



УДК 550.34.01

DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.58-68

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

Результаты расчета высотного здания на сейсмическое воздействие по различным нормативным документам

Н.Н. Трекин^{1*}, С.С. Михайлова

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Российская Федерация

* miharun@yandex.ru

Ключевые слова: железобетонное здание, напряженно-деформированное состояние, динамика, сейсмическое воздействие, землетрясение, расчет конструкций, American Society of civil Engineers (ASCE), Eurocode 8

История статьи

Поступила в редакцию: 21.06.2025

Доработана: 01.07.2025

Принята к публикации: 07.07.2025

Для цитирования

Трекин Н.Н., Михайлова С.С. Результаты расчета высотного здания на сейсмическое воздействие по различным нормативным документам // Железобетонные конструкции. 2025. Т. 11. № 3. С. 58–68.

Аннотация. Приведены результаты расчета высотного здания с рамно-связевым каркасом из монолитного железобетона, расположенного на скальном основании, на эксплуатационные и сейсмические воздействия по нормативным документам следующих стран: России и стран бывшего СССР, стран Европейского союза, США, Турции. Расчет выполнялся линейно-спектральным методом на сейсмическое воздействие с ускорением в основании 1 и 2 м/с². В работе отмечены некоторые особенности подхода к определению сейсмической силы. Выполнено сравнение по максимальным перемещениям по направлению сейсмического воздействия и усилиям в элементах несущей системы многоэтажного здания: угловой, крайней и средней пилонов первого этажа. Полученные результаты свидетельствуют о схожем подходе к проблеме расчета здания методом разложения по собственным формам на сейсмическое воздействие. Вместе с тем выявлены некоторые нормативные документы, при которых возникают наибольшие и наименьшие усилия.

The Results of Calculating the Seismic Impact of a High-Rise Building According to Various Regulatory Documents

Nikolay N. Trekin^{1*}, Sophia S. Mikhailova¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russian Federation

* nik-trekin@yandex.ru

Николай Николаевич Трекин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ЖБК, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 4721-2525, Scopus: 6507199486, ORCID: 0000-0002-3007-9499, E-mail: nik-trekin@yandex.ru

София Сергеевна Михайлова, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; E-mail: mikh.sofija@yandex.ru

© Трекин Н.Н., Михайлова С.С., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords: reinforced concrete building, stress-strain state, dynamics, seismic impact, earth-quake, structural calculation American Society of civil Engineers (ASCE), Eurocode 8

Article history

Received: 21.06.2025

Revised: 01.07.2025

Accepted: 07.07.2025

For citation

Trekin N.N., Mikhailova S.S. The Results of Calculating the Seismic Impact of a High-Rise Building According to Various Regulatory Documents. *Reinforced concrete structures*. 2025; 3(11):58-68.

Abstract. The results of calculating a high-rise building with a frame-braced frame made of monolithic reinforced concrete, located on a rocky base, for operational and seismic impacts according to regulatory documents from the following countries: Russia and the countries of the former USSR, the European Union, the USA, Turkey. The calculation was performed using the linear spectral method for seismic effects with acceleration at the base of 1 and 2 m/s². The paper notes some peculiarities of the approach to the definition of seismic force. A comparison was made in terms of maximum displacements in the direction of seismic impact and forces in the elements of the bearing system of a multi-storey building: the corner, edge and middle pylons of the first floor. The results obtained indicate a similar approach to the problem of calculating a building by decomposing forms of natural oscillations of the system for seismic effects. At the same time, some regulatory documents have been identified that generate the most and least force.

