

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2021-5-8-21](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-5-8-21)

Сейсмический риск и ущерб

Оценка надежности многоэтажного здания в соответствии с принципами Еврокода

Лапин Владимир Алексеевич¹, Нурсафин Руслан Ерланович¹, Пак Эрик Федорович¹

¹АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: Предлагается способ определения надежности здания на основе применения основных принципов Еврокода. Надежность понимается как вероятность безотказной работы. Преобразование многомассовой системы в эквивалентную одномассовую нелинейную систему выполнено по методике нелинейного расчета Pushover (программный пакет MIDAS/Gen). Сейсмическое воздействие моделируется нестационарным случайным процессом, который получен из стационарного умножением на детерминированную огибающую. В качестве показателя надежности принят согласно EN 1990 индекс надежности β , который связан с величиной вероятности безотказной работы. За отказ принимается превышение величины предельно допустимых перемещений (перекоса) системы. Определение индекса надежности выполняется с помощью метода статистических испытаний (метод Монте-Карло). Приведен пример расчета 9-этажного жилого дома, ранее рассчитанного по спектральному методу. Поэтажные массы, перемещения и кривая несущей способности и её параметры берутся из результатов расчета здания, выполненного с применением вычислительным комплексом Midas gen. Результаты расчета показывают неудовлетворительную надежность здания по величине индекса β . Метод расчета может быть использован для расчета зданий по специальным техническим условиям (СТУ).

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, индекс надежности, метод пушвер

Для цитирования: Лапин В.А., Нурсафин Р.Е., Пак Э.Ф. Оценка надежности многоэтажного здания в соответствии с принципами Еврокода // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2021. № 5. С. 8-21.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-5-8-21](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-5-8-21)

Seismic risk and damage

Assessment of reliability of multi-storey building in accordance with Eurocode principles

V. Lapin¹, R. Nursafin¹, E. Pak¹

¹AO KazRDICA, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract: A method for determining the reliability of a building based on the application of the basic principles of the Eurocode is proposed. Reliability is understood as the probability of

@ Лапин В.А., Нурсафин Р.Е., Пак Э.Ф., 2021

trouble-free operation. The transformation of a multi-mass system into an equivalent single-mass nonlinear system was performed using the Pushover nonlinear calculation method (MIDAS/Gen software package). The seismic impact is modeled by a non-stationary random process that is obtained from a stationary one by multiplying by a deterministic envelope. According to EN 1990, the reliability index β is adopted as an indicator of reliability, which is associated with the probability of failure-free operation. An excess of the maximum permissible displacements (misalignment) of the system is taken as a failure. The reliability index is determined using the statistical test method (Monte Carlo method). An example of the calculation of a 9-storey residential building, previously calculated by the spectral method, is given. The floor masses, displacements, and the load-bearing capacity curve and its parameters are taken from the results of the calculation of the building performed using the Midas gen computing complex. The calculation results show the unsatisfactory reliability of the building in terms of the index value. The calculation method can be used to calculate buildings according to special technical conditions (STU).

Keywords: reliability, probability of trouble-free operation, reliability index, Pushover method

For citation: Lapin V.A., Nursafin R.E., Pak E.F. Assessment of reliability of multi-storey building in accordance with Eurocode principles. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* = *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 5, pp. 8-21. (In Russian) DOI: [10.37153/2618-9283-2021-5-8-21](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-5-8-21)

1. Введение

Применение вероятностных методов в практике сейсмостойкого строительства имеет уже достаточно значительную историю [1-7]. Выполнялись расчеты разного рода каркасных зданий [3,4], различных сейсмоизолирующих систем [5] и т.д.

В [7] решены разнообразные задачи различной сложности. На основе вероятностного представления сейсмичности площадки строительства дается методика оценки надежности зданий различной конструкции при работе материала, как в упругой стадии, так и за пределом упругости. Рассмотрена задача для варианта системы, когда нелинейная силовая характеристика является случайной функцией. Изучаются вопросы распространения волн в статистически неоднородных средах. Целый раздел посвящен надежности систем с резервными элементами (системы сейсмоизоляции с выключающимися связями).

Если в условиях действия предыдущих нормативных документов в строительстве Республики Казахстан использование вероятностных методов носило единичный характер и, в основном, имело место для уникальных объектов, то в условиях действия новой нормативной базы на основе Еврокода открывается возможность их систематического применения.

Еврокоды в своей основе имеют вероятностный характер, формализуют понятие надежности и вводят понятия классов надежности [8,9]. Поэтому вероятностные расчеты в условиях действия Еврокода имеют возможность стать достаточно рутинными и весьма информативными.

2. Методы исследования

В данной работе предлагается практический метод оценки надежности здания в соответствии с Еврокодом. При этом рассматривается нелинейная расчетная модель

здания. Сейсмическое воздействие задается стационарным случайным процессом, который умножается на детерминированную огибающую.

