

Научная статья

Original article

УДК 330.43

doi: 10.55186/2413046X_2025_10_9_208

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ
MATHEMATICAL TOOLS FOR CALCULATING EQUIPMENT
RELIABILITY INDICATORS**



Параскевопуло Ольга Ригасовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики-3 Институт перспективных технологий и индустриального программирования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Сазонов Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Института искусственного интеллекта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Козлова Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики-3 Институт перспективных технологий и индустриального программирования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Борец Александра Сергеевна, ассистент кафедры высшей математики Института искусственного интеллекта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Paraskevopulo Olga Rigasovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics-3, Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MIREA – Russian Technological University", Moscow

Sazonov Aleksey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics at the Institute of Artificial Intelligence, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MIREA – Russian Technological University", Moscow

Kozlova Olga Yurevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics-3, Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MIREA – Russian Technological University", Moscow

Borecz Aleksandra Sergeevna, Assistant at the Department of Higher Mathematics at the Institute of Artificial Intelligence, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MIREA – Russian Technological University", Moscow

Аннотация. В ходе проведенной научно-исследовательской работы был разработан специализированный инструментальный комплекс в форме программно-математического обеспечения, предназначенный для расчета показателей надежности технологического оборудования в условиях наличия структурного элемента с пониженной надежностью (слабого надежностного узла – СНУ). Методологической основой подхода является предположение о том, что показатели надежности данного узла являются детерминирующими для оценки надежности оборудования в целом.

Разработанный программный продукт, использующий принципы вероятностного статистического моделирования (метод Монте-Карло), предоставляет функциональную возможность формирования репрезентативных выборок значений наработки на отказ требуемого объема.

Апробация методики и алгоритмической реализации позволила сформулировать практические рекомендации по применению инструментария.

Созданное программное средство является развитием существующих систем анализа надежности для многокомпонентных технических систем. Его интеграция в данный программный комплекс позволяет проводить комплексную оценку надежности характеристик технологического оборудования различного функционального назначения в режиме совместного учета как многокомпонентности структуры, так и наличия критических по надежности элементов.

Abstract. In the course of the research work, a specialized tool package was developed in the form of software and mathematical support, designed to calculate the reliability indicators of technological equipment in the presence of a structural element with reduced reliability (weak reliability node – SNU). The methodological basis of the approach is the assumption that the reliability indicators of a given node are deterministic for assessing the reliability of the equipment as a whole.

The developed software product, which uses the principles of probabilistic statistical modeling (Monte Carlo method), provides a functional opportunity to generate representative samples of operating time for failure of the required volume. The approbation of the methodology and algorithmic implementation allowed us to formulate practical recommendations on the use of the toolkit.

The created software tool is a development of existing reliability analysis systems for multicomponent technical systems. Its integration into this software package allows for a comprehensive assessment of the reliability characteristics of technological equipment for various functional purposes in a joint accounting mode for both the multicomponence of the structure and the presence of reliability-critical elements.

Ключевые слова: показатели надежности, технологическое оборудование, метод Монте-Карло

Keywords: reliability indicators, technological equipment, Monte Carlo method

Введение

В условиях активного становления цифровой экономики и сопутствующей необходимости разработки конкурентоспособных технологических решений на базе современного оборудования существенно возрастает значимость методов и инструментов его проектирования, технической диагностики и оценки надежностных характеристик [1–4].

Настоящее исследование развивает предыдущие работы авторского коллектива [5; 6], в которых сложное технологическое оборудование моделировалось как система компонентов, соединенных по последовательной структурной схеме, где отказ любого элемента приводит к потере работоспособности всей системы. Ключевым нововведением данной работы является введение концепции структурного элемента с экстремально низкими показателями надежности — так называемого слабого надежностного узла (СНУ). В предлагаемой модели именно этот узел признается детерминирующим для оценки надежности всего оборудования.

Фундаментальным допущением методологии является положение о том, что исчерпывающую оценку надежности всего технологического комплекса можно получить путем исследования эксплуатационных характеристик исключительно этого слабого узла.

Основное практическое преимущество предложенного подхода заключается в существенном снижении трудоемкости и ресурсоемкости процесса сбора статистических данных. Для формирования достоверных оценок достаточно проведения испытаний или сбора эксплуатационных данных исключительно для слабого надежностного узла, что исключает необходимость масштабных испытаний всего оборудования в сборе.

1. Описание модели СНУ

В качестве иллюстрации практического применения предлагаемой методологии рассмотрим зерноуборочные комбайны моделей RSM 161 и T500, производимые компанией «Ростсельмаш». Конструкция данных сельскохозяйственных агрегатов включает в себя комплекс взаимосвязанных систем: жатвенную часть, молотильный аппарат, вентиляционную установку, кабину управления, накопительный бункер, силовую установку, соломотряс, транспортирующую систему, устройство для распределения побочных продуктов и комплекс электрооборудования. Электротехническая составляющая, в свою очередь, интегрирует осветительные и сигнальные приборы, климатическое оборудование, а также разнообразный комплект датчиков контроля и управления. Согласно экспертной оценке [7; 8], именно датчики наиболее часто выступают в роли слабого надежностного узла (СНУ) в данной системе.

