

# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ С УЧЁТОМ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА: ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

## ECONOMIC EFFICIENCY OF OPERATION OF ELEMENTS OF CIVIL BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT RESIDUAL RESOURCE: PROBABILISTIC-STATISTICAL APPROACH

V. Shamraeva

*Summary.* The subject of the study is the processes that increase the efficiency of managing the recovery cycle of complex technical systems, adapted to the operation of elements of civil buildings, taking into account their features. The purpose of the article is to evaluate and ensure the economic efficiency of the operation of complex technical systems using civil buildings as an example, taking into account the influence of the residual resource of their elements. To determine the effectiveness of managing the recovery cycle of elements of civil buildings, it is proposed to use indicators of the frequency (repeatability) of occurrence of adverse situations among users of buildings and a set of socially significant costs for ensuring the quality of the building's operation over a long time. The study of these parameters is carried out on a probabilistic-statistical analysis of the existing methods of technical operation of elements of civil buildings, and provide a theoretical justification for the effectiveness of planning the main operational measures-repairs, taking into account their specifics.

*Keywords:* efficiency, recovery cycle, stochastic process, residual life, operation management of complex technical system.

**Шамраева Виктория Викторовна**

К.ф.-м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Москва  
VVShamraeva@fa.ru

*Аннотация.* Предметом исследования являются процессы, повышающие эффективность управлением восстановительным циклом сложных технических систем, адаптированные к эксплуатации элементов гражданских зданий с учетом их особенностей. Цель статьи — оценка и обеспечение экономической эффективности эксплуатации сложных технических систем на примере гражданских зданий, принимая во внимания влияние остаточного ресурса их элементов. Для определения эффективности управления восстановительным циклом элементов гражданских зданий предлагается использовать показатели частоты (повторяемости) возникновения неблагоприятных ситуаций у пользователей зданиями и совокупность общественно значимых затрат на обеспечение качества функционирования здания в течение продолжительного времени. Исследование этих параметров проводится на вероятностно-статистическом анализе сложившихся методов технической эксплуатации элементов гражданских зданий, и обеспечивают теоретическое обоснование эффективности планирования основных эксплуатационных мероприятий-ремонтов с учётом их специфики.

*Ключевые слова:* остаточный ресурс, эффективность, восстановительный цикл, стохастический процесс, управление эксплуатацией сложной технической системы.

### Введение

**Р**ассмотрим сложную техническую систему и взаимосвязанную последовательность действий до момента принятия решения. Каждое такое решение влечёт выполнение других действий, которые могут повлиять на исходную систему и изменить принятие нового решения. В рамках такого процесса встает вопрос о соответствии результатов функционирования сложной технической системы своему целевому назначению, то есть возникает задача эффективности управления восстановительным циклом этой системы. В статье затронуты вопросы экономической эффективности эксплуатации элементов гражданских зданий как сложной технической системы с учётом их остаточных ресурсов.

Отметим, что при постоянно растущих материальных затратах на техническую эксплуатацию элементов гражданских зданий, качественный уровень качества функционирования гражданских зданий, изменяется крайне незначительно. Качество функционирования системы в целом ухудшается в процессе эксплуатации гражданских зданий вследствие отказов некоторых их элементов. Возникает необходимость исследования взаимосвязи параметров восстановительного цикла и показателей качества его функционирования во взаимосвязи с комплексным показателем экономической эффективности системы на всех этапах жизненного цикла.

Вероятностно-статистический анализ сложившихся методов технической эксплуатации гражданских зда-