2.1. Количественные оценки надежности

В EN 1990 определены 3 класса надежности - RC1, RC2 и RC3, которые могут быть связаны с тремя классами последствий – CC1, CC2 и CC3. В качестве показателя надежности приняты индексы надежности β (таблица 1, эквивалентная Таблице B2 EN 1990):

Таблица 1 – Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности β (для критических предельных состояний)

Table 1 – Recommended minimum values of the reliability index β (for critical limit states)

Класс надежности	Минимальное значение индекса надежности β	
	Референтный период времени 1 год	Референтный период времени 50 лет
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Связь вероятности отказа P_f с индексом надежности β приведена в таблице 2, эквивалентной Таблице C1 EN 1990:

Таблица 2 – Зависимость между β и P_f

Table 2 – Relationship between β and P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

В соответствии с таблицей 2 численной мерой надежности может служить индекс надежности β , зависящий от вероятности отказа P_f .

Наиболее универсальным методом вычисления вероятности P_f является метод статистических испытаний. Существующие вычислительные комплексы позволяют проводить детерминированные расчеты на воздействия в виде записей акселерограмм и сейсмограмм. Но при статистическом подходе необходимы расчеты на множество реализаций одного случайного процесса, моделирующего одно землетрясение. В этом случае по результатам множества расчетов можно получить статистические характеристики сейсмостойкости. Однако, возможность его практического применения ограничена ввиду значительных затрат по времени. Время детерминированного расчета играет ключевую роль при решении вероятностных задач методом статистических испытаний. При этом сложность и продолжительность расчета существенно возрастает в случае расчета в нелинейной постановке.

2.2. Расчетная модель здания

Для проведения статистического анализа целесообразно разработать методику, основанную на расчетной модели, которая при своей относительной простоте позволила бы качественно и количественно оценить сейсмостойкость здания. В данной работе используется подход, реализованный в Pushover EN [10]. Полное наименование метода, указываемое в зарубежной нормативной документации и научных публикациях – *Nonlinear Static Analysis Procedure (Pushover Analysis) - НСМ*.

Основной интегральной характеристикой колебания системы является частота колебания. В общем случае спектр частот может служить своеобразным динамическим идентификатором системы. Для линейных систем этот спектр постоянный, в случае нелинейных систем этот спектр переменный и зависит от амплитуды колебаний. Таким образом, в случае нелинейных систем можно говорить о «мгновенных частотах собственных колебаний». Сложность, связанную с этим обстоятельством, можно несколько упростить в случае приближенного подхода, основанного на рассмотрении одномассовой нелинейной системы вместо сложной многомассовой нелинейной системы.

В данной работе преобразование многомассовой нелинейной системы в эквивалентную одномассовую нелинейную систему выполнено по методике нелинейного расчета Pushover.

Таким образом, расчетная модель представлена одномассовой нелинейной системой с эквивалентной массой и билинейной диаграммой деформирования. Затухание принято по гипотезе Фойгта с учетом дополнительного гистерезисного затухания [2].

Оценка надежности проводится методом статистических испытаний, воздействие моделируется нестационарным случайным процессом.

2.3. Расчетная модель сейсмического воздействия

Нестационарный случайный процесс представлен в виде произведения стационарного случайного процесса на некоторую детерминированную функцию времени, зависящую от интегральных признаков сейсмического воздействия [2].

Воздействие моделируется случайным процессом в виде ансамбля реализаций, генерируемых в рамках корреляционной теории. При условии стационарности и эргодичности случайного процесса корреляционная функция имеет вид [1,2]:

$$K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau,$$

где $\alpha = 6 \div 8 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 14 \div 20 \text{ с}^{-1}$

Алгоритм генерации реализаций искусственных землетрясений с заданной корреляционной функцией основан на прохождении «белого шума» через формирующий фильтр в виде обыкновенного линейного дифференциального уравнения второго порядка [11].

Параметры корреляционной функции для генерации реализаций определяются путем аппроксимации корреляционной функции записи акселерограммы землетрясения с региональными характеристиками.

2.4. Определение надежности

Надежность системы определяется как вероятность не наступления отказа. За отказ принимается превышение величины предельно допустимых перемещений системы.

Для реализации статистического анализа разработано приложение на языке Matlab. Входными данными являются: поэтажные массы и поэтажные перемещения исходной многомассовой системы, нелинейная диаграмма деформирования многомассовой системы (кривая несущей способности), предельно допустимые перемещения и запись акселерограммы, которая является исходной для генерации ансамбля реализаций.

В данной работе поэтажные массы, перемещения и кривая несущей способности и её параметры берутся из результатов расчета здания, выполненного вычислительным комплексом Midas gen. На первом этапе программа статистического анализа по исходным данным вычисляет эквивалентную массу и билинейную диаграмму деформирования расчетной одномассовой системы, а также корреляционную функцию ансамбля реализаций. Затем генерируются реализации воздействия и происходит интегрирование дифференциального уравнения колебаний. В случае превышения предельно допустимых перемещений фиксируется отказ системы. Процесс интегрирования завершается при достижении заданной точности вычисления вероятности отказа. *Критерием для оценки надежности здания является индекс надежности β* . По таблице 1 определяется индекс надежности β и устанавливается класс надежности здания RC.