ВВЕДЕНИЕ

Теория сейсмостойкости развивалась постепенно, каждая новая катастрофа преподносила уроки, опыт которых давал новые знания о механизмах возникновения землетрясений, характере их проявления [1–5]. Одновременно каждое землетрясение — проверка инженерных знаний, требований к конструктивным решениям [6, 7]. В каждом регионе имеется уникальный подход к вопросу решения проблемы расчета и конструирования здания в сейсмоопасном районе строительства. Ключевой вклад, прежде всего, внесли ученые следующих стран: России и бывшего СССР, Европейского союза, США, Турции. Расчет на сейсмическое воздействие по нормам перчисленных стран предполагает расчет по линейно-спектральному методу, в основе которого лежит разложение по собственным формам и система коэффициентов. В нормативном документе нашей страны подходы к назначению коэффициентов к сейсмической силе претерпевали неоднократное изменение. При этом некоторые положения свода правил «Строительство в сейсмических районах» и на сегодняшний момент остаются дискуссионными [8–11]. Рассмотрение опыта других стран в области расчета на сейсмическое воздействие [12–15] может послужить для дальнейшего корректирования российского нормативного документа. В работе исследовался отклик железобетонного здания на сейсмическое воздействие по нормативным документам [16–24].

МЕТОД

Постановка задачи. Выполним расчет на сейсмическое воздействие высотного здания с рамно-связевым каркасом. Высота здания составляет 101 м, высота этажа — 3,3 м. Толщина перекрытия — 0,2 м. Пилоны — прямоугольного сечения, толщиной 0,3 м до отметки +36,2 и толщиной 0,2 выше этой отметки.

Все конструкции выполнены из бетона класса В30, рабочая арматура — класса А500. Общий вид здания представлен на рис. 1, план здания — на рис. 2. К зданию приложены постоянные (собственный вес конструкций, нагрузка от полов и перегородок) и временные нагрузки. Сейсмическое воздействие рассматривалось по ортогональным горизонтальным направлениям. Значение ускорения в уровне основания принималось равным 1,0 и 2,0 м/с².

Nikolay N. Trekin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; eLIBRARY SPIN- code: 4721-2525, Scopus: 6507199486, ORCID: 0000-0002-3007-9499, E-mail: nik-trekin@yandex.ru

Sofia S. Mikhailova, student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, E-mail: mikh.sofija@yandex.ru

Скальный грунт в основании смоделирован жестким закреплением вертикальных конструкций в уровне 1-го этажа. Расчеты выполнялись в ПК ЛИРА САПР 24, анализировались амплитуда колебаний и усилия в пилонах.

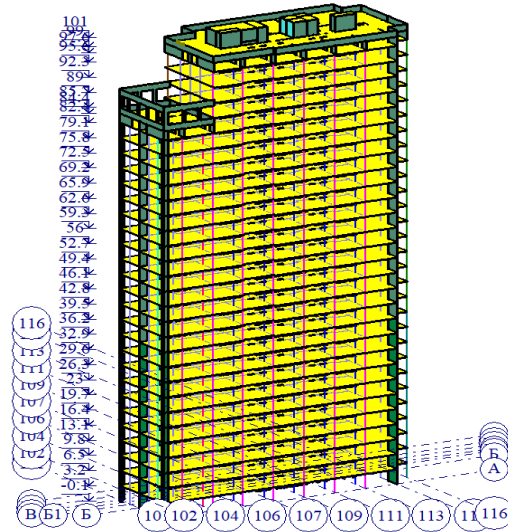


Рис. 1. Общий вид многоэтажного здания
Fig. 1. General view of a multi-storey building