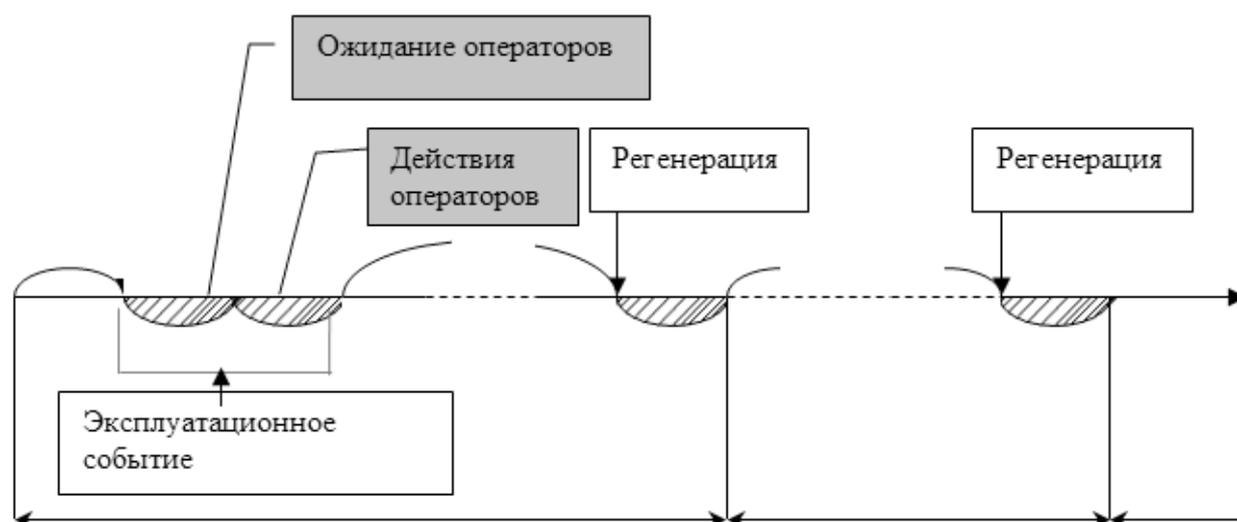


Рис. 1. Представление восстановительного цикла

ний позволяет обеспечить требуемое качество сложных технических систем при их создании и использовании, а также минимизацию эксплуатационных издержек, возникающих в процессе их функционирования. Аппарат теории надежности для технической эксплуатации сложных систем и финансово-экономическое обоснование составляющих эффективности технической эксплуатации в нашей стране был исследован в [1]. В работах Е. Ю. Барзиловича, Ю. К. Беляева, Б. В. Гнеденко, И. Б. Герцбаха, В. А. Каштанова, Б. А. Козлова, Х. Б. Кордонского, Г. Г. Маньшина, И. А. Ушакова и многих других ученых эта теория получила дальнейшее развитие. Для различных отраслей народного хозяйства — авиации, электронной промышленности, энергетики и т. д. уже разработан математический аппарат и методики его практического применения. Но для эффективного управления элементами гражданских зданий аппарат теории надежности используется весьма ограниченно [2,3,4] и в большей мере управление этой отраслью базируется на эмпирических методах. Единая система сбора и обработки информации о надежности разнотипных технических систем отсутствует, что очень затрудняет проектирование и эффективное управление технической системой с фиксированными показателями надёжности. В [5] для получения оценок основных показателей надёжности собраны априорные сведения о надежности разрабатываемых технических систем и их элементов и проанализированы их зависимости. Всё перечисленное говорит о том, что необходимо пересмотреть качественные и количественные показатели эксплуатации элементов гражданских зданий, уровень их функциональной надёжности и живучести; показатели экономичности, уровня услуг в процессе технического обслуживания и эксплуатации.

### Эффективность управления эксплуатацией элементов гражданских зданий

Под восстановительным циклом элементов гражданских зданий будем понимать — стохастический процесс  $E(t)$  между двумя последовательными регенерациями. Функцию, описывающую моменты проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР), обозначим через  $G(x)$ . Очевидно, что все стратегии управления отличаются функциями  $G(x)$ . Если определить средние удельные затраты, частоту аварийных и профилактических ремонтов функционалами, зависящими от  $G(x)$ , построенных на траекториях  $E(t)$ , то их математические ожидания, будут определять эффективность функционирования сложной технической системы [6], в том числе и элементов гражданских зданий. На рисунке 1 схематично представлен восстановительный цикл такой системы [7].