3. Пример расчета

В качестве примера рассмотрим 9-этажное здание, рассчитанное на сейсмические воздействия по спектральному методу и по нелинейному методу Pushover. На рис.1 приведена исходная расчетная схема здания, а на рис.2 – поэтажные массы при расчете на сейсмические воздействия по спектральному методу, на рис.3 – поэтажные перемещения (интерфейс программного комплекса MIDAS/Gen).

Далее выполняется подготовительная работа для расчетов по методу Pushover (рис.4-6). На рис.6 по оси абсцисс – метры, по оси ординат – тонны.

На рис. 7 приведена акселерограмма землетрясения NORTHERN CALIFORNIA 3 октября 1941. (магнитуда $M=6.4$, гипоцентральное расстояние $R= 50\text{км}$, величина пика ускорения -118.6 см/с^2 , место регистрации населенный пункт FERNDALE, Калифорния. На рис.8 приведена корреляционная функция акселерограммы (исходная и соответствующая аппроксимация).

С учетом референтного периода повторяемости $T_{\text{NCR}}=475$ лет вероятность отказа (рис.9)

$$P_f=0.3*1/475 = 6.32 *10^{-4} .$$

По таблице 1 индекс надежности $\beta=3.28$. При классе надежности рассматриваемого здания RC2, требуемое значение индекса по таблице 2 равно 3.8. Таким образом, надежность здания недостаточна.

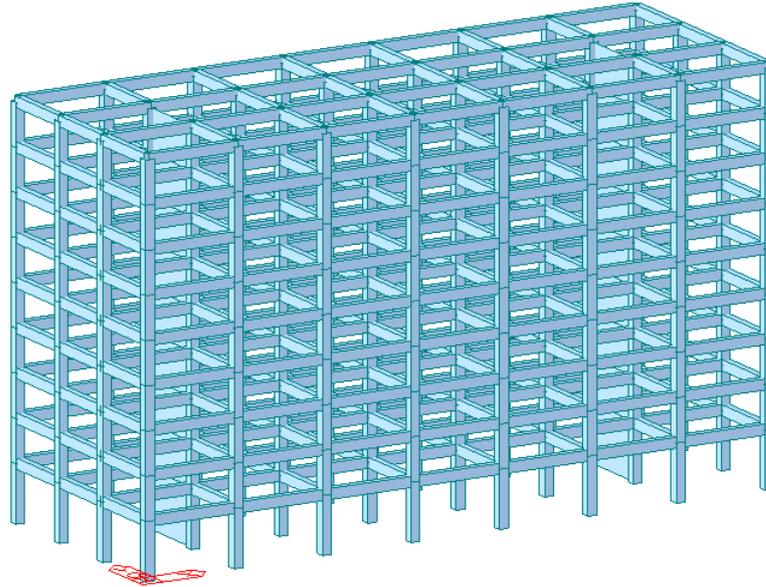


Рисунок 1 – Расчетная схема 9-этажного здания

Figure 1 – Design scheme of a 9-storey building

Story	Level (m)	Translational Mass		Rotational Mass (tonf/g*m ²)	Center of Mass	
		X-DIR (tonf/g)	Y-DIR (tonf/g)		X-Coord (m)	Y-Coord (m)
Use Ground Level : OFF						
Consider Mass under Ground Level : ON						
Roof	34.1376	137.62199706	137.62199706	44989.6138	27.7368	10.0584
9F	30.4800	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
8F	26.8224	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
7F	23.1648	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
6F	19.5072	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
5F	15.8496	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
4F	12.1920	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
3F	8.5344	149.54697456	149.54697456	49640.7027	27.7368	10.0584
2F	4.8768	153.52196706	153.52196706	51191.0656	27.7368	10.0584
1F	0.0000	0.00000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
	Total	1337.9727860	1337.9727860			

Рисунок 2 – Поэтажные массы при расчете на сейсмические воздействия по спектральному методу

Figure 2 – Floor masses when calculating for seismic effects using the spectral method

	Load Case	Node	Story	Level (m)	Story Height (m)	Maximum Displacement (m)	Average Displacement (m)	Maximum / Average
▶	RX(RS)	289	Roof	34.14	0.00	0.0577	0.0577	1.0000
	RX(RS)	257	9F	30.48	3.66	0.0559	0.0559	1.0000
	RX(RS)	225	8F	26.82	3.66	0.0528	0.0528	1.0000
	RX(RS)	193	7F	23.16	3.66	0.0484	0.0484	1.0000
	RX(RS)	161	6F	19.51	3.66	0.0428	0.0428	1.0000
	RX(RS)	129	5F	15.85	3.66	0.0361	0.0361	1.0000
	RX(RS)	97	4F	12.19	3.66	0.0285	0.0285	1.0000
	RX(RS)	65	3F	8.53	3.66	0.0200	0.0200	1.0000
	RX(RS)	33	2F	4.88	3.66	0.0110	0.0110	1.0000
	RX(RS)	0	1F	0.00	4.88	0.0000	0.0000	0.0000

Рисунок 3 – Поэтажные перемещения при расчете на сейсмические воздействия по спектральному методу

Figure 3 – Floor-to-floor displacements when calculating seismic effects using the spectral method

