

Для цитирования: А.Д. Абакаров, Р.Г. Гасанов. Расчет надежности рамных систем при сейсмическом воздействии с оценкой живучести в процессе образования пластических шарниров в узлах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):123-130. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

For citation: A.D. Abakarov, R. G. Gasanov. Calculation of the reliability of frame systems under seismic impact and survivability assessment during the formation of plastic hinges in the nodes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):123-130. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 699.841

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАМНЫХ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ОЦЕНКОЙ ЖИВУЧЕСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ШАРНИРОВ В УЗЛАХ

А.Д. Абакаров, Р.Г. Гасанов

*Дагестанский государственный технический университет,
367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия*

Резюме: *Цель.* Целью исследования является разработка математических моделей оценки надежности двухэтажных рамных систем при сейсмическом воздействии с охватом всех возможных путей перехода в состояние механизма из-за образования пластических шарниров в узлах рам. **Метод.** Исследование основано на применении теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями для описания процессов перехода системы в разные состояния, в том числе и отказовые, в процессе образования пластических шарниров в узлах рам. **Результат.** Описаны возможные схемы образования пластических шарниров в двух типах статически неопределимых рам при горизонтальном сейсмическом воздействии: в раме 2-х этажного промышленного здания с большепролетным верхним этажом и с опиранием фермы покрытия на оголовки колонн и двухэтажной двухпролетной рамы простой регулярной структуры с жесткими узлами. Отмечены возможные состояния и составлены графы переходов, характерные для рассматриваемых рам при жестких дисках перекрытий в процессе сейсмического воздействия, представленного в виде стационарного случайного процесса. Представив переходы систем в рассматриваемые состояния, вызванные образованием пластических шарниров в той или иной последовательности при сейсмическом воздействии в виде марковского случайного процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями, получены системы дифференциальных уравнений первого порядка, описывающие данные переходы. Решив их путем применения преобразования Лапласа, получены аналитические выражения для оценки вероятностей нахождения рамных систем в рассматриваемых состояниях и выражения для оценки вероятностей безотказности этих систем. **Вывод.** Построив графы переходов, охватывающие все возможные состояния рамных систем в процессе образования пластических шарниров в узлах при сейсмическом воздействии и описав процесс переходов рам из одних состояний в другие марковским случайным процессом с непрерывным временем и дискретными состояниями, можно получить аналитические выражения для оценки вероятностей состояний этих систем, а также их надежности и живучести при сейсмическом воздействии.

Ключевые слова: *рамная система, сейсмическое воздействие, пластический шарнир, граф переходов, марковский случайный процесс, дифференциальные уравнения, вероятности состояний, живучесть, надежность*

CALCULATION OF THE RELIABILITY OF FRAME SYSTEMS UNDER SEISMIC IMPACT AND SURVIVABILITY ASSESSMENT DURING THE FORMATION OF PLASTIC HINGES IN THE NODES

A.D. Abakarov, R.G. Gasanov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract: Aim. The research aims to develop mathematical models for evaluating the reliability of two-story frame systems under the seismic impact, covering all possible ways of transition to the mechanism state due to the formation of plastic hinges in the frame nodes. **Methods.** The study is based on the application of the theory of Markov random processes in continuous time and their discrete states to describe the transition of a system into a different state. Such states include faults resulting from the formation of plastic hinges in the frame nodes. **Results.** Possible schemes of forming plastic hinges in two types of statically indeterminate frames under horizontal seismic impact are described: in the frame of a 2-story industrial building with a large-span upper floor and with the support of the roof truss on the heads of columns and a two-story two-span frame of a simple regular structure with rigid nodes. Possible states are noted and transition graphs are compiled, which are typical for the frames under consideration in the case of rigid disks of floor slabs during seismic impact, represented as a stationary random process. By representing the transition of systems to the states under consideration caused by the formation of plastic hinges in one or another sequence under seismic action in the form of a Markov random process in continuous time and discrete states, systems of first-order differential equations describing these transitions are obtained. Having solved them by applying the Laplace transform, analytical expressions for estimating the probabilities of finding frame systems in the states under consideration and expressions for estimating the probabilities of failure-free operation of these systems are obtained. **Conclusion.** By constructing transition graphs covering all possible states of frame systems during the formation of plastic hinges in nodes under seismic action and describing the process of frame transitions from one state to another by a Markov random process in continuous time and discrete states, analytical expressions for evaluating the probabilities of these system states, as well as their reliability and survivability under seismic action, can be obtained.