Стратегическим управлением определяются случайные моменты времени, в которые выполняется регенерация конструктивного элемента (оборудования) системы. Операторы (различные специализированные организации) выполняют регенерацию системы. Те или иные эксплуатационные события (э.с.), позволяют исчерпывающе представить поведение системы во времени (включая время ожидания начала восстановительных работ операторов и время их выполнения).

Э.с. возникают в зависимости от выбранной стратегии в составе восстановительного цикла, и описывают поведение системы в течение этого цикла. Все э.с. разбиваются на отдельные, тождественные по содержа-



Рис. 2. Типовые варианты стратегий восстановительного цикла сложного объекта.

нию фазы. Каждая фаза — это отрезок времени между смежными моментами восстановлениями. Все э.с., которые могут произойти в этом временном интервале, представляют собой стохастический процесс  $E(t)$ , описывающий поведение системы во времени [8]. Каждый конструктивный элемент или оборудование технической системы характеризуется средней наработкой. По завершению использования элемента его остаточный ресурс уменьшается и подвергается стационарному процессу восстановления. На неограниченно большом временном периоде задаются вероятности равномерной деятельности операторов. Таким образом, можно вычислить математическое ожидание числа э.с. на заданном временном интервале. Определим случайную величину  $X$  как время, за которое элемент не достигнет своего предельного состояния, с функцией распределения  $F(x)=P(X<x)$ . Функция  $\bar{F}(x)=1-F(x)$  показывает, с какой вероятностью элемент проработает больше, чем время  $x$ . Если элемент не отказал до момента времени  $t$ , то  $P(X < t+x | X \geq t) = \bar{F}(t+x)/\bar{F}(t)$  определяет условную вероятность его отказа на интервале  $(t, t+x)$ . В [9] рассматриваются примеры решения задач надёжности сложных технических систем, используя логико-вероятностные методы. Повышение эффективности управлением таких систем может быть достигнута сочетанием традиционного метода оптимизации топологии и классификационного подхода-вероятностных нейронных сетей [10]. В [11] исследуется задача оптимизации топологии на основе теории надёжности для проектирования континуальных структур с некоей неопределённостью в материалах и внешних нагрузках. При этом численные результаты, приведённые в [11], показывают, что учёт факторов неопределённости во время процедуры опти-

мизации топологии оказывает большое влияние на итоговые конфигурации. Если рассмотреть деятельность операторов на счётном временном периоде времени, то в работах [12, 13] приведены результаты применительно к таким сложным системам как финансовые рынки. В [14] для счётного периода времени моделируется развитие социально-экономических систем на примере финансовых потоков.

При анализе эффективности эксплуатации сложных технических систем, качество эксплуатации определяется следующими показателями — коэффициентом готовности и коэффициентом оперативной готовности. Поскольку средняя наработка на отказ любого элемента здания на порядки больше времени его восстановления, то применительно к элементам здания, как сложной технической системы, рассмотренные показатели имеют несколько ограниченные возможности [15,16]. При даже значительных изменениях стратегии эксплуатации, значение коэффициента готовности близко к единице. Однако эти изменения приводят к очень несущественным для восприятия последствиям. Что касается коэффициента оперативной готовности, то он предполагает прогнозируемую безотказность элемента на каком-то интервале времени необходимом для выполнения системой своей задачи. Но, большинство элементов здания, находится в состоянии непрерывного выполнения своих функций. Поэтому показатель оперативной готовности для них не актуален. Анализируя взаимоотношения операторов и пользователей здания, выявилось, что наиболее существенными в них являются повторяемость нежелательных для пользователей нарушений при функционировании здания (которые вызываются отказами элементов)

Таблица 1. Зависимость ожидаемого числа полных восстановлений от соотношения среднего срока службы и длительности рассматриваемого периода

Соотношение математического ожидания числа отказов за цикл регенерации к среднему сроку службы элемента	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Число полных восстановлений	0,031	0,121	0,263	0,449	0,674	0,933	1,227	1,555	1,922	2,321
Значение функции наработки на отказ	0,031	0,118	0,246	0,395	0,544	0,677	0,785	0,86	0,92	0,967
Соотношение математического ожидания числа отказов за цикл регенерации к среднему сроку службы элемента	2,2	2,5	2,7	3	3,2	3,5	3,7	4	4,5	5
Число полных восстановлений	2,767	3,455	4,004	4,632	4,921	5,211	5,212	5,22	5,32	5,92
Значение функции наработки на отказ	0,978	0,993	0,997	0,999	1	1	1	1	1	1



Рис. 3. Зависимость ожидаемого числа полных восстановлений от соотношения среднего срока службы и длительности рассматриваемого периода.