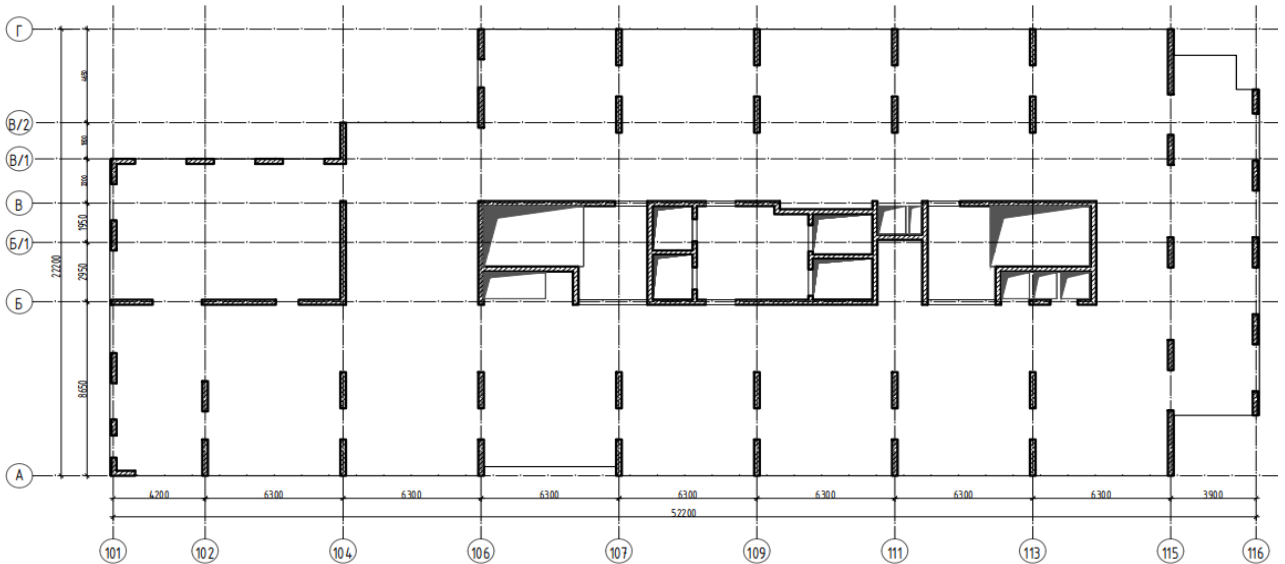


Рис. 2. План типового этажа здания
Fig. 2. The floor plan of a typical building

Подходы к определению сейсмической силы по различным нормативным документам. Согласно СП 14.13330.2018 расчетная сейсмическая нагрузка, соответствующая i -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, определяется по формуле:

$$S_{ik}^j = K_0 K_1 S_{0ik}^j, \quad (1)$$

где K_0 — коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность; K_1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений; S_{0ik}^j — значение сейсмической нагрузки для i -й формы собственных колебаний, определяемое в предположении упругого деформирования конструкции.

В расчет принимались коэффициенты K_0 , K_1 по СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования».

В СНиП II-7–81 формула расчетной сейсмической нагрузки аналогична формуле, представленной выше, в ней также присутствуют два коэффициента: K_1 — коэффициент, учитывающий допустимые повреждения зданий и сооружений; K_2 — коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений.

СП Республики Казахстан 2.03-30–2017 в формуле расчетной сейсмической силы коэффициенты γ_{lv} , γ_{lh} учитывают класс ответственности и этажность. Коэффициент поведения q — аналог российского K_1 , определяется для различных конструктивных типов систем зданий и инженерных сооружений и учитывается в формуле спектра расчетных реакций.

В нормативном документе Республики Армения II-6.02–2006 сейсмическая нагрузка определяется инерционной силой i -й формы собственных колебаний и тремя коэффициентами: k_1 — коэффициент, учитывающий допустимые повреждения зданий и сооружений; k_2 — коэффициент ответственности зданий и сооружений; k_3 — коэффициент взаимодействия между основанием и сооружением.

По нормам Узбекистана КМК 2.01.03–19 расчетная сейсмическая нагрузка в выбранном направлении определяется по формуле:

$$S_{ik} = K_0 K_n K_{Эт} K_p S_{0ik}, \quad (2)$$

где K_0 — коэффициент ответственности; K_n — коэффициент учета повторяемости землетрясений; $K_{Эт}$ — коэффициент, зависящий от этажности здания (сооружения); K_p — коэффициент регулярности; S_{0ik} — инерционная сила, определяемая в предположении упругого деформирования конструкций.

Учет пластической работы конструкций достигается введением коэффициента редукции, который в общем случае определяется по формуле:

$$r = 1 - 1,07\mu T_1, \quad (3)$$

где μ — допускаемая относительная неупругая деформация; T_1 — период собственных колебаний.