Keywords: frame system, seismic impact, plastic hinge, transition graph, Markov process, differential equations, state probabilities, durability, reliability

Введение. Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям имеет один существенный недостаток - он не учитывает в полной мере случайный характер распределения действующих нагрузок, параметров конструкций и их прочностных характеристик, что не позволяет получить количественные оценки надежности, т.е. вероятности ненаступления предельных состояний, как в конструкциях, так и в целом зданиях и сооружениях [1-5]. Показатель «надежность» или «вероятность отказа» дает более полную информацию о безопасности или опасности принимаемого проектного решения объекта, а также о преимуществе одного варианта конструктивного решения над другим.

Кроме того, включая вероятность отказа в минимизируемую функцию риска можно получить её оптимальную величину и, соответственно, оптимальные параметры конструкций, соответствующие уровню ответственности сооружения [5-14].

Теория надежности конструкций, зданий и сооружений, которая в 70-х и 80-х годах двадцатого века развивалась интенсивно, в настоящее время не получает особого внимания у ученых. Причиной тому, скорее всего, является отсутствие достаточной статистики некоторых характеристик воздействий и потерь при отказах конструкций, методики оценки обоснованных предельно допустимых уровней вероятностей безотказности зданий и сооружений или опти-

мальных уровней надежности с учетом возможных как экономических, так и социальных потерь. Тем не менее, наука в данной области развивается, эти задачи в конечном итоге будут решены. Важно, чтобы, пока определяются с предельными значениями, иметь полноценную методику расчета надежности зданий и сооружений при заданных распределениях нагрузок, воздействий, характеристик материалов и параметров конструкций.

Здания и сооружения в целом являются многоэлементными сложными системами. Их сложность, прежде всего, заключается в том, что частичный или полный отказ какого-либо несущего элемента, как правило, приводит к перераспределению нагрузок и усилий между другими структурными элементами, после чего, система в целом может отказать или переходить в другое безотказное состояние, хотя может быть с потерей определенного резерва несущей способности.

Если сооружения могут подвергаться еще и сейсмическому воздействию, то задача расчета надежности сильно осложняется, так как все это должно быть оценено во временной области [15-17].

Постановка задачи. Для расчета надежности строительных конструктивных систем применяются разного типа модели в зависимости от того, речь идет о безотказности элемента или в целом системы [5,6,7,8,11]. Если в целом системы, то применяются параметрические модели, основанные на оценке вероятности невыхода параметров системы, определяющих её качество, за пределы границы пространства качества [6,8,18].

В случае многоэлементных (многосвязевых) систем, подверженных сейсмическому воздействию, отказ элемента или элементов которых не приводит к отказу системы или потери её живучести, а переводит её в новое безотказное состояние (состояния).

Более применимыми для разработки методики оценки надежности являются модели, основанные на теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями [7,17,19].

При разработке этих моделей для каждой конкретной системы составляется граф переходов с указанием всех возможных состояний и интенсивностей переходов в эти состояния. При этом, состояние системы в момент начала воздействия называется начальным, состояние при котором система отказывает – отказовым, а остальные – промежуточными.

Для каждого графа переходов составляется система дифференциальных уравнений 1-го порядка, решая которую находим вероятности попадания системы в рассматриваемые состояния. Надежность системы определяем в виде суммы вероятностей безотказовых состояний системы.

В настоящей работе рассматриваются задачи разработки моделей расчета надежности 2-х этажных рамных систем регулярной и нерегулярной структуры с учетом последовательности образования в узлах шарниров пластичности и перехода их в состояние механизма при сейсмическом воздействии, представленного в виде стационарного случайного процесса.