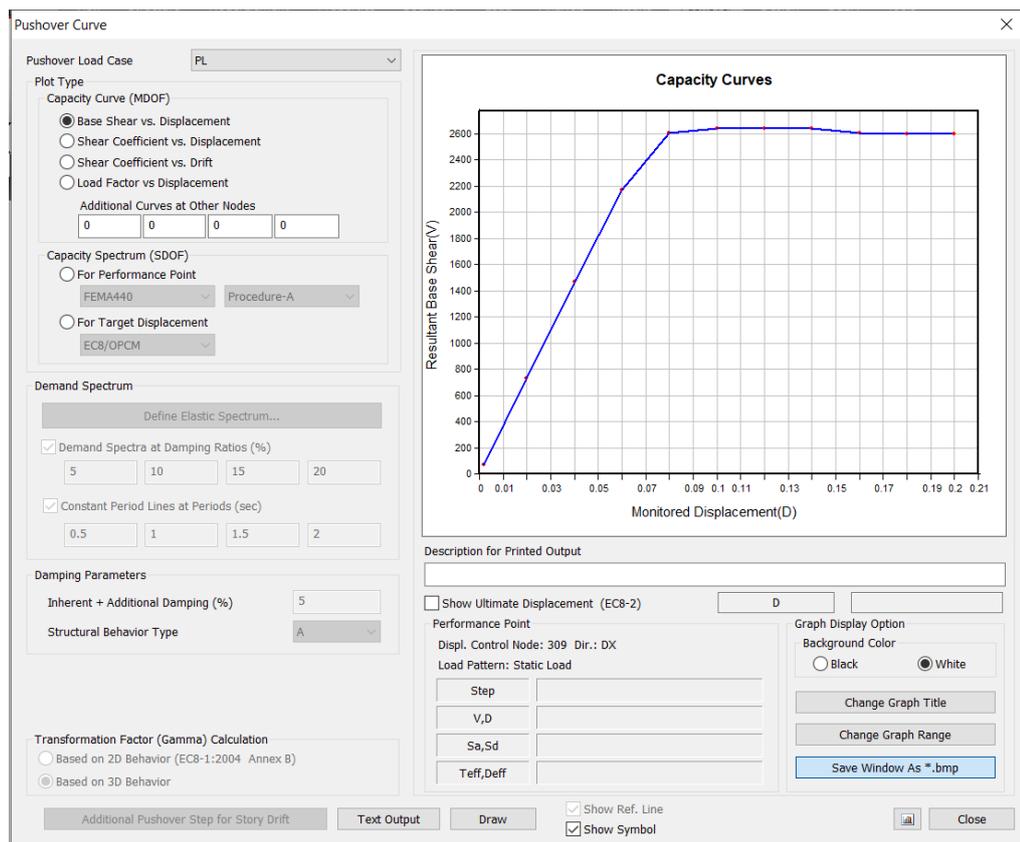


Рисунок 4 – Кривая несущей способности при расчете Pushover

Figure 4 – Load-bearing capacity curve when calculating Pushover

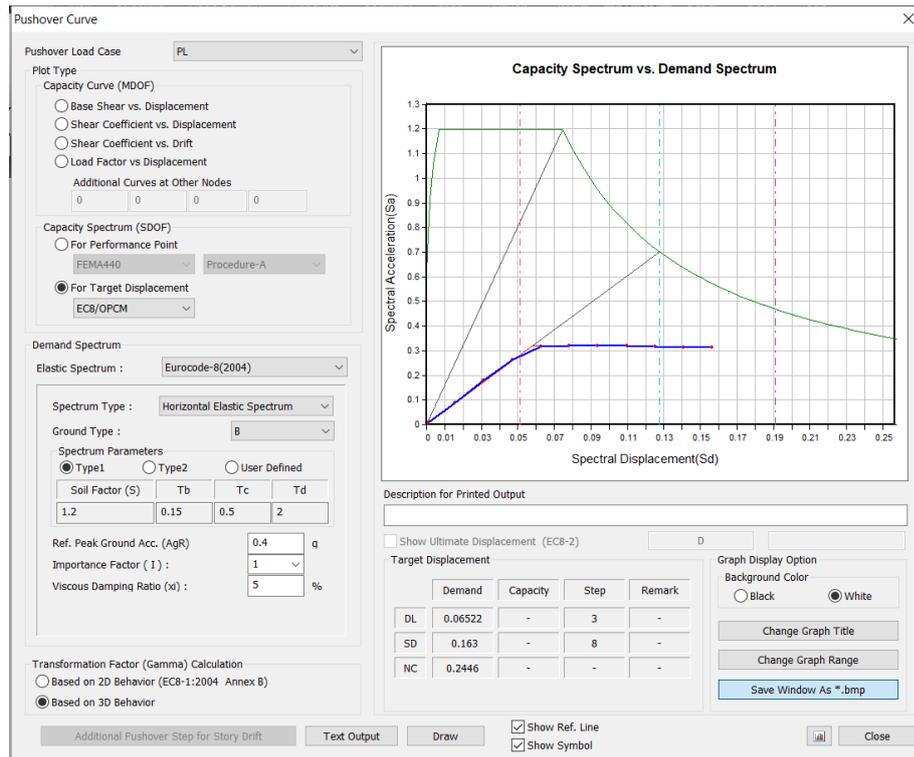


Рисунок 5 – Кривая Pushover. SD – целевое перемещение; NC – предельное перемещение