Согласно нормам Европейского союза, баланс между сопротивлением и рассеянием энергии характеризуется величинами коэффициента условия работы q и соответствующей классификацией пластичности. В работе был принят класс DCM (средняя пластичность):

$$q = q_0 k_w \geq 1,5, \quad (4)$$

где q_0 — исходная величина коэффициента условия работы, зависящая от типа конструктивной системы и от регулярности по высоте;

k_w — коэффициент, отражающий преобладающий вид разрушения в конструктивных системах со стенами.

Для рамно-связевого каркаса:

$$q_0 = 3,0 \alpha_u / \alpha_1. \quad (5)$$

Класс ответственности сооружения учитывается путем умножения нормированного пикового ускорения грунта на коэффициент γ_l .

Нормы Америки ASCE/SEI 7–22 вводят R_0 — коэффициент модификации отклика, который зависит от типа конструктивной системы и ее материала. R_0 снижает силы до уровня прочности, а не до допустимого уровня напряжения. В локальных расчетах (например, расчет колонн или некоторых узлов) может применяться коэффициент избыточной прочности Ω_b^0 , который увеличивает сейсмическую силу. Также вводится коэффициент ответственности — I_b .

Турецкие нормы ТЕС-2018 к инерционным силам вводят следующие коэффициенты: I — коэффициент важности сооружения; R — коэффициент поведения; D — коэффициент повышения прочности, применимый для зданий и сооружений с нерегулярной структурой.

Приведена табл. 1 с основными коэффициентами, использованными в расчете. По отношению к грунтовому основанию система коэффициентов или изменение бальности сейсмического воздействия в расчете не использовались.

Таблица 1 / Table 1

Основные коэффициенты, вводимые к инерционным сейсмическим силам
Main coefficients applied to inertial seismic forces

Нормативный документ Regulatory Document	Коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность Coefficient Accounting for the Structure's Purpose and Importance	Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений / Coefficient Accounting for Permissible Damage to Buildings and Structures	Дополнительные коэффициенты Additional Coefficients
СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	$K_0 = 1,0$	$K_1 = 0,4$	—
СНиП II-7-81 SNiP II-7-81	$K_1 = 1,5$	$K_2 = 0,25$	—
СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	$\gamma_{1v} = 1,5$ $\gamma_{1h} = 1,8$	$q = 4$	—
СН Республики Армения II-6.02-2006 SN Republic of Armenia II-6.02-2006	$k_2 = 1$	$k_1 = 0,4$	$k_3 = 1$
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 SNiP Republic of Uzbekistan КМК 2.01.03-19	$K_0 = 1$	$\mu = 7,5$	$K_{эп} = 1,5$ $K_p = 1,25$
EN 1998 Eurocode 8	$\gamma_I = 1,2$	$q = 3,9$	$k_w = 1$ $\alpha_w/\alpha_1 = 1,3$
American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7-22	$I_b = 1,5$	$R_0 = 4$	$\Omega_b^0 = 1$
ТЕС: Turkish Earthquake Code-2018	$I = 1,4$	$R = 4$	$D = 2,5$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отклик на сейсмическое воздействие выбранного здания анализировался по перемещениям верха по горизонтальным и вертикальному направлениям, продольному усилию и изгибающему моменту в пилонах первого этажа.

Результаты расчета на сейсмическое воздействие с ускорением основания 1 м/с^2

В табл. 2 выведены максимальные перемещения при значении $K_1 = 1$.

Таблица 2 / Table 2

Максимальные перемещения здания при сейсмическом воздействии с ускорением основания 1 м/с^2
Maximum displacements of a building under seismic action with a base acceleration of 1 м/с^2

Нормативный документ Regulatory Document	Максимальное горизонтальное перемещение по X, м Maximum Horizontal Displacement along X, m	Максимальное горизонтальное перемещение по Y, м / Maximum Horizontal Displacement along Y, m	Максимальное вертикальное перемещение по Z, м / Maximum Vertical Displacement along Z, m
СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	0,352	0,951	0,201
СНиП II-7-81 SNiP II-7-81	0,288	0,976	0,204

СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 / SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	0,361	1,196	0,213
СН Республики Армения II-6.02-2006 / SN Republic of Armenia II-6.02-2006	0,295	0,763	0,203
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 / SNiP Republic of Uzbekistan КМК 2.01.03-19	0,339	1,213	0,214
EN 1998 Eurocode 8	0,295	0,771	0,198
American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7-22	0,235	0,816	0,195
TEC: Turkish Earthquake Code-2018	0,163	0,664	0,192

В табл. 3, 4 выведены максимальные сжимающее продольное усилие и изгибающий момент вдоль короткой стороны здания для пилонов первого этажа.

