_T = F_T/M_{экр} = 0.63$ м/с² при известных пределах текучести F_T и массе $M_{экр}$;
- эквивалентная масса $M_{экр} = 3380$ тонн.

В качестве максимального нелинейного перемещения

Таблица 1 — Инструментальные данные вибрационных испытаний 9-этажной блок-секции серии 111 в г. Ереване (1976 г.)

N, исп.	Продольное направление							Поперечное направление				
	Первая форма					Вторая форма		Первая форма			Вторая форма	
	Q, кгс	f ₁ , Гц	T ₁ , с	δ ₁	ε ₁ , %	f ₂ , Гц	T ₂ , с	Q, кгс	f ₁ , Гц	T ₁ , с	f ₂ , Гц	T ₂ , с
1	224	1.20	0.83	0.19	3.0	3.45	0.29	224	1.78	0.56	5.57	0.18
2	1824	1.0	1.0	0.15	2.4	2.56	0.39	1664	1.62	0.62	5.0	0.2
3	3904	0.9	1.11	0.29	4.6			3904	1.25	0.80	5.57	0.18

δ₁ – декремент затухания, ε₁ – параметр затухания в долях от критического



Рисунок 1 — а) – Экспериментальная зависимость «поперечная сила в основании – перемещение в уровне покрытия (в уровне η=1)»: 1 – экстраполяция экспериментальной зависимости на область больших перемещений; 2 – аппроксимация экспериментальной зависимости идеализированной билинейной диаграммой. б) – Определение нелинейного перемещения 9-этажной блок-секции серии 111 (на примере землетрясения с интенсивностью 7 баллов).

принято значение перемещения $d_A = 0.074$ (0.0514) м.

По рекомендациям Eurocode 8 нелинейное перемещение d_i не должно превышать линейное перемещение d_{el} более чем в три раза [15].

Горизонтальное перемещение одномассовой системы соответствует перемещению многомассовой системы в уровне η = 1. Коэффициент первой формы колебаний в уровне покрытия блок-секции равен η = 1.43. Определение нелинейного перемещения 9-этажной блок-секции серии 111 с коэффициентом пластичности μ = 2.3 представлено на примере землетрясения с интенсивностью 7 баллов (рисунок 16).

Для оценки способности конструкций к пластическим деформациям при землетрясениях используется коэффициент пластичности μ [12]. Коэффициент пластичности равен отношению максимальной деформации d_{max} неупругой системы к деформации d_T , соответствующей условному пределу текучести: $\mu = d_{max}/d_T$. Согласно [11] зависимость между коэффициентом редукции R_μ , коэффициентом пластичности μ и периодом свободных колебаний T_n имеет следующий вид:

$$R_\mu = \begin{cases} 1 & T_n < T_a \\ \sqrt{2\mu - 1} & T_b < T_n < T_c \\ \mu & T_n > T_c \end{cases} \quad (1)$$

Значения периодов T_a , T_b и T_c являются границами зон, соответствующих чувствительности динамической системы к ускорениям, скоростям и перемещениям конструкции при землетрясениях.

Результатом нелинейного статического расчета является сейсмическая реакция эквивалентной одномассовой

системы в виде перемещения, которое соответствует перемещению многомассовой системы в уровне η = 1. Для представления предельных состояний конструкции используется пересечение кривой несущей способности (предельной прочности – «pushover analysis») и уменьшенного спектра реакции, характеризующего возникновение неупругих деформаций в конструкции. Точка пересечения соответствует искомому перемещению d_{max} (рисунок 16).

ПРЯМОЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ 9-ЭТАЖНОЙ БЛОК-СЕКЦИИ СЕРИИ 111

При прямых динамических расчетах 9-этажной блок-секции на сейсмические воздействия использованы двухкомпонентные горизонтальные акселерограммы основного и повторного (через 20-30 с) толчков, записанные на сейсмостанции Гукасян (рисунок 2).