Figure 5 – Pushover curve. SD – target movement; NC – limit displacement

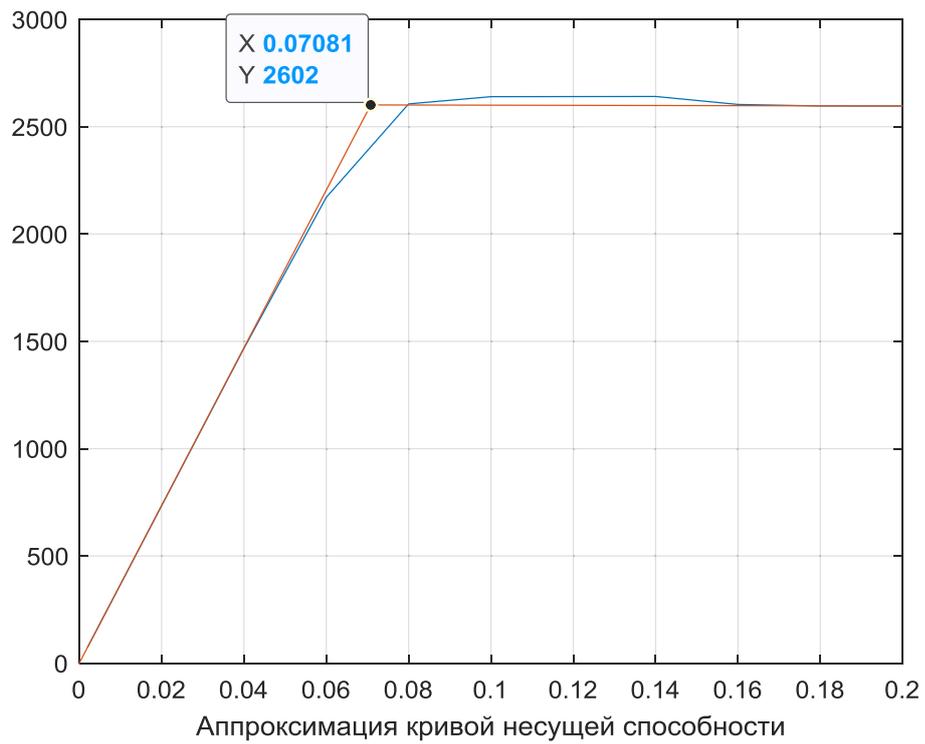


Рисунок 6 – Билинейная диаграмма деформирования

Figure 6 – Bilinear deformation diagram

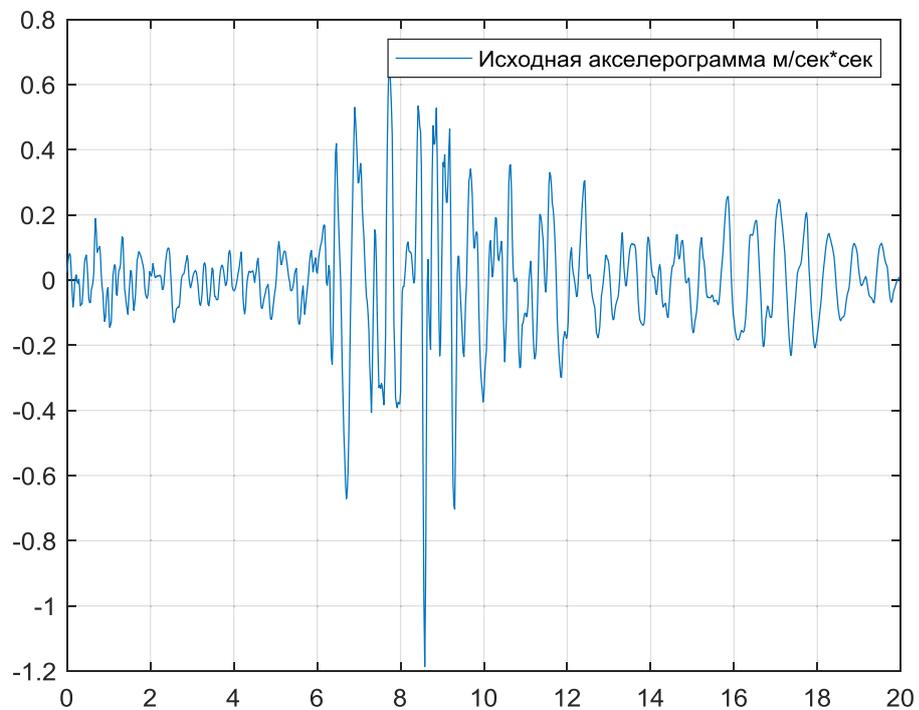


Рисунок 7 – Исходная акселерограмма

Figure 7 – Initial accelerogram

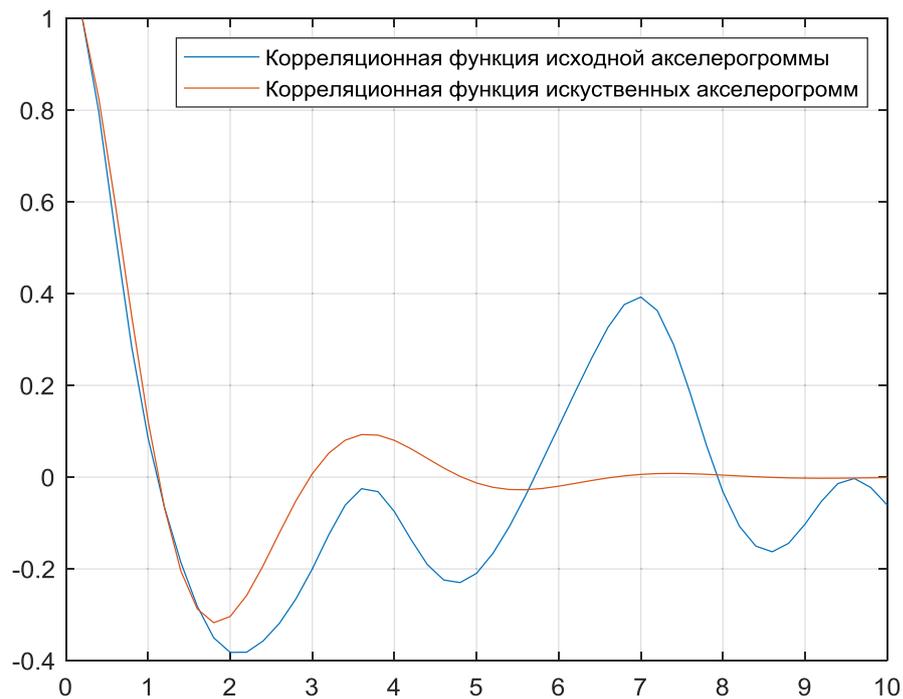