Целью настоящего исследования является разработка специализированного инструментального комплекса, реализованного в форме программно-математического обеспечения, предназначенного для вычисления интегральных показателей надежности технологического оборудования в условиях доминирующего влияния СНУ.

На рисунке 1 представлена архитектурная блок-схема алгоритма функционирования создаваемого инструментального средства. Приведем ее детальное описание.

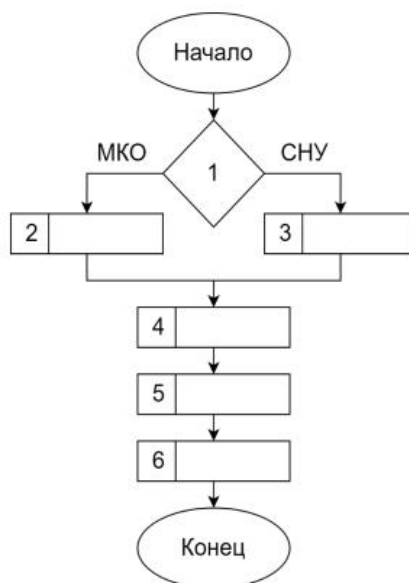


Рис. 1. Блок-схема алгоритма инструментального средства

Алгоритм работы инструментального средства реализуется по следующей схеме:

1. Выбор режима анализа. Пользователю предоставляется возможность активировать один из двух расчетных режимов:
 - а) Режим многокомпонентного оборудования (МКО), соответствующий блоку 2;
 - б) Режим учета слабого надежностного узла (СНУ), соответствующий блоку 3.
2. Реализация режима МКО. В данном режиме, детально рассмотренном в предыдущих работах авторского коллектива [5; 6], оборудование моделируется как система последовательно соединенных компонентов. Вероятностное поведение наработки на отказ для каждой компоненты описывается трехпараметрическим треугольным распределением. На основе заданного количества компонент, принятой стратегии технического обслуживания и ремонтов, а также учета факторов эксплуатационной неопределенности, алгоритм формирует репрезентативную выборку значений наработки всего оборудования в целом (блок 4).

3. Реализация режима СНУ. В этом режиме осуществляется ввод эмпирических или экспериментальных данных, характеризующих наработку исключительно слабого надежностного узла. Последующая статистическая обработка этих данных специальными методами также завершается формированием итоговой выборки (блок 4).

4. Формирование итоговой выборки. На заключительном этапе генерируется выборка наработок на отказ оборудования объемом n , которая является выходным результатом для обоих режимов работы. Процедура формирования осуществляется в соответствии со следующей формальной моделью:

$$X = (x_q, q = \overline{1, n}).$$

5. Статистический анализ выборки. Полученные выборочные значения (1) подвергаются обработке с применением численных методов расчета показателей надежности, детально описанных в работах [5; 6]. Вычисляемый набор показателей включает:

- а) Вероятность безотказной работы — $P_r(x)$;
- б) Среднюю наработку на отказ — \bar{x} ;
- в) Гамма-процентный ресурс — $x_\gamma(\gamma)$;
- г) Вероятность безотказной работы для остаточного ресурса (ОстР) — $P_r(u)$;
- д) Среднее значение остаточного ресурса — \bar{u} ;
- е) Гамма-процентный остаточный ресурс — $u_j(\gamma)$.

6. Визуализация результатов. На заключительном этапе осуществляется вывод результатов вычислений, включая генерацию графического материала в форме кривых вероятностей безотказной работы, гистограмм распределения наработок и других статистических графиков.

Предположим, что в ходе натурных экспериментов получено N значений наработок слабого надежностного узла для конкретного образца технологического оборудования. В этом случае эмпирическую функцию

распределения наработки всего оборудования можно представить следующим выражением [9]:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < x_1'' \\ \frac{j-1}{N-1} + \frac{x-x_j''}{(N-1)(x_{j+1}''-x_j'')}, & \\ 1, & \text{при } x_N'' \leq x \end{cases}$$

при $x_j'' \leq x < x_{j+1}'', j = 1, \dots, N-1$.

В данном контексте переменные представляют собой эмпирически полученные значения наработки, которые выступают в качестве узловых точек при построении и последующем аналитическом описании функции распределения (2). Переменная x является базовой случайной величиной, характеризующей наработку оборудования до возникновения отказа.

Математическое ожидание (среднее значение) наработки для оборудования, описываемого функцией распределения (2), вычисляется по стандартной формуле теории вероятностей и определяется следующим выражением:

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} (1 - F(x)) dx = x_1'' + \frac{1}{N-1} \sum_{j=2}^N (N-j+0,5)(x_j'' - x_{j-1}'').$$

Если задана функция распределения $F(x)$, то модель для генерации значений случайной величины определяется путем решения уравнения $F(x) = r$ относительно x , где $r \rightarrow R(0, 1)$ [9]. Обозначение $r \rightarrow R(0, 1)$ указывает, что r представляет собой независимую реализацию псевдослучайной величины, подчиняющейся равномерному закону распределения на интервале $(0,1)$. Функциональные средства для генерации таких значений присутствуют в базовых библиотеках всех современных систем программирования.