В качестве расчетной динамической модели РДМ принята модель сложного упруго-пластического деформирования механической системы с двумя степенями свободы, предложенная проф. Ю.Л. Рутманом, с характеристиками, соответствующими диаграмме Прандтля [5]. Прямой динамический расчет выполнен по программе Динамика-МРЗ, разработанной авторами [13]. Программа реализована на языке Си с использованием версии компилятора GCC и состоит из модуля постановки задачи, модуля загрузки данных о сейсмических воздействиях (акселерограмм) и модуля интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В модуль интегрирования включены стандартные алгоритмы интегрирования систем дифференциальных уравнений DOPRI5 и DOPRI8, реализующие метод Дорманда-Принса из семейства методов Рунге-Кутты соответственно

Таблица 2 — Параметры кривой несущей способности здания (продольное направление)

$f, 1/c$	$\omega_2, 1/c^2$	T_T, c	$\beta (T_T)$	$F_T, кН$	$d_T, м$	$a_T, м/с^2$	$K_T, кН/м$	$M_{экв}, т$
0.85	28.3	1.18	1.46	2130	0.0224	0.63	$0.95 \cdot 10^5$	3380

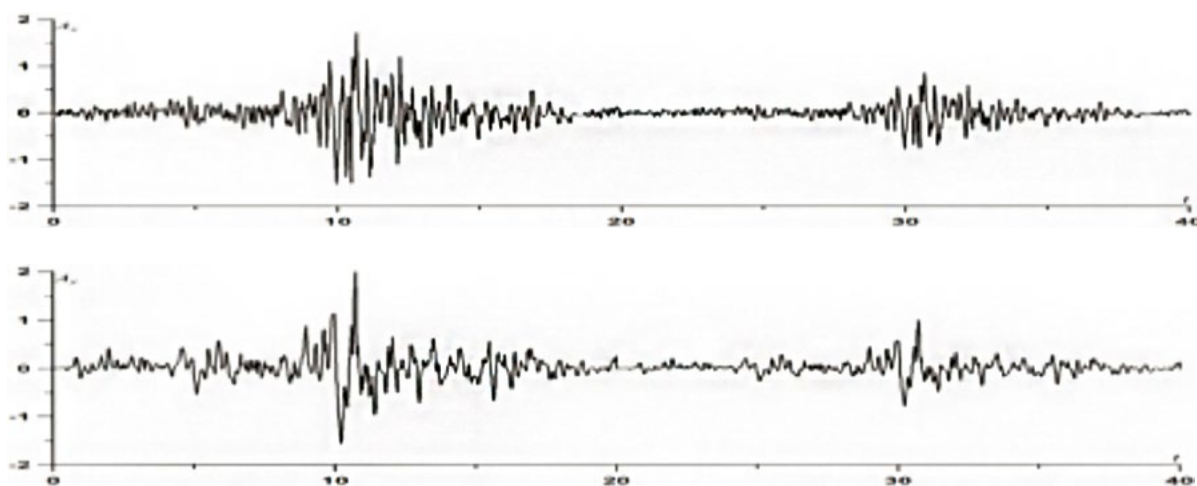


Рисунок 2 — Двухкомпонентные акселерограммы основного и повторного толчков, зарегистрированные на сейсмостанции Гукасян