Рисунок 8 – Построение корреляционной функции для генерации ансамбля реализаций искусственного землетрясения

Figure 8 – Construction of a correlation function for generating an ensemble of realizations of an artificial earthquake

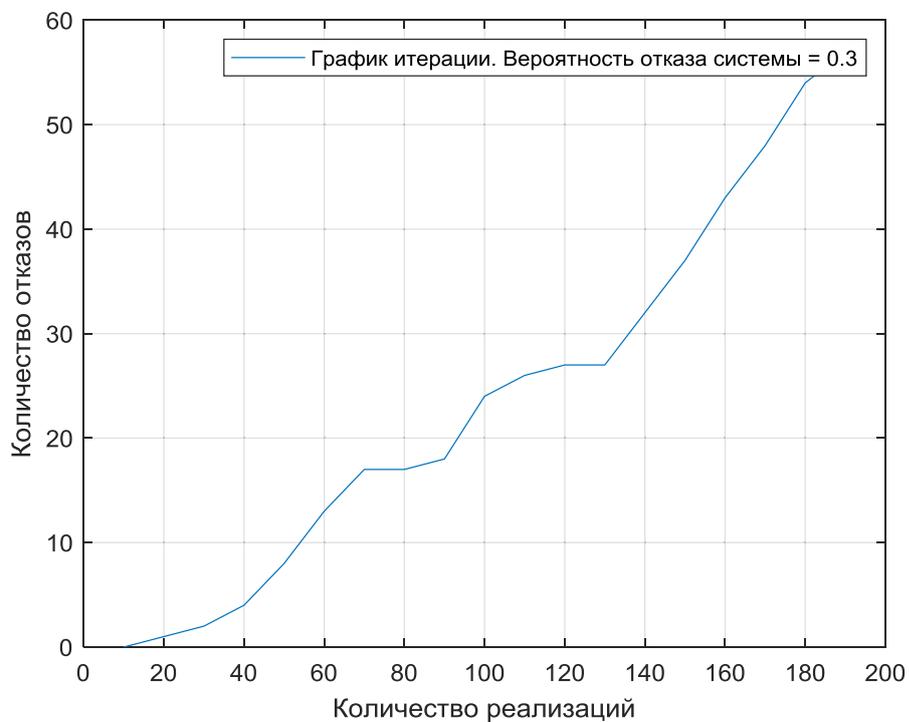


Рисунок 9 – График итерации для нахождения вероятности отказа системы.

Figure 9 – An iteration graph for finding the probability of a system failure.