Методы исследования. Рама 1. На рис. 1.а показана поперечная рама двухэтажного промышленного здания с жесткими узлами соединения колонн и ригелей в уровне верха первого этажа и опиранием фермы на оголовки колонн, узлы соединения которой с колоннами можно считать шарнирными.

На рис. 1.б показана расчетная схема рамы. Конструкции перекрытий в горизонтальной плоскости запроектированы как жесткие диски. При горизонтальном сейсмическом воздействии максимальные усилия в колоннах будут у опор, где при превышении определенных их предельных величин образуются пластические шарниры. При наличии шарниров в верхнем и нижнем сечениях колонн хотя бы одного этажа, система переходит в механизм, т.е. в состояние отказа.

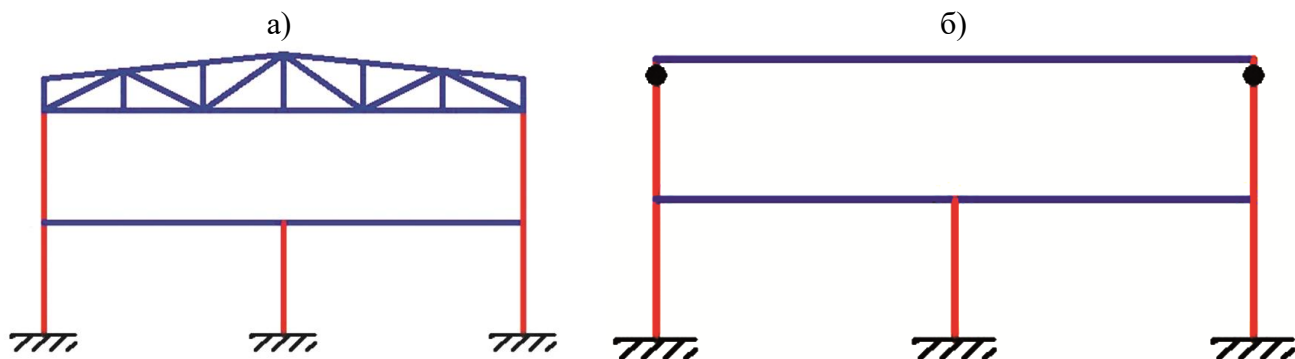


Рис.1. Поперечная рама промышленного здания (а) и её расчетная схема (б)
Fig. 1. The transverse frame of an industrial building (a) and its design scheme (b)

На рис. 2 показан граф переходов системы в возможные состояния, где через H_0 обозначено начальное состояние, H_1 – состояние с пластическими шарнирами у верха колонн 1 этажа и конструктивными шарнирами у верха колонн 2 этажа, H_2 – состояние с пластическими и конструктивными шарнирами в колоннах верхнего этажа, H_3 – состояние с пластическими шарнирами в колоннах первого этажа, H_4 – состояние с пластическими шарнирами у верха колонн 1 этажа и низа колонн 2 этажа и конструктивными шарнирами в уровне верха колонн 2 этажа.

Состояния H_0 и H_1 является неотказовыми, а H_2 , H_3 и H_4 – отказовыми. Интенсивности переходов в соответствующие состояния обозначены через λ_{01} , λ_{02} , λ_{13} , λ_{14} . Данные состояния и переходы соответствуют требованиям ординарности и отсутствия последствия, которые предъявляются марковским случайным процессам с непрерывным временем и дискретными состояниями [19].