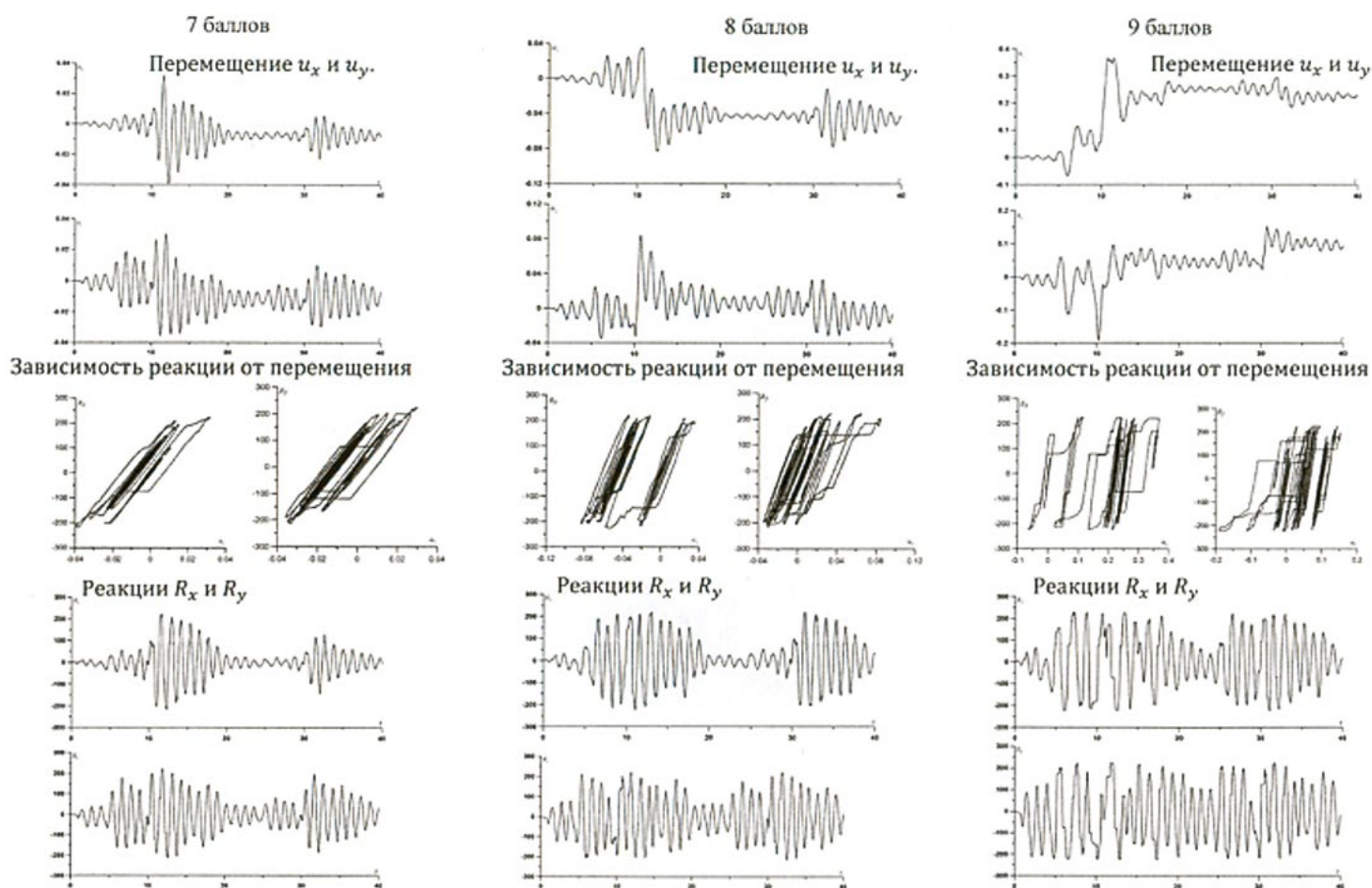


Рисунок 3 — Графики перемещений в м, реакции системы в тс; графики зависимостей реакций от перемещений для 7, 8 и 9 баллов

5-го и 8-го порядков. Результаты работы программы выводятся в виде графиков с использованием программы Golden Software Grapher [8].

Графики результатов динамических расчетов на акселерограммы ст. Гукасян представлены на рисунке 3.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ 9-ЭТАЖНОЙ БЛОК-СЕКЦИИ СЕРИИ 111 ПО МЕТОДУ «PUSHOVER ANALYSIS» И ПО ПРЯМОМУ ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ

Результаты расчетов 9-этажной блок-секции серии 111 на 7, 8 и 9 баллов по обоим методам представлены в таблице 3. С точки зрения оценки резервов сейсмостойкости блок-секции оба метода показали удовлетворительное согласование.

При 7 баллах коэффициенты пластичности находятся в допустимых пределах 1.7-2.3, повреждения блок-секции соответствуют 1-2 степени. Блок-секции пригодны к эксплуатации после проведения ремонта.

Таблица 3 — Сравнение результатов анализа серии 111 по методу Pushover analysis и по прямому динамическому расчету