Таблица 3 / Table 3

Максимальные продольные силы N в среднем, крайнем и угловом пилоне при сейсмическом воздействии с ускорением основания 1 м/с^2

Maximum longitudinal forces N in the mean, edge and angular pylon under seismic action with base acceleration of 1 m/s^2

Нормативный документ Regulatory Document	Средние пилоны Interior pylons		Крайние пилоны Exterior pylons		Угловые пилоны Corner pylons	
	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon
2	3	4	5	6	7	8
СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	10,590	А-Б-106	10,333	Г-111	7,851	В2-106
СНиП II-7-81 SNiP II-7-81	10,945	А-Б-106	10,818	Г-111	8,542	В2-106
СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	11,223	А-Б-106	11,212	Г-111	9,115	В2-106
СН Республики Армения II-6.02-2006 SN Republic of Armenia II-6.02-2006	11,039	А-Б-106	10,619	Г-111	8,312	В2-106
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 SNiP Republic of Uzbekistan КМК 2.01.03-19	11,23	А-Б-106	11,219	Г-111	9,262	В2-106
EN 1998 Eurocode 8	10,908	А-Б-106	10,339	Г-111	8,040	В2-106

American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7–22	10,804	A-B-106	9,696	Г-111	6,855	B2-106
TEC: Turkish Earthquake Code–2018	10,849	A-B-106	9,779	Г-111	7,137	B2-106

Таблица 4 / Table 4

Максимальные изгибающие моменты M_z в среднем, крайнем и угловом пилоне при сейсмическом воздействии с ускорением основания 1 м/с^2

Maximum bending moments M_z in the mean, edge and angular pylon under seismic action with base acceleration of 1 м/с^2

Нормативный документ Regulatory Document	Средние пилоны Interior pylons		Крайние пилоны Exterior pylons		Угловые пилоны Corner pylons	
	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon
СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	759,01	B2-111	574,32	Г-111	901,5	B2-106
СНиП II-7–81 SNiP II-7–81	930,82	B2-111	730,43	Г-111	1098,72	B2-106
СП Республики Казахстан 2.03-30–2017 SP Republic of Kazakhstan 2.03-30–2017	1125,79	B2-111	882,11	Г-111	1319,9	B2-106
СН Республики Армения II-6.02–2006 SN Republic of Armenia II-6.02–2006	1024,01	B2-111	802,07	Г-111	1184,13	B2-106
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03–19 SNiP Republic of Uzbekistan КМК 2.01.03–19	1246,87	B2-111	976,11	Г-111	1447,0	B2-106
EN 1998 Eurocode 8	761,15	B2-111	592,4	Г-111	897,57	B2-106
American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7–22	813,87	B2-111	627,43	Г-111	917,18	B2-106
TEC: Turkish Earthquake Code–2018	567,0	B2-111	446,25	Г-111	678,37	B2-106

Результаты расчета на сейсмическое воздействие с ускорением основания 2 м/с^2

Далее проводилось исследование поведения системы в случае увеличения силы землетрясения, использовались системы коэффициентов, описанные выше. Параметры сравнения использовались аналогичные тем, что и при расчете с ускорением основания 1 м/с^2 (табл. 5–7).