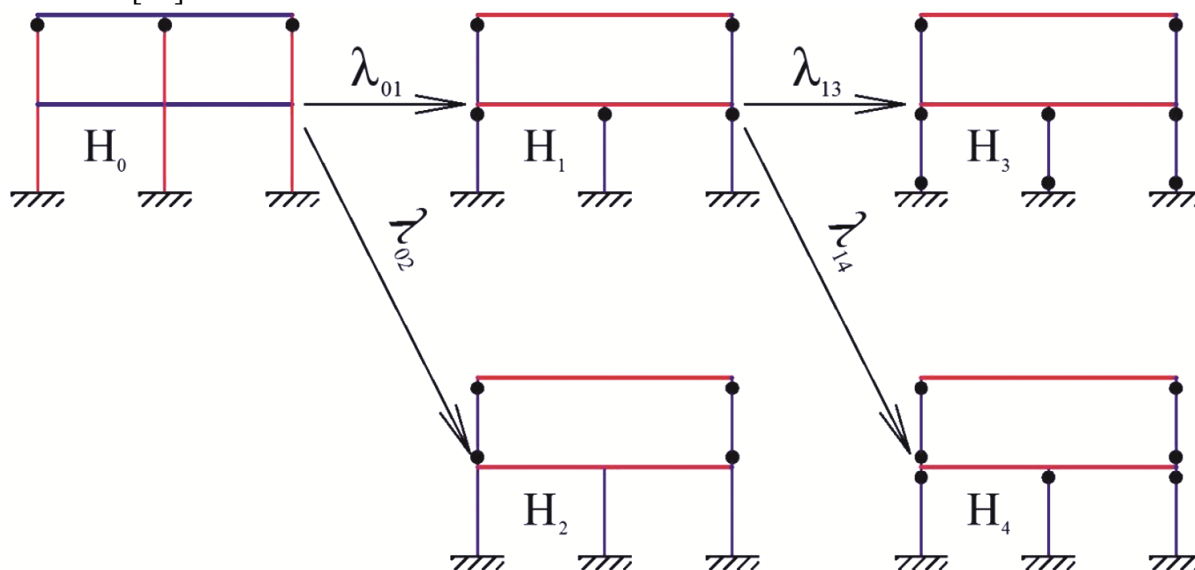


Рис.2. Граф переходов рамы в состояния механизмов (отказа) при сейсмическом воздействии
Fig. 2. Graph of transitions of the frame to the state of the mechanism (failure) under seismic action

Система дифференциальных уравнений соответствующая рис. 2, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 P'_0(t) + (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(t) &= 0; \\
 P'_1(t) - \lambda_{01}P_0(t) + (\lambda_{13} + \lambda_{14})P_1(t) &= 0; \\
 P'_2(t) - \lambda_{02}P_0(t) &= 0; \\
 P'_3(t) - \lambda_{13}P_1(t) &= 0; \\
 P'_4(t) - \lambda_{14}P_1(t) &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$ - вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях за период времени t , соответствующего продолжительности сейсмического воздействия.

Решая систему уравнений (1) путем преобразований Лапласа [20] при начальных условиях $P_0(t) = 1$, $P_i(0) = 0$, $i=1,2,3,4$ получим:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= \exp[-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t]; \\ P_1(t) &= \frac{\lambda_{01}}{(\lambda_{13} + \lambda_{14}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t}]; \\ P_2(t) &= -\frac{\lambda_{02}}{\lambda_{01} + \lambda_{02}} [1 - e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t}]; \\ P_3(t) &= \lambda_{01} \lambda_{13} \left[\frac{e^{-\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_1 - \bar{\lambda}_2) \bar{\lambda}_1} + \frac{e^{-\bar{\lambda}_2 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1) \bar{\lambda}_2} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1 \bar{\lambda}_2} \right]; \\ P_4(t) &= P_3(t) \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{13}}. \end{aligned}$$

Здесь: $\bar{\lambda}_1 = -(\lambda_{01} + \lambda_{02})$; $\bar{\lambda}_2 = -(\lambda_{13} + \lambda_{14})$.

Вероятность нахождения системы в безотказовых состояниях

$$P(t) = P_0(t) + P_1(t).$$

Вероятность попадания в отказовые состояния

$$Q(t) = P_2(t) + P_3(t) + P_4(t).$$

Вероятностная оценка живучести системы будет соответствовать вероятности нахождения системы в состоянии H_1 , то есть $P_1(t)$.

Рамa 2. На рис. 3 показаны возможные дискретные состояния и переходы двухпролетной двухэтажной рамы с жесткими дисками перекрытий и жесткими узлами соединения колонн с ригелями из-за образования пластических шарниров в узлах при горизонтальном сейсмическом воздействии.