N	Наименование параметров		7 баллов		8 баллов		9 баллов	
			Pushover analysis	Прямой динамический расчет	Pushover analysis	Прямой динамический расчет	Pushover analysis	Прямой динамический расчет
1	Расчетное ускорение основания	$a_g, \text{ м/с}^2$	1.0	1.0	2.0	2.0	4.0	4.0
2	Период колебаний, соответствующий максимальной деформации	$T_K, \text{ с}$	1.79	1.54	2.54	2.29	3.59	4.18
3	Отношение периодов колебаний, $T_T = 1.18 \text{ с}$	T_K/T_T	1.52	1.31	2.15	1.94	3.04	3.54
4	Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий	K_T	0.43	0.59	0.22	0.27	0.11	0.08
5	Коэффициент пластичности Коэффициент редукации	μ $R\mu$	2.3	1.7	4.6	3.8	9.2	12.5
6	Остаточные перемещения	$d_{ост}, \text{ см}$	-	0.8	-	4.2	-	22.6
7	Максимальный межэтажный перекос	$\Delta_{общ}$	0.023	0.017	0.047	0.038	0.093	0.127
8	Максимальный неупругий межэтажный перекос	$\Delta_{неупр}$	0.013	0.007	0.037	0.028	0.083	0.117
9	Оценка степени повреждений серии 111 по соотношению периодов колебаний T_K/T_T по И.Ф. Ципенюку	T_K/T_T d	$1.5 < 1.52 < 1.8$ $d = 2$	$1.25 < 1.31 < 1.5$ $d = 1$	$1.8 < 1.52 < 2.4$ $d = 3$	$1.8 < 1.94 < 2.4$ $d = 3$	$3.9 > 2.4$ $d = 4$	$3.54 > 2.4$ $d = 4$
10	Степень повреждения серии 111 по данным макросейсмического обследования в г. Гюмри-Ленинакане (Заключение государственной комиссии [1])		$d = 1-2$ Блок-секции пригодны к эксплуатации после ремонта		$d = 2-3.5$ Блок-секции подлежат восстановлению с усилением конструкций		$d = 3.5-5$ Обрушение блок-секций, не подлежат восстановлению, снос конструкций	

При 8 баллах коэффициенты пластичности приобретаю повышенные значения 3.8-4.6, повреждения блок-секции возрастают до 2-3.5 градации степени. Блок-секции подлежат восстановлению с усилением конструкций.

При 9 баллах коэффициенты пластичности возрастают до недопустимых значений 9.2-12.5, повреждения блок-секции характеризуются 3.5-5 градации степени. Происходит разрушение блок-секции; здание подлежит сносу.

Расчетные значения степеней повреждения совпадают с результатами макросейсмического обследования последствий Спитакского землетрясения [1].

Отметим некоторую особенность в применении обоих методов. При сейсмических воздействиях 7-8 баллов прямой динамический расчет дает результаты на 10-25% ниже по сравнению с нелинейным статическим анализом. При 9 баллах прямой динамический метод показывает результаты на 15-25% выше нелинейного статического анализа.

ВЫВОДЫ

1. Оценка сейсмостойкости 9-этажной блок-секции серии 111 проведена с применением нелинейного статического метода («pushover analysis») и прямого динамического расчета с использованием инструментальных данных вибрационных испытаний опытного объекта. Расчеты показали удовлетворительное согласование результатов по обоим методам, а также с данными макросейс-

мического обследования последствий землетрясения. В качестве внешнего воздействия использованы двухкомпонентные акселерограммы, зарегистрированные на сейсмостанции Гукасян и масштабированные на 7, 8 и 9 баллов.

2. Результаты расчетов 9-этажной блок-секции серии 111 двумя методами показывают, что ее сейсмостойкость соответствует уровню 7 баллов. Однако расчетные результаты не учитывают влияние на уровень сейсмостойкости блок-секции таких неблагоприятных факторов как ошибки проектных решений и строительные дефекты, что и было установлено при вибрационных испытаниях. Поэтому фактический уровень сейсмостойкости серии 111, проявившийся при Спитакском землетрясении в виде массовых обрушений, оказался ниже 7 баллов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность нашим коллегам:

Доктору физико-математических наук, профессору Аптикаеву Феликсу Фуадовичу за предоставленные записи инструментальных акселерограмм на ст. Гукасян.

Кандидату технических наук Ашкинадзе Григорию Намовичу за предоставленные материалы по вибрационным испытаниям блок-секции серии 111, проведенным лабораторией прочностных испытаний ЦНИИЭП жилища в г. Ереване в 1976 году.

Литература

1. Заключение государственной комиссии о качестве проектирования и строительства жилых домов массовых серий и общественных зданий в северных районах Армянской ССР, причинах их разрушения и предложения по совершенствованию практики проектирования и строительства в районах с высокой сейсмичностью. Государственная комиссия создана распоряжением совета Министров СССР от 21 декабря 1988 г. № 2546р. // М. 1989. 116 с.
2. СНиП II-A.12-69*. Строительство в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1977. 70 с.
3. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*. М.: Минрегион России, 2011. 87 с.
4. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования. Совместное издание СССР-Греция / Под редакцией Г.Н. Ашкинадзе и М.Е. Соколова // М.: Стройиздат, 1988. 501 с.
5. Рутман Ю. Л. Модель сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы

/Ю.Л. Рутман// Вестник гражданских инженеров. 2012. № (1) 30. С.117-120.