Таблица 5 / Table 5

Максимальные перемещения здания при сейсмическом воздействии с ускорением основания 2 м/с^2
 Maximum displacements of a building under seismic action with a base acceleration of 2 м/с^2

Нормативный документ Regulatory Document	Максимальное горизонтальное перемещение по X, м Maximum Horizontal Displacement along X, m	Максимальное горизонтальное перемещение по Y, м Maximum Horizontal Displacement along Y, m	Максимальное вертикальное перемещение по Z, м Maximum Vertical Displacement along Z, m
СП 14.13330.2018 / SP 14.13330.2018	0,708	1,901	0,257
СНиП II-7-81 / SNiP II-7-81	0,580	1,956	0,254
СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 / SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	0,724	2,392	0,388
СН Республики Армения II-6.02-2006 SN Republic of Armenia II-6.02-2006	0,593	1,748	0,234
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 / SNiP Republic of Uzbekistan KMK 2.01.03-19	0,681	2,427	0,252
EN 1998 Eurocode 8	0,492	1,532	0,212
American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7-22	0,467	1,625	0,224
TEC: Turkish Earthquake Code-2018	0,382	1,354	0,225

Таблица 6 / Table 6

Максимальные продольные силы N в среднем, крайнем и угловом пилоне при сейсмическом воздействии с ускорением основания 2 м/с^2
 Maximum longitudinal forces N in the mean, edge and angular pylon under seismic action with base acceleration of 2 м/с^2

Нормативный документ Regulatory Document СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	Средние пилоны Interior pylons		Крайние пилоны Exterior pylons		Угловые пилоны Corner pylons	
	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon	N_{\max} (МН)	Расположение пилона Placement of the pylon
2	3	4	5	6	7	8
СНиП II-7-81 SNiP II-7-81	11,107	А-Б-106	11,985	Г-113	10,006	Г-106
СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	11,167	А-Б-106	12,694	Г-113	11,072	Г-106
СН Республики Армения II-6.02-2006 SN Republic of Armenia II-6.02-2006	11,223	А-Б-106	13,575	Г-113	12,216	Г-106
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 / SNiP Republic / of Uzbekistan KMK 2.01.03-19	11,039	А-Б-106	12,273	Г-113	10,612	Г-106
Нормативный документ Regulatory Document	11,367	А-Б-106	13,618	Г-113	12,511	Г-106
EN 1998 Eurocode 8	10,813	А-Б-106	11,802	Г-113	9,654	Г-106

American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7–22	10,804	A-B-106	12,096	Г-111	9,855	Г-106
TEC: Turkish Earthquake Code–2018	10,995	A-B-106	10,578	Г-111	8,278	B2-106

Таблица 7 / Table 7

Максимальные изгибающие моменты M_z в среднем, крайнем и угловом пилоне при сейсмическом воздействии с ускорением основания 2 м/с^2

Maximum bending moments M_z in the mean, edge and angular pylons under seismic action with base acceleration of 2 m/s^2

Нормативный документ Regulatory Document СП 14.13330.2018 SP 14.13330.2018	Средние пилоны Interior pylons		Крайние пилоны Exterior pylons		Угловые пилоны Corner pylons	
	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon	M_{\max} (кНм)	Расположение пилона Placement of the pylon
СНиП II-7-81 SNiP II-7-81	1365,35	B2-111	1107,5	Г-111	1625,31	B2-106
СП Республики Казахстан 2.03-30-2017 SP Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017	1747,37	B2-111	1365,91	Г-111	2014,1	B2-106
СН Республики Армения II-6.02-2006 SN Republic of Armenia II-6.02-2006	2137,16	B2-111	1669,28	Г-111	2458,4	B2-106
СНиП Республики Узбекистан КМК 2.01.03-19 SNiP Republic of Uzbekistan КМК 2.01.03-19	2186,7	B2-111	1509,21	Г-111	2186,7	B2-106
Нормативный документ Regulatory Document	2379,32	B2-111	1857,29	Г-111	2712,4	B2-106
EN 1998 Eurocode 8	1280,7	B2-111	1110,7	Г-111	1648,7	B2-106
American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7–22	1507,18	B2-111	1320,43	Г-111	1707,18	B2-106
TEC: Turkish Earthquake Code–2018	1019,59	B2-111	898,62	Г-111	1275,17	B2-106

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика выполнения расчетов на сейсмическую нагрузку линейно-спектральным методом во всех сравниваемых нормах схожа между собой. Различия состоят в использовании различных спектров реакций (ответов) или коэффициента динамичности, а также в применении различных коэффициентов, учитывающих рассеивание энергии за счет допускаемой пластической работы конструкции, класс ответственности здания, конструктивные особенности. В некоторых нормах вводятся дополнительные коэффициенты, учитывающие неоднородность, нерегулярность структуры.