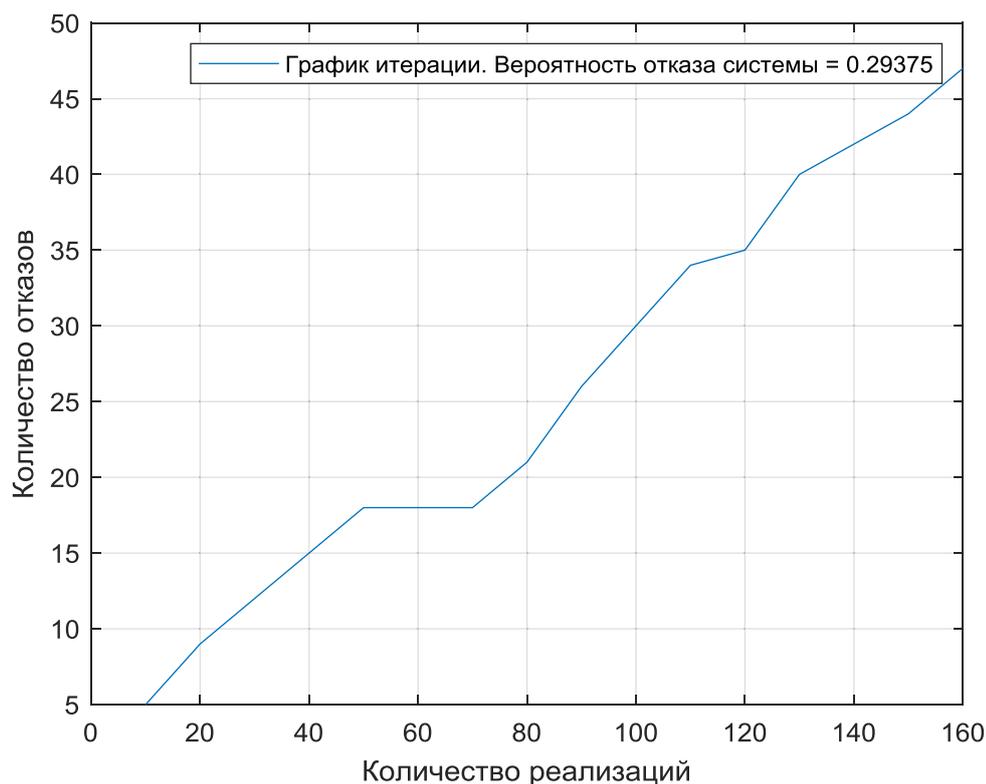


Рисунок 10 – Величины надежности

Figure 10 – Reliability values

4. Обсуждение результатов

Данный пример демонстрирует возможности метода расчета зданий на надежность с применением возможностей вычислительного комплекса MIDAS/Gen, принципов Еврокода и подходов метода Пушвер, а также учета повторяемости землетрясений, нормируемых Картами сейсмического зонирования Республики Казахстан.

Показано, что нормативные документы на основе Еврокода содержат всю необходимую информацию для расчета величин надежности, которые являются в конечном счете и показателями сейсмостойкости здания и его качества.

Величина надежности по расчету в данном случае базируется на простых предпосылках о модели воздействия.

Безусловно, что практическая реализация данного метода должна основываться на учете регионального характера и полиэкстремальности сейсмического воздействия.

Следует отметить, что Пушвер метод интегрирован во многие расчетные комплексы, которые также могут применяться для реализации указанного метода, SAP2000, ETABS, FESPA, SOFISTIK, SCADA PRO, INDYAS, DRAIN-2DX, SeismoStuct, ADAPTIC, RUAUMOKO 3D.

Область применения данного метода это расчеты зданий для составления Специальных Технических Условий, а также расчеты уникальных зданий и сооружений. В конечном счёте, главной задачей является проектирование и строительство надежных зданий, эксплуатация которых безопасна для населения.

Представляются интересными предложения по уровням надежности высотных зданий [12], которые являются ответственными сооружениями. Указанные там величины

нормируемой надежности могут быть использованы как критерии сейсмостойкости высотных зданий.

5. Выводы

1. Разработана методика расчета надежности зданий, основанная на предварительных нормативных расчетах здания с использованием вычислительного комплекса Midas gen, последующего использования Пушвер анализа и цифрового моделирования сейсмического воздействия. Учитываются результаты Карт сейсмического зонирования Республики Казахстан.

2. Область применения метода расчетов зданий и сооружений, проектируемых на основе Специальных Технических Условий - высотные, протяженные здания, объекты, работающие в сложных условиях (ТЭЦ, ГЭС), объекты вблизи тектонических разломов и т.д.

Список литературы

1. Барштейн М.Ф. Приложение вероятностных методов к расчету сооружений на сейсмические воздействия // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1960. № 2. С.6-14.
2. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. М.: Стройиздат. 1961. 202 с.
3. Жунусов Т.Ж., Пак Э.Ф., Лапин В.А. Сейсмостойкость многоэтажных каркасных промзданий, моделируемых нелинейными нестационарными системами. «Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций». 1986, вып.14-15(24-25). С.3-9.
4. Пак Э.Ф., Лапин В.А. Колебания промышленных зданий как нелинейных нестационарных систем при сейсмических воздействиях. М.: Наука. «Расчет и проектирование зданий для сейсмоопасных районов». 1988, с.115-118.
5. Кириков Б.А. Статистический метод расчета конструкций на сейсмические воздействия как нелинейных систем // *Сейсмостойкое строительство*. 1978. Вып.4.С.4-11.
6. Lapin V. A., Yerzhanov S. E., Aldakhov Y. S. (2020) Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure *Journal of Physics: Conference Series* 1425 012006 doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012006
7. Напетваридзе Ш.Г., Кириков Б.А., Чачава Т.Н., Абакаров А.Д., Бурчуладзе Т.П., Жоржوليани Г.В., Кучухидзе З.А., Реквава П.А., Тимченко И.Э., Уклеба Д.К. Вероятностные оценки сейсмических нагрузок на сооружения. М.: Наука. 1987.120 с.
8. Gulvanessian H, Calgaro J.-A. AND Holicky M. *Designers' Guide to EN 1990 Eurocode: Basis of structural design*. Published 2002, 978 0 7277 3011 4, pp. 263
9. Основы строительного проектирования. Агентство Республики Казахстан по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2011. ISBN 978-601-7330-43-9. 96 с.
10. Соснин А.В. Особенности оценки дефицита сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий методом нелинейного статистического анализа в SAP2000 // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2016. Т.16. №1. С. 12–19. DOI: 10.14529/build160102
11. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – Изд-во «Советское радио», Москва, 1971.
12. Жемчугов-Гитман Д.М., Мозжухин Л.В., Уздин А.М. К вопросу задания уровня расчетного воздействия и надежности высотного строительства // *Сейсмостойкое*