и быстрота устранения этих нарушений, а также совокупность материальных затрат, связанных с возникновением или предупреждением отказов. Таким образом, эффективность управления восстановительными циклами, в первую очередь должна определяться повторяемостью неблагоприятных для пользователей э.с., количественно определяемой частотой отказов.

Длительность восстановительного цикла зависит от применяемой стратегии управления. На стратегию управления влияют условия назначения и параметры регенерации системы. В нашем случае, для элементов гражданских зданий, можно использовать приведенные в [17] варианты стратегий восстановительного цикла (рис. 2).

При проведении ППР число отказов можно определить из основного уравнения восстановления [1], что весьма затруднительно. На практике технической эксплуатации зданий такой метод не применяется. Предлагается создать унифицированную форму в виде таблиц (или графиков) [7], в которой будут приводиться относительные значения частоты возникновения э.с. для всех возможных стратегий технической эксплуатации элементов здания. Это реализуется так. В лабораторных условиях выполняется расчет искомых показателей в зависимости от отношения всего разумного диапазона возможных сроков (или периодов) назначения выполнения эксплуатационных мероприятий к средней наработке элемента на отказ. Пример унификации для стратегии ремонтов, предусматривающей только строго периодическое полное восстановление, приведен в таблице 1 и на *рис. 3* [Надежность в технике: Справочник Т8: Эксплуатация и ремонт.— М. Машиностроение. 1990].

Из рисунка 3 видно, что при увеличении отношения периодичности выполнения эксплуатационного мероприятия к среднему числу отказов за цикл регенерации значение функции наработки на отказ стабилизируется.

Алгоритм действий лиц, управляющих выбором оптимального межремонтного периода, состоит в следующем. Во-первых, анализируя нормативные данные или экспертные оценки, определяется средняя наработка на отказ. Во-вторых, исходя из поставленной задачи, назначается периодичность выполнения эксплуатационного мероприятия. Для этого вычисляется отношение среднего числа отказов за цикл регенерации к среднему сроку службы элемента. В-третьих, по таблице находится относительное значение числа полных восстановлений или других, интересующих его показателей (фактическое значение интересующего параметра получается, если умножить найденное значение на значение средней наработки элементов).

Частота обращений к операторам, а также трудоемкость всех эксплуатационных мероприятий определяется как суммарное значение частот возникновения э.с. При этом операторы учитывают, как требования по плановым мероприятиям по восстановлению системы, так и требования, появляющиеся при возникновении э.с. Заметим, что на продолжительность отклонения социальных и экологических параметров системы от регламентированных значений оказывает влияние заложенного времени от случайного момента возникновения э.с. до планируемого срока его завершения, а также время оперативности эксплуатационной службы. Таким образом, при планировании стратегическим управлением эксплуатацией технической системы следует учесть эргономические свойства самого объекта. Для оптимального управления и энергетических характеристик элементов гражданского здания необходима экспериментальная идентификация динамических моделей теплообмена в его стенах [18]. К примеру, в [19] производится оценка теплоемкости, теплопроводности или коэффициента теплопередачи на границе раздела между стеной и окружающим воздухом.