По рис.3 видно, какой порядок образования пластических шарниров соответствует указанным состояниям. Здесь состояния H_0 , H_1 , H_2 и H_3 являются безотказовыми, а H_4 и H_5 – отказовыми. Данные состояния и последовательности переходов также можно описать марковским случайным процессом с непрерывным временем и дискретными состояниями.

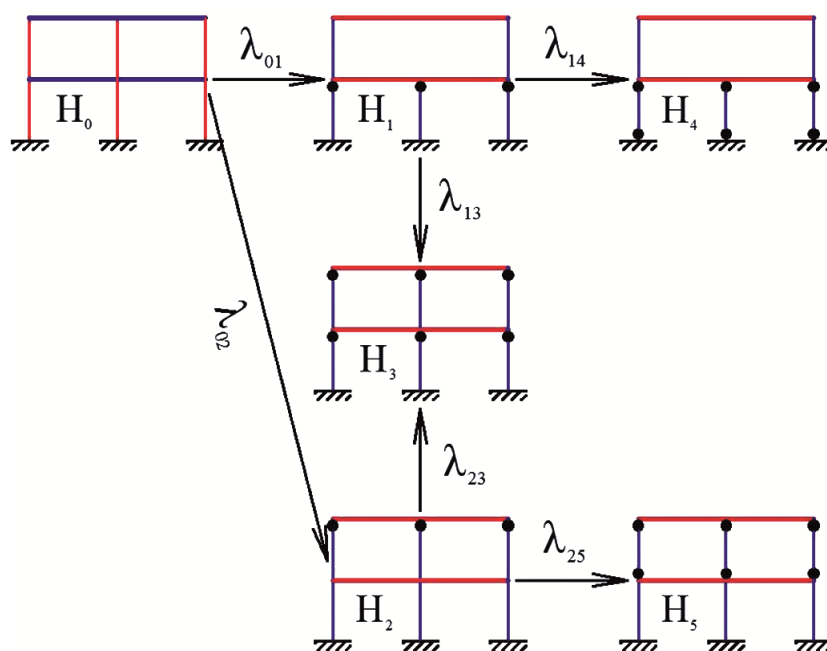


Рис.3. Граф переходов рамы в состояния механизмов (отказа) при сейсмическом воздействии
 Fig. 3. Graph of transitions of the frame to the state of the mechanism (failure) during seismic impact

Система дифференциальных уравнений в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned} P'_0(t) + (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(t) &= 0; \\ P'_1(t) - \lambda_{01}P_0(t) + (\lambda_{13} + \lambda_{14})P_1(t) &= 0; \\ P'_2(t) - \lambda_{02}P_0(t) + (\lambda_{23} + \lambda_{25})P_2(t) &= 0; \\ P'_4(t) - \lambda_{14}P_1(t) &= 0; \\ P'_5(t) - \lambda_{25}P_2(t) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Состояние H_3 в систему (2) не включено для упрощения задачи, но ниже вероятность $P_3(t)$ будет определена.

Решая систему (2) при начальных условиях $P_0(0) = 1$, $P_i(0) = 0$, $i=1,2,3,4,5$, находим:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= \exp[-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t]; \\ P_1(t) &= \frac{\lambda_{01}}{(\lambda_{13} + \lambda_{14}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t}]; \\ P_2(t) &= \frac{\lambda_{02}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{25})t}]; \\ P_4(t) &= \lambda_{01}\lambda_{14} \left[\frac{e^{\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_1 - \bar{\lambda}_2)\bar{\lambda}_1} + \frac{e^{\bar{\lambda}_2 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1)\bar{\lambda}_2} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1\bar{\lambda}_2} \right]; \\ P_5 &= \lambda_{02}\lambda_{25} \left[\frac{e^{\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1^*)\bar{\lambda}_1} + \frac{e^{\bar{\lambda}_2^* t}}{(\bar{\lambda}_2^* - \bar{\lambda}_1)\bar{\lambda}_2^*} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1\bar{\lambda}_2^*} \right]. \end{aligned}$$

Здесь: $\bar{\lambda}_1 = -(\lambda_{01} + \lambda_{02})$; $\bar{\lambda}_2 = -(\lambda_{13} + \lambda_{14})$; $\bar{\lambda}_2^* = -(\lambda_{23} + \lambda_{25})$.