строительство. Безопасность сооружений».2021.№1.С.43-56. DOI:/10.37153/2618-9283-2021-1-43-56.

References

1. Barshtejn M.F. Prilozhenie veroyatnostnyh metodov k raschetu sooruzhenij na sejsmicheskie vozdejstviya. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1960, no. 2, pp. 6-14. (In Russian)
2. Bolotin V.V. Statisticheskie metody v stroitel'noj mekhanike. M.: Strojizdat, 1961.202 p. (In Russian)
3. Zhunusov T.Zh., Pak E.F., Lapin V.A. Sejsmostojkost' mnogoetazhnyh karkasnyh promzdaniy, modeliruemyh nelinejnymi nestacionarnymi sistemami. «Issledovaniya sejsmostojkosti sooruzhenij i konstrukcij», 1986, vyp.14-15(24-25), pp.3-9. (In Russian)
4. Pak E.F., Lapin V.A. Kolebaniya promyshlennyh zdaniy kak nelinejnyh nestacionarnykh sistem pri sejsmicheskikh vozdejstviyah. M.: Nauka, «Raschet i proektirovanie zdaniy dlya sejsmoopasnyh rajonov». 1988, pp.115-118. (In Russian)
5. Kirikov B.A. Statisticheskij metod rascheta konstrukcij na sejsmicheskie vozdejstviya kak nelinejnyh sistem. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. 1978, vyp.4, pp.4-11. (In Russian)
6. Lapin V. A., Yerzhanov S. E., Aldakhov Y. S. (2020) Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure Journal of Physics: Conference Series 1425 012006 doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012006
7. Napetvaridze Sh.G., Kirikov B.A., Chachava T.N., Abakarov A.D., Burchuladze T.P., Zhorzholiani G.V., Kuchuhidze Z.A., Rekvava P.A., Timchenko I.E., Ukleba D.K. Veroyatnostnye ocenki sejsmicheskikh nagruzok na sooruzheniya. M.: Nauka. 1987, 120 p. (In Russian)
8. Gulvanessian H, Calgaro J.-A. AND Holicky M. Designers' Guide to EN 1990 Eurocode: Basis of structural design. Published 2002, 978 0 7277 3011 4, p. 263.
9. Osnovy stroitel'nogo proektirovaniya. Agentstvo Respubliki Kazahstan po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva, 2011 god. ISBN 978-601-7330-43-9. 96 p. (In Russian)
10. Sosnin A.V. Osobennosti ocenki defitsita sejsmostojkosti zhelezobetonnyh karkasnyh zdaniy metodom nelinejnogo statisticheskogo analiza v SAP2000. Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura». 2016, vol. 16, no. 1, pp. 12–19. DOI: 10.14529/build160102 (In Russian)
11. Bykov V.V. Cifrovoe modelirovanie v statisticheskoy radiotekhnike. Izd-vo «Sovetskoe radio». Moskva, 1971. (In Russian)
12. Zhemchugov-Gitman D.M., Mozzhuhin L.V., Uzdin A.M. K voprosu zadaniya urovnya raschetnogo vozdejstviya i nadezhnosti vysotnogo stroitel'stva. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2021, no.1, pp.43-56. DOI:/10.37153/2618-9283-2021-1-43-56. (In Russian)

Сведения об авторах / Information about the authors

Лапин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, Директор Центра научных исследований строительной отрасли, ученый секретарь, член-корреспондент НИА РК и МИА, академик Казахской академии архитектуры и строительных наук, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан
lapin_1956@list.ru

Vladimir A. Lapin, Candidate of Technical Sciences, Director of the Center for Scientific Research of the Construction Industry, Scientific Secretary, Corresponding member of the NIA RK and MIA, academician of the Kazakh Academy of Architecture and Construction Sciences, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan
lapin_1956@list.ru

Нурсафин Руслан Ерланович, Заведующий отделом моделирования и расчета строительных конструкций, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан,
rnursafin@kazniisa.kz

Ruslan Y. Nursafin, Head of the Department of Modeling and Calculation of Building Structures, KazNIISA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan
rnursafin@kazniisa.kz

Пак Эрик Федорович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан
park_er@mail.ru

Erik F. Pak, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, KazNIISA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan
park_er@mail.ru