Для большинства сложных технических систем экономическая эффективность технической эксплуатации определяется интенсивностью эксплуатационных затрат — отношением суммарных затрат, связанных с ремонтами системы за определенный промежуток времени, и издержек, связанных с ее неисправным состоянием к продолжительности этого периода. Общественно значимыми экономическими затратами в восстановительном цикле являются: затраты, связанных с проведением регенерации сложной системы; потери ресурсов при возникновении неисправностей в системе; издержки на восстановление работоспособности системы в аварийном порядке. Единовременные и удельные материальные затраты при возникновении э.с. определяются по статистическим данным или из нормативных источников. Произведение продолжительности э.с. на их удельные материальные затраты даст количественное значение материальных издержек, вызванных развитием э.с. во времени. Тогда отношение всей совокупности материальных затрат к длительности восстановительного цикла будет определять интенсивность материальных (трудовых) затрат [20].

Такой подход к оценке экономической эффективности технической эксплуатации большинства сложных систем традиционен и не учитывает специфику гражданских зданий как сложной системы. Для элементов гражданских зданий свойственна некоторая неопределенность в понятии отказ элемента. Скажем, для несущих конструкций гражданских зданий регламентировано четыре варианта их технического состояния. При этом, один из вариантов технического состояния

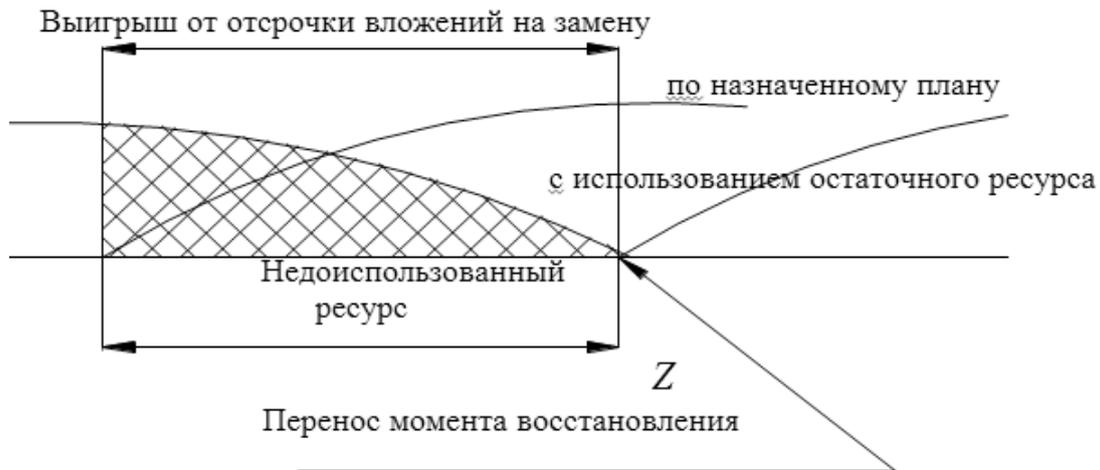


Рис. 4. Зависимость недоиспользованного ресурса и выигрыша от отсрочки материальных вложений на замену элемента гражданского здания.

является исправным, а остальные варианты — нежелательными. Дальнейшая эксплуатация элемента, находящегося в любом из состояний (кроме четвертого — аварийного), допускается при определенных ограничениях. Рассмотренная неопределенность является причиной критического отношения к широко распространенной стратегии эксплуатации, называемой системой ППР. Системой ППР предусматривается строго периодическое проведение ремонтов. Полное восстановление оборудования предполагается выполнять по достижению назначенного срока (независимо от э.с., которое возникает в межремонтный период). В этом случае длительность восстановительного цикла совпадает с назначенным межремонтным периодом. Среднее время, которое элемент проработает пока не сломается (наработка оборудования), не будет превышать длительности восстановительного цикла. Основным недостатком подобного подхода является то, что возможны ситуации, когда элемент технической системы заменяется, хотя сам он далеко не полностью исчерпал свой ресурс. Таким образом, системное обоснование плановых мероприятий технической эксплуатации элементов требует включения в оценку экономической эффективности понятия затраты, связанные с неполным использованием ресурса элементов здания при их плановой замене. Для решения этой проблемы предлагается следующий подход.