6. Бирбраер А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер / С-Пб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 594 с.
7. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М.: Наука, 1979. 320 с.
8. Earthquake Strong Motion CD-ROM collection contains more than 15,000 digitized and processed accelerograph records dating from 1933 to 1994. National Geophysical Data Center Boulder, Colorado, 80303, USA.
9. Хайпер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990. 512 с. 10.
10. P. N. Brown and A. C. Hindmarsh. «Reduced Storage Matrix Methods in Stiff ODE Systems» J. Appl. Math. Comp., 31 (1989), pp.40-91.
11. Немчинов Ю. И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабик К.Н. Инженерная методика проектирования сейсмостойких конструкций заданной категории пластичности с учетом положений Еврокода 8 // Киев: Минрегион Украины, ГП НИИСК, 2012. 53с.

12. Chopra A.K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. New Jersey. Prentice-Hall, 2006. 794 pp.
13. Бержинский Ю.А., Ордынская А.П., Финкельштейн Е.А., Горнов А.Ю. Численное исследование одномассовой модели упругопластического деформирования конструкций при сейсмических воздействиях // Материалы конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» / Ляпуновские чтения. Иркутск: ИСЭ СО РАН. №2, 2015. С.62-69.
14. Мовсесян Л.А., Папян В.В. Железобетонные конструкции жилых зданий серии 111 для строительства в сейсмических районах Армянской ССР // ВНИИТПИ Сейсмостойкое строительство. Вып.1, 1976. С.3-6.
15. Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings: EN 1998-1: 2004 Eurocode 8. /cen / European Committee for Standardization. Brussels.

Материалы хранятся по адресу:
Институт земной коры СО РАН,
отдел сейсмостойкого строительства,
г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

ORDYNSKAYA A., PhD in geology and mineralogy,
BERZHINSKII Iu., PhD in geology and mineralogy, Head of seismic resistance section, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk
BERZHINSKAIA L., PhD in techniques, Leading engineer, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk
FINKELSTEIN E., Junior Researcher, Institute of System Dynamics and Control Theory, Irkutsk

TO THE ESTIMATION OF THE 9-STOUREY BLOCK SECTIONS OF THE SERIES 111 SEISMIC RESISTANCE FOR THE 1988 SPITAK EARTHQUAKE

Abstract

The results of a retrospective analysis of seismic resistance of 9-storey block sections in Gyumri (Leninakan), exposed to the Spitak earthquake on 08.12.1988, are presented. The results of vibration testing of the experimental block section of the series 111 are used. The calculations of the seismic stability of the block section using the «pushover analysis» method, as well as the direct dynamic cal-

ulation of the model of complex elastic-plastic deformation of a mechanical system with two degrees of freedom were performed. The data of the macroseismic survey of the consequences of the 1988 Spitak earthquake are presented.

Keywords: earthquake intensity, seismic resistance of buildings, «pushover analysis» method, direct dynamic calculation, plasticity coefficient, reduction ratio, vibration tests, macroseismic survey, damage to buildings.