Анализируя результаты расчета на сейсмическое воздействие, можно отметить, что максимальные перемещения и усилия получились близкими между собой. При этом следует отметить, что значения перемещений при расчете по нормативным документам стран бывшего

СССР оказались несколько большими относительно СП 14.13330.2018. Наиболее близкими к значениям при расчете по российскому своду правил на примере данного здания являются нормы Европейского Союза.

При расчете на сейсмическом воздействии с ускорением основания 2 м/с^2 по нормам Казахстана и Узбекистана изгибающий момент и продольное усилие достигают достаточно больших значений, что может потребовать большего количества арматуры при конструировании сечений. Расчет по турецким нормам дал наименьшие значения усилий относительно других сравниваемых документов, что может привести к недостаточному армированию конструкций.

Необходимо отметить, что различия в определении сейсмической силы по разным нормам и как следствие различное напряженно-деформированное состояние конструкций могут быть нивелированы на этапе конструирования, так как в каждом нормативном документе присутствуют дополнительные требования по армированию железобетонных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перельмутер А.В., Кабанцев О.В.* О концептуальных положениях норм проектирования сейсмостойкого строительства // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 12. С. 1673–1684.
2. *Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Щедрин О.С.* Уточнение коэффициента ответственности K_0 при расчете на сейсмостойкость для отдельных конструктивных элементов (колонн) многоэтажных монолитных железобетонных каркасных зданий (в порядке обсуждения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 4. С. 8–18.
3. *Немчинов Ю.И.* Сейсмостойкость зданий и сооружений. Киев : НИИСК Минрегионстроя Украины, 2008. 480 с.
4. *Kim Y.J.* Seismic Analysis and Design of Building Structures. Woodhead Publishing, 2024. 268 p.
5. *Datta T.K.* Seismic analysis of structures. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2010. 464 p.
6. *Мкртычев О.В.* Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях. М. : МГСУ, 2010. 152 с.
7. *Айзенберг Я.М., Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Смирнов В.И., Трекин Н.Н.* Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. 264 с.
8. *Мкртычев О.В., Дорожгинский В.Б., Сидоров Д.С.* Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 66–75.
9. *Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш.* О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 2. С. 118–129.
10. *Тамразян А.Г., Мацевич Т.А.* Оценка степени повреждения зданий при землетрясениях методом статистического моделирования // Железобетонные конструкции. 2024; № 7 (3). С. 3–11. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.3.3-11
11. *Курбацкий Е.Н., Мондрус В.Л.* Динамические коэффициенты или спектры реакций (ответов) сооружений на сейсмические воздействия? // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2019. № 1. С. 107–114.
12. *Атабемян Р.А., Назаретян С.Н.* Методы определения сейсмических воздействий на сооружения по разным строительным нормам и возможность создания единого метода // Вопросы инженерной сейсмологии. 2022. Т. 49. № 3. С. 39–53.
13. *K Hadar Elmi, Erdal Coskun.* Comparative of Study the Design Spectra Defined by Various Seismic Codes // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2020. Vol. 9. Pp. 722–728.
14. *Xie Qi.* The application of seismic parameters conversion among different structure design codes // Material Science, Engineering and Applications. 2022. Vol. 2. Pp. 49–55.
15. *Gunawan N., Han A., Gan B.S.* Proposed design philosophy for seismic-resistant buildings // Civil Engineering Dimension. 2019. Vol. 21. Pp. 1–5.
16. СП 14.13330.2018 (Изм. 1, 2, 3, 4). Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7–81.
17. СП 267.1325800.2016 (Изм. 1, 2). Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования.
18. СНиП II-7–81. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах.
19. СП РК 2.03-30-2017. Свод правил Республики Казахстан. Строительство в сейсмических зонах.
20. СН Республики Армения II-6.02-2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования.
21. КМК 2.01.03-19. Строительные нормы и правила Республики Узбекистан. Строительство в сейсмических районах.
22. EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance: EN 1998-1:2004. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
23. ASCE/SEI 7-22. Minimum design loads for buildings and other structures.
24. TEC 2007: Turkish Earthquake Code-2007.