Необходимо оценить ожидаемое дальнейшее время безотказной работы объекта при достижении им определенного срока (коррелированного с каким-либо э.с.) и количественные показатели, влияющие на качество среды обитания. Поскольку хотелось бы рационально полностью использовать возможности элементов здания, то подобные оценки необходимы при назначении периодичности выполнения ППР [15]. Кроме того, при выполнении ППР технологической группы оборудова-

ния остаточный ресурс является критерием, позволяющим определить степень восстановления при устранении неисправностей аварийного характера (восстановление или замена оборудования).

Экономическое обоснование проведения эксплуатационных мероприятий также является весовым обстоятельством, требующим определение остаточного ресурса. Величина остаточного ресурса прямо пропорциональна возрасту элементов гражданских зданий. Будем считать, что условная плотность остаточного ресурса имеет логарифмически нормальный закон распределения:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), & x > t, \\ 0, & x \leq t, \end{cases}$$

где  $t$  — время, до которого «дожил» элемент,  $\sigma, \mu$  — параметры распределения. Произведя статистическое моделирование случайной величины  $X$ , оказалось, что ресурс не исчерпан даже тогда, когда элемент гражданского здания не достиг нормативного срока жизни. В настоящее время, замена элемента гражданского здания выполняется, несмотря на экономический аспект остаточного ресурса. Однако, на практике наблюдается совсем другая картина. При исправном элементе гражданского здания время его эксплуатации достигает и превышает нормативный срок службы. Это явление позволяет предположить, что элемент гражданского здания обладает некоторой остаточной стоимостью независимо от возраста и изменяется пропорционально его наработке [7]. На основании этого предположения операторы могут переносить сроки вывода из состава системы «устаревших»

и моменты установки новых элементов гражданского здания. Как следствие, вложение материальных средств на указанные процессы заметно уменьшается.

Проведём теоретическое обоснование эффективности планирования основных эксплуатационных мероприятий-ремонтов, технического обслуживания и технической диагностики зданий как сложных систем с учетом их специфики. Обозначим через  $Z_{пл}$  момент времени плановой замены элемента гражданских зданий, а через  $Z_{ост}$  некоторый его остаточный ресурс, если к назначенному моменту времени не произошел отказ (рис. 4) [7]. Предположим, что эксплуатация элемента гражданского здания продолжается до исчерпания остаточного ресурса. Пусть  $C_{восст.}(Z_{пл})$  это затраты на восстановление элемента гражданского здания, приведенные к первоначально назначенному моменту ППР. Тогда отношение стоимости замены элемента гражданского здания  $C_{расч}^{восст}$ , заложенной в смете, к  $(1+v)^{Z_{ост}}$  и будут  $C_{восст.}(Z_{пл})$ , где  $v$  — процентная ставка, определяемая, например, Центральным Банком Российской Федерации. При этом экономический выигрыш от отсрочки вложений на замену элементов гражданского здания

$$\Delta = C_{расч}^{восст} \left( 1 - \frac{1}{(1+v)^{Z_{ост}}} \right)$$

и издержки при неиспользовании его остаточного ресурса

$$C_{рес} = C_{обор} \frac{Z_{ост}}{Z_{сп}} + C_{расч}^{восст} \left( 1 - \frac{1}{(1+v)^{Z_{ост}}} \right),$$

где Собор — сметная стоимость элемента гражданского здания [7].

Предложенные формулы для вычисления остаточной стоимости элемента гражданского здания, расчёта общего экономического эффекта и издержек при неиспользовании его остаточного ресурса далее необходимо описать в терминах функционалов, определяющих марковскую рандомизированную стратегию технического обслуживания и решить полученные задачи оптимизации интенсивности эксплуатационных затрат эксплуатации элементов гражданских зданий с учётом их остаточного ресурса.