References

1. *Zakliuchenie gosudarstvennoi komissii o kachestve proektirovaniia i stroitel'stva zhilyh domov massovyh serii I obshchestvennyh zdaniy v severnykh raionakh Armianskoi SSR, prichina ih razrusheniia i predlozheniia po sovershenstvovaniiu praktiki proektirovaniia i stroitel'stva v raionakh s vysokoi seismichnost'iu. Gosudarstvennaia komissia sozdana rasporyazheniem sovetia Ministrov SSSR ot 21 dekabria 1988, № 2546r. M., 1989. 116 p.* [Conclusion of the state commission on the quality of design and construction of residential houses of mass series and public buildings in the northern regions of the Armenian SSR, the causes of their destruction and proposals for improving the practice of design and construction in areas with high seismicity. The State Commission was established by the decree of the Council of Ministers of the USSR of December 21, 1988, № 2546r.] // M. 1989. 116 p. (In Russian).
2. SNiP II-A.12-69 *. *Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh* [Construction in seismic regions]. Moscow: Stroizdat, 1977. 70 p. (In Russian).
3. SP 14.13330.2011. *Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. Aktualizirovannaia redaktsiia SNiP 11-7-81** [Construction in seismic regions. Updated version of SNiP 11-7-81*]. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. 87 p. (In Russian).
4. *Zhelezobetonnye steny seismostoikikh zdanii. Issledovaniia i osnovy proektirovaniia. Sovmestnoe izdanie SSSR-Gretsiia / Pod redaktsiei G.N. Ashkinadze i M.E. Sokolova* [Reinforced concrete walls of earthquake resistant buildings. Research and the basics of design. Joint publication of the USSR-Greece / Edited by G.N. Ashkinadze and M.E. Sokolova] // Moscow: Stroizdat, 1988. 501 p. (In Russian).
5. Rutman Yu. L. *Model slozhnogo uprugoplasticheskogo deformirovaniia mekhanicheskoi sistemy s neskol'kimi stepeniami svobody* [Model of the complex elastoplastic deformation of a mechanical system with several degrees of freedom] / Yu.L. Rutman // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2012. No. (1) 30. P.117-120. (In Russian).
6. Birbraer A. N. *Extremal'nye vozdeistviia na sooruzheniia [Extreme effects on structures]* / A. N. Birbraer, A. Yu. Roleder / S-Pb.: Publishing house of Polytechnic University, 2009. 594 p. (In Russian).
7. Clough R., Penzien J. *Dinamika sooruzhenii* [Dynamics of constructions]. Moscow: Nauka, 1979. 320 p. (In Russian).
8. Earthquake Strong Motion CD-ROM collection contains more than 15,000 digitized and processed accelerograph records dating from 1933 to 1994. National Geophysical Data Center Boulder, Colorado, 80303, USA.
9. Hayrer E., Nersett S., Wanner G. *Reshenie obyknovennykh differentsial'nykh uravnenii. Nezhestkie zadachi* [Solution of ordinary differential equations. Non-rigid tasks]. Moscow: Mir, 1990. 512 p. (In Russian).
10. R. N. Brown and A. C. Hindmarsh, "Reduced Storage Matrix Methods in Stiff ODE Systems" J. Appl. Math. Comp., 31 (1989), pp. 40-91.
11. Nemchinov Yu.I., Marienkov NG, Khavkin AK, Babik K.N. *Inzhenernaia metodika proektirovaniia seismostoikikh konstruksii zadannoi kategorii plastichnosti s uchetom polozenii Evrokoda 8* [The engineering method of designing seismic resistant constructions of a given category of plasticity, taking into account the provisions of the Eurocode 8] // Kiev: Ministry of Regional Development of Ukraine, GP NIISK, 2012. 53p.
12. Chopra A.K. *Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering* - New Jersey. Prentice-Hall, 2006. 794pp.
13. Berzhinsky Yu.A., Ordynskaya AP, Finkelstein EA, Gornov A.Yu. *Chislennoe issledovanie odnomassovoi modeli uprugoplasticheskogo deformirovaniia konstruksii pri seismicheskikh vozdeistviiah* // Materialy konferentsii «Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii/Liapunovskie chteniia [Numerical study of a single-mass model of elastoplastic deformation of structures under seismic actions // Proceedings of the conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management"/ Lyapunov Readings]. Irkutsk: ISE SB RAS. No. 2, 2015. P.62-69. (In Russian).
14. Movsesyan LA, Papyan V.V. *Zhelezobetonnye konstruksii zhilyh zdanii serii 111 dlia stroitel'stva v seismicheskikh raionakh Armianskoi SSR//VNIINTPI Seismostoikoe stroitel'stvo* [Ferrocement constructions of residential buildings of series 111 for construction in seismic regions of the Armenian SSR // VNIINTPI Seismic resistant construction]. Issue 1, 1976. C.3-6. (In Russian).
15. Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings: EN 1998-1: 2004 Eurocode 8. /cen /European Committee for Standardization. Brussels.

Для цитирования: Ордынская А.П., Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Финкельштейн Е.А. К оценке сейсмостойкости 9-этажных блок-секций серии 111 при Спитакском землетрясении 1988 года//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 3. С. 31-37.

For citation: Ordynskaya A.P., Berzhinskii Yu.A., Berzhinskaia L.P., Finkelstein E.A. To the estimation of the 9-storey block sections of the series 111 seismic resistance for the 1988 Spitak earthquake // *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 3, pp. 31-37. (In Russian).