Вероятность нахождения системы в безотказовом состоянии H_3 определяем в виде

$$P_3(t) = 1 - [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_4(t) + P_5(t)],$$

а надежность системы

$$P(t) = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t).$$

Вероятность перехода системы в отказовые состояния

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Живучесть системы определяем в виде суммы вероятностей нахождения системы в безотказовых состояниях за исключением $P_0(t)$

$$P_g(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t).$$

Обсуждение результатов. Существуют разные схемы, описывающие соединения элементов в системах с учетом их взаимного влияния в процессе работы. В большинстве случаев они представляют собой схемы с последовательным, параллельным или смешанным соединением элементов. Они служат основанием для разработки моделей оценки надежности систем.

При динамических воздействиях важно чтобы эти схемы учитывали структурные изменения, происходящие в системах во времени. Для этого, как показано в работе, успешно могут быть применены графы переходов, охватывающие все возможные во времени состояния системы, связанные с перестройкой внутренней структуры системы и условиями переходов в эти состояния. В большинстве случаев здания и сооружения являются статически неопределимыми системами, где количество лишних связей напрямую влияет на их надежность. Потеря этих связей, в конечном итоге, приводит систему в статически неопределимую, а после, и в механизм.

Общепринятые схемы параллельного и смешанного соединения элементов в данном случае не позволяют получить математическую модель оценки надежности системы, так как необходимо охватить весь процесс деградации системы во времени. Это можно учесть, как показано в работе, применением к решению задачи теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями.

При этом к каждой конструктивной системе требуется индивидуальный подход. Соответственно отличаются и получаемые в конечном итоге математические выражения оценки вероятностей состояний и безотказности системы. В данной работе возможность реализации предлагаемой методики показана на примере двух двухэтажных поперечных рам с разным количеством элементов и лишних связей.

Вывод. Эволюцию во времени статически неопределимой конструктивной системы при сейсмическом воздействии необходимо описать составлением графа переходов во все возможные дискретные состояния. Для разработки моделей оценки надежности этих систем эффективно может быть применена математическая теория марковских случайных процессов, которая позволяет определить не только финальные вероятности состояний систем, но и промежуточные.

Библиографический список:

1. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. –М.: Гостройиздат, 1947. 92с.
2. Балдин В.А., Гольдентблат И.И., Коченев В.И., Пильдиш М.Я., Таль К.Э. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям. М.: Стройиздат, 1951. 272с.
3. Развитие методики расчета по предельным состояниям. Сборник статей под руководством Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1971. 175с.
4. Стрелецкий Н.Н. Первоочередные вопросы развития методики предельных состояний// Развитие методики расчета по предельным состояниям. М.: Стройиздат, 1971. с.87-91.
5. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239с.
6. Болотин, В.В. Методы теорий вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1982. 351с.
7. Капур, К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем –М.: Мир, 1980. 604с.
8. Аугусти, Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании./ Пер. с англ. Ю.Д. Сухова. –М.: Стройиздат, 1988. 584с.
9. Складнев Н.Н. Оптимальное проектирование железобетонных конструкций с учетом требования экономичности, технологичности, надежности, долговечности. Дис. на соискание учен. ст. доктора технических наук. –МИСИ им. Куйбышева, 1979. 350с.
10. Абакаров А.Д. Надежность и сейсмостойкость сооружений с резервированием. Дис. на соискание учен. ст. доктора технических наук. – ЦНИИСК им. Кучеренко, 1993. 426с.
11. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. –М.: Изд-во АСВ, 1998. -302с.
12. Райзер В.Д. Вероятностные методы в анализе надежности и живучести сооружений. М.: АСВ, 2018. 394с.
13. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М.: АСВ, 2016. 908с.
14. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций/ Научное издание.– М.: Изд-во АСВ, 2007. 256с.
15. Болотин В.В. Применение статистических методов для оценки прочности конструкций при сейсмических воздействиях// Инженерный сборник. –М.: Изд. АН СССР, 1960. Т.27. с.58-69.
16. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. М.: Стройиздат, 1987.
17. Айзенберг Я.М., Нейман А.И., Абакаров А.Д., Деглина М.М., Чачуа Т.Л. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. 246с.
18. Kameda H. Probability Distribution of the Maximum Response of Structures Subjected to Nonstationary Random Earthquake Motion// Mem. Fac. Enghg., Kyoto Univ., 1971. Vol. XXXIII. Part 4. pp. 243-280.
19. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские случайные процессы. –М.: Совет. радио., 1977. -485с.
20. Бейтаман Г., Эрдейн А. Таблица интегральных преобразований/ Том 1. Преобразование Фурье, Лапласа, Меллина. М.: Наука, 1960. 260с.