REFERENCES

1. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. On conceptual provisions of design standards for earthquake-resistant construction. *Vestnik MGSU*. 2020; 15(12):1673-1684. (in Russian).
2. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shchedrin O.S. Clarification of the coefficient of responsibility K₀ when calculating earthquake resistance for individual structural elements (columns) of multi-storey monolithic reinforced concrete frame buildings (in the order of discussion). *Earthquake-resistant construction. Security of facilities*. 2021; 4:8-18. (in Russian).
3. Nemchinov Yu.I. *Earthquake resistance of buildings and structures*. Kiev, Research Institute of the Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2008; 480. (in Russian).
4. Kim Y.J. *Seismic Analysis and Design of Building Structures*. Woodhead Publishing, 2024; 268.
5. Datta T.K. *Seismic analysis of structures*. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2010; 464.
6. Mkrtychev O.V. *Safety of buildings and structures during seismic and emergency impacts*. Moscow, MGSU, 2010; 152. (in Russian).
7. Aizenberg Ya.M., Kodysh E.N., Nikitin I.K., Smirnov V.I., Trekin N.N. *Earthquake-resistant multi-storey buildings with reinforced concrete frame*. Moscow, Publishing House of the Association of Construction Universities, 2012; 264. (in Russian).
8. Mkrtychev O.V., Dorozhinskiy V.B., Sidorov D.S. Seismic Resistance Calculation of Reinforced Concrete Buildings of Different Structural Schemes. *Vestnik MGSU*. 2015; 12:66-75. (in Russian).
9. Kabantsev O.V., Useinov E.S., Sharipov Sh. Determination of allowable damage factor of antiseismic structures. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016; 2(55):117-129. (in Russian).
10. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. Estimation of Damage Degree of Buildings in Earthquakes by Statistical Modeling Method. *Reinforced concrete structures*. 2024; 7(3):3-11. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.3.3-11 (in Russian).
11. Kurbatskiy E.N., Mondrus V.L. Dynamic coefficients or response spectra of structures to earthquake? *ACADEMIA. Architecture and Construction*. 2019; 1:107-114. (in Russian).
12. Atabekyan R.A., Nazaretyan S.N. Some methods for determining seismic impacts on structures by different building codes and possibility of creating a unified method. *Voprosy Inzhenernoi Seismologii (Problems of Engineering Seismology)*. 2022; 49(3):39-53. (in Russian).
13. K Hadar Elmi, Erdal Coskun. Comparative of Study the Design Spectra Defined by Various Seismic Codes. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2020; 9:722-728.
14. Xie Qi. The application of seismic parameters conversion among different structure design codes. *Material Science, Engineering and Applications*. 2022; 2:49-55.
15. Gunawan N., Han A., Gan B.S. Proposed design philosophy for seismic-resistant buildings. *Civil Engineering Dimension*. 2019; 21:1-5.
16. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81. (in Russian).
17. SP 267.1325800.2016. High rise buildings and complexes. Design rules. (in Russian).
18. SNiP II-7-81. Building codes and regulations. Construction in seismic areas. (in Russian).
19. SP of the Republic of Kazakhstan 2.03-30-2017. Code of Rules of the Republic of Kazakhstan. Construction in seismic zones. (in Russian).
20. SN of the Republic of Armenia II-6.02-2006. Earthquake-resistant construction. Design standards. (in Russian).
21. KMK 2.01.03-19. Building codes and regulations of the Republic of Uzbekistan. Construction in seismic areas. (in Russian).
22. EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance: EN 1998-1:2004. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
23. ASCE/SEI 7-22. Minimum design loads for buildings and other structures.
24. TEC 2007: Turkish Earthquake Code-2007.