## Заключение

В статье развивается вероятностно-статистический подход методов технической эксплуатации гражданских зданий. Предложенные дополнения смогут обеспечить теоретическое обоснование эффективности планирования основных эксплуатационных мероприятий-ремонтов, технического обслуживания и технической диагностики зданий как сложных систем с учетом их специфики. Развитие изложенной в статье теории позволит решить оптимизационные вопросы определения интенсивности эксплуатационных затрат во время эксплуатации гражданских зданий с учётом остаточного ресурса. Дальнейшие исследования будут посвящены изучению показателей эффективности и методов их оптимизации применительно к элементам гражданских зданий, допускающих восстановление работоспособности во время непредвиденных ремонтов без восстановления первоначального уровня их безотказности [6] и оптимизации параметров эффективности сложной технической системы с тремя уровнями восстановления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. М.: Радио и связь, 1969.
2. Порывай Г. А. Организация, планирование и управление эксплуатацией зданий. М.: Стройиздат, 1984.
3. Шубин Л.Ф. (ред.) Примеры расчетов по организации и управлению эксплуатацией зданий. М. Стройиздат, 1991.
4. Соколов В. А. Вероятностный анализ технического состояния кирпичных стен старой городской застройки. Строительство и реконструкция. № 1 (57). Государственный университет — УНПК, Орел. 2015. С. 65–73.
5. Литвиненко Р.С., Павлов П. П., Идиятуллин Р.Г. Практическое применение непрерывных законов распределения в теории надежности технических систем. Надежность. 2016. Т. 16. № 4 (59). С. 17–23.
6. Шамраева В.В., Калинин В. М. Вероятностный анализ эффективности функционирования сложных технических систем. В сборнике: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ Материалы Международной конференции Воронежская весенняя математическая школа ПОНТРЯГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ — XXX. 2019. С. 315–316.
7. Калинин В.М., Шамраева В. В. Вероятностный анализ характеристик восстановительного цикла сложной технической системы. Образовательные ресурсы и технологии. 2019. № 1 (26). С. 64–74. DOI 10.21777/2500–2112–2019–1–64–74.
8. Калинин В.М., Сокова С. Д. Оценка технического состояния зданий. М.: Инфра — М, 2016.
9. Ryabinin I.A., Strukov A. V. Quantitative examples of safety assessment using logical-probabilistic methods. International Journal of Risk Assessment & Management. 2018. Т. 21. № 1–2. С. 4–20.
10. Patel J., Choi S. K. Classification Approach for Reliability-Based Topology Optimization Using Probabilistic Neural Networks // Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization. 2012. Vol. 45, Issue 4. Pp. 529–543. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00158-011-0711-2>
11. Wang L. [et al.] A Novel Method of Non-Probabilistic Reliability-Based Topology Optimization Corresponding to Continuum Structures with Unknown but Bounded Uncertainties. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2017. Vol. 326. Pp. 573–595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2017.08.023>

12. Шамраева В. В. Некоторые модели финансового рынка с бесконечным числом скупщиков акций. Теория вероятностей и ее применения. 2019. Т. 64. № 1. С. 190–191.
13. Shamraeva V. Some class of the interpolating martingale measures on a countable probability space. Global and Stochastic Analysis. 2018. Т. 5. № 2. С. 121–127.
14. Пителинский К.В., Шамраева В. В. Стохастическая задача оптимизации динамических контурных потоков организации: случай финансовых потоков. Общественный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 1 (141). с. 11–17.
15. Калинин В.М., Исаев В. Н. Оценка эффективности эксплуатации внутриквартальных инженерных систем. Сантехника. — 2004. — №2. — С. 36–42.
16. Труханов В.М., Матвеевко А. М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла. М.: ООО ИД «Спектр», 2012.
17. Герцбах И. Теория надежности с приложениями к профилактическому обслуживанию. М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГТУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003.
18. Berger Ju., Dutykh D. Evaluation of the reliability of building energy performance models for parameter estimation. Вычислительные технологии. 2019. Т. 24. № 3. С. 4–32.
19. Naveros I., Ghiass C. Order selection of thermal models by frequency analysis of measurements for building energy efficiency estimation. Applied Energy. 2015. Vol. 139. Supplement C. P. 230–244. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.033
20. Эдельман В. И. Надежность технических систем: Экономическая оценка. М.: Экономика, 1989.

© Шамраева Виктория Викторовна (VVShamraeva@fa.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Финансовый университет при Правительстве РФ