References:

1. Streletskiy N.S. Osnovy statisticheskogo ucheta koeffitsiyenta zapasa prochnosti sooruzheniy. –М.: Gostroyizdat, 1947. – 92s. [Streletsky N.S. Fundamentals of statistical accounting of the safety factor of structures. –М.: Gostroyizdat, 1947. 92p. (In Russ)]
2. Baldin V.A., Gol'dentblat I.I., Kochenev V.I., Pil'dish M.YA., Tal' K.E. Raschet stroitel'nykh kon-struktsiy po pre-del'ny'm sostoyaniyam. –М.: Stroyizdat, 1951. -272s. [Baldin V.A., Goldentblat I.I., Kochenev V.I., Pildish M.Ya., Tal K.E. Calculation of building structures by limiting conditions. М.: Stroyizdat, 1951. 272p. (In Russ)]
3. Razvitiye metodiki rascheta po pre-del'ny'm sostoyaniyam. Sbornik statey pod rukovodstvom Ye.I. Be-lenya. – М.: Stroyizdat, 1971. – 175s. [Development of calculation methods for limiting states. Collection of articles led by E.I. Bleached. М.: Stroyizdat, 1971. 175p. (In Russ)]
4. Streletskiy N.N. Pervoocherednyye voprosy razvitiya metodiki pre-del'nykh sostoyaniy// Razvitiye metodiki rascheta po pre-del'ny'm sostoyaniyam. –М.: Stroyizdat, 1971. – s.87-91 [Streletsky N.N. Priority issues of the development of the limit state methodology // Development of the calculation method for limit states. –М.: Stroyizdat, 1971. pp. 87-91. (In Russ)]
5. Rzhnitsyn, A.R. Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsiy na nadezhnost'. –М.: Stroyizdat, -1978. -239s. [Rzhnitsyn, A.R. The theory of calculating building structures for reliability. М.: Stroyizdat, 1978. 239p. (In Russ)]

6. Bolotin, V.V. Metody teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy –M.: Stroyizdat, -1982. - 351s. [Bolotin, V.V. Methods of probability theories and reliability theory in the calculations of structures. M.: Stroyizdat, 1982. 351p.(In Russ)]
7. Kapur, K., Lamberson L. Nadezhnost' i proyektirovaniye sistem –M.: Mir, -1980. – 604s. [Kapoor, K., Lumberson L. Reliability and design of systems M.: Mir, 1980. 604p. (In Russ)]
8. Augusti, G., Baratta A., Kashiati F. Veroyatnostnyye metody v stroitel'nom proyektirovanii./ Per. s angl. YU.D. Sukhova. –M.: Stroyizdat, 1988. -584s. [Augusti, G., Baratta A., Kashiati F. Probabilistic methods in building design. / Per. from English Yu.D. Sukhova. M.: Stroyizdat, 1988. 584p. (In Russ)]
9. Skladnev N.N. Optimal'noye proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom trebovaniya ekonomichnosti, tekhnologichnosti, nadezhnosti, dolgovechnosti. Dis. na soiskaniye uchen. st. doktora tekhnicheskikh nauk. – MISI im. Kuybysheva, 1979. -350s. [Skladnev NN Optimal design of reinforced concrete structures, taking into account the requirements of efficiency, manufacturability, reliability, durability. Dis. scientist. Art. Doctors of technical sciences. –MISI them. Kuibyshev, 1979. 350p. (In Russ)]
10. Abakarov A.D. Nadezhnost' i seysmostoykost' sooruzheniy s rezervirovaniyem. Dis. na soiskaniye uchen. st. doktora tekhnicheskikh nauk. – TSNIISK im. Kucherenko, 1993. -426s. [Abakarov A.D. Reliability and earthquake resistance of redundant structures. Dis. scientist. Art. Doctors of technical sciences. TSNIISK them. Kucherenko, 1993.426 p. (In Russ)]
11. Rayzer, V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proyektirovanii. –M.: Izd-vo ASV, 1998. -302s. [Riser, V.D. Reliability theory in building design. M.: Publishing house of the DIA, 1998.302p. (In Russ)]
12. Rayzer V.D. Veroyatnostnyye metody v analize nadezhnosti i zhivuchesti sooruzheniy. –M.: ASV, 2018. -394s. [Riser V.D. Probabilistic methods in the analysis of the reliability and survivability of structures. –M.: DIA, 2018. 394p. (In Russ)]
13. Mkrtychev O.V., Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti v proyektirovanii stroitel'nykh konstruksiy. –M.: ASV, 2016. -908s. [Mkrtychev O.V., Raizer V.D. Reliability theory in the design of building structures. M.: DIA, 2016. 908p. (In Russ)]
14. Perel'muter, A.V. Izbrannyye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nykh konstruksiy/ Nauchnoye izdaniye.– M.: Izd-vo ASV, 2007. -256s. [Perel'muter, A.V. Selected Problems of Reliability and Safety of Building Structures / Scientific publication. - M.: DIA Publishing House, 2007. 256p. (In Russ)]
15. Bolotin V.V. Primeneniye statisticheskikh metodov dlya otsenki prochnosti konstruksiy pri seysmi-cheskikh vozdeystviyakh// Inzhenernyy sbornik. –M.: Izd. AN SSSR, 1960. T.27. – s.58-69. [Bolotin V.V. The use of statistical methods to assess the strength of structures under seismic effects // Engineering Digest. M.: Ed. USSR Academy of Sciences, 1960.V.27. pp. 58-69. (In Russ)]
16. Nikolayenko N.A., Nazarov YU.P. Dinamika i seysmostoykost' sooruzheniy. –M.: Stroyizdat, 1987. [Nikolaenko N.A., Nazarov Yu.P. Dynamics and earthquake resistance of structures. M.: Stroyizdat, 1987. (In Russ)]
17. Ayzenberg YA.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptivnyye sistemy seysmicheskoy zashchity sooruzheniy. –M.: Nauka, 1978. – 246s. [Eisenberg Y.M., Neumann A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptive systems of seismic protection of structures. M.: Nauka, 1978. 246p. (In Russ)]
18. Kameda H. Probability Distribution of the Maximum Response of Structures Subjected to Nonstationary Random Earthquake Motion // Mem. Fac. Enghg., Kyoto Univ., 1971. Vol. Xxxiii. Part 4. pp. 243-280.
19. Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markovskiye sluchaynyye protsessy. –M.: Sovet. radio., 1977. -485s. [Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markov random processes. M.: Council. radio., 1977. 485p. (In Russ)]
20. Beytaman G., Erdeyn A. Tablitsa integral'nykh preobrazovaniy/ Tom 1. Preobrazovaniye Fur'ye, Laplasya, Mellina. –M.: Nauka, 1960. -260s. [Beitaman G., Erdein A. Table of integral transforms / Volume 1. Fourier, Laplace, Mellin transform. M.: Nauka, 1960.260p. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Абакаров Абакар Джансулаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры; e-mail: a.abakarov@bk.ru

Гасанов Руслан Гасанович, старший преподаватель кафедры архитектуры; e-mail: ruslan.gasanovich@mail.ru

Information about authors:

Abakar D. Abakarov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of Architecture; e-mail: a.abakarov@bk.ru

Ruslan G. Gasanov, Senior Lecturer, Department of Architecture; e-mail: ruslan.gasanovich@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 20.05.2020.

Received 20.05.2020.

Принята в печать 18.06.2020.

Accepted for publication 18.06.2020.