Решение указанного уравнения с учетом специфики функции (2) позволяет получить явную аналитическую модель для вычисления значений наработки оборудования. Данная модель имеет следующий вид:

$$x_i = x_j'' + ((N - 1) \cdot r_i - j + 1)(x_{j+1}'' - x_j''), i = 1, \dots, n,$$

В результате применения расчетной модели, представленной формулой (4), генерируется репрезентативная выборка значений наработки на отказ объема n , которая является исходными данными для последующего анализа в блоке 5.

Важным методическим преимуществом режима слабого надежностного узла (СНУ) является отсутствие необходимости априорного выбора параметрической вероятностной модели для описания наработки, что выгодно отличает его от режима многокомпонентного оборудования (МКО), где такое предположение требуется.

Следует дополнительно акцентировать различие в вычислительных подходах: в режиме МКО в зависимости от принятой стратегии технического обслуживания и ремонта может применяться либо метод статистических испытаний (Монте-Карло), либо дискретно-имитационное моделирование. В то время как для режима СНУ используется исключительно метод Монте-Карло.

Приведем формализованные выражения для вычисления четырех ключевых показателей надежности, полученные в работах [5; 6]:

– численная средняя наработка оборудования

$$\bar{x}_r = \int_0^{z_J} P_r(x) dz = z_0 + \frac{z_J - z_0}{J} (0,5 + \sum_{j=1}^{J-1} k_j);$$

– численное значение гамма-процентного ресурса

$$x_r(\gamma) = z_{j-1} + \frac{\gamma - k_{j-1}}{k_j - k_{j-1}} \cdot \frac{z_J - z_0}{J}, k_j < \gamma \leq k_{j-1}, j = \overline{1, J};$$

– численное среднее значение ОстрР

$$\tilde{u}_j = \frac{z_J - z_0}{J} (0,5 + \sum_{s=1}^{J-j} p_j(s));$$

– численный гамма-процентный ОстрР

$$u_j(\gamma) = u_{s-1} + \frac{\gamma - p_j(s-1)}{p_j(s) - p_j(s-1)} \cdot \frac{z_J - z_0}{J},$$

где $p_j(s-1) \geq \gamma > p_j(s)$, $s = \overline{1, J-j}$, $p_j(0) = 1$.

В формулах (7), (8)

$$p_j(s) = \frac{k_{j+s}}{k_j}, p_j(0) = 1.$$

Данные параметры являются ключевыми для процедуры статистической обработки эмпирических данных и последующего вычисления точечных и интервальных оценок показателей надежности. Метод группировки позволяет перейти от исходной сырой выборки к сглаженному эмпирическому распределению, пригодному для анализа с использованием параметрических и непараметрических методов статистики. Переменные отражают накопленные частоты и используются для аппроксимации интегральной функции распределения и расчета производных от нее надежностных характеристик.

2. Результаты

Апробация методики анализа в режиме слабого надежностного узла (СНУ) выполнена на основе исходных статистических данных о наработке данного узла, представленных в таблице 1 (объем выборки $N = 20$).

Исходные значения наработки приведены в условных единицах измерения. Следует особо отметить, что конкретные данные о наработке представляют собой информацию конфиденциального характера, в связи с чем в публикации не указываются тип технологического оборудования и вид слабого надежностного узла. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные по наработке, усл. ед.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18,48	19,73	22,72	25,57	27,15	27,69	28,63	30,69	31,04	32,75
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
33,66	34,48	36,04	37,17	37,71	39,70	42,33	45,42	48,16	53,12

В таблице 2 представлены результаты статистической обработки смоделированной выборки (1) объемом $n = 10000$, который обеспечивает необходимую точность вычислений. В результате анализа получены следующие показатели:

Важным результатом верификации методики является факт попадания значения \bar{x} , полученного по формуле (3), в доверительный интервал $[x_n; x_v]$. Это статистически подтверждает адекватность и достоверность разработанного программно-математического обеспечения для режима слабого надежностного узла. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обработки выборки (1), усл. ед.

\tilde{x}	s	x_n	x_v	\bar{x}
33,46	8,17	33,29	33,62	33,50

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения частот наработки слабого надежностного узла (СНУ), построенная по сгенерированной выборке (1) при количестве интервалов группировки $J = 40$.

Анализ гистографического представления данных подтверждает важную методологическую особенность режима СНУ: эмпирическое распределение наработки может существенно отличаться от классических теоретических распределений (таких как нормальное, Вейбулла или экспоненциальное). Это визуальное наблюдение подчеркивает преимущество использованного подхода, который не требует априорного предположения о виде закона распределения.

Полученное распределение на рисунке 2 демонстрирует сложный полимодальный характер, что может быть обусловлено:

- наличием нескольких доминирующих механизмов отказов
- неоднородностью условий эксплуатации
- кумулятивным эффектом различных факторов износа

Данное наблюдение подтверждает корректность применения непараметрических методов статистического анализа в рамках предложенной методики, что обеспечивает более адекватное описание реальных процессов надежности по сравнению с традиционными параметрическими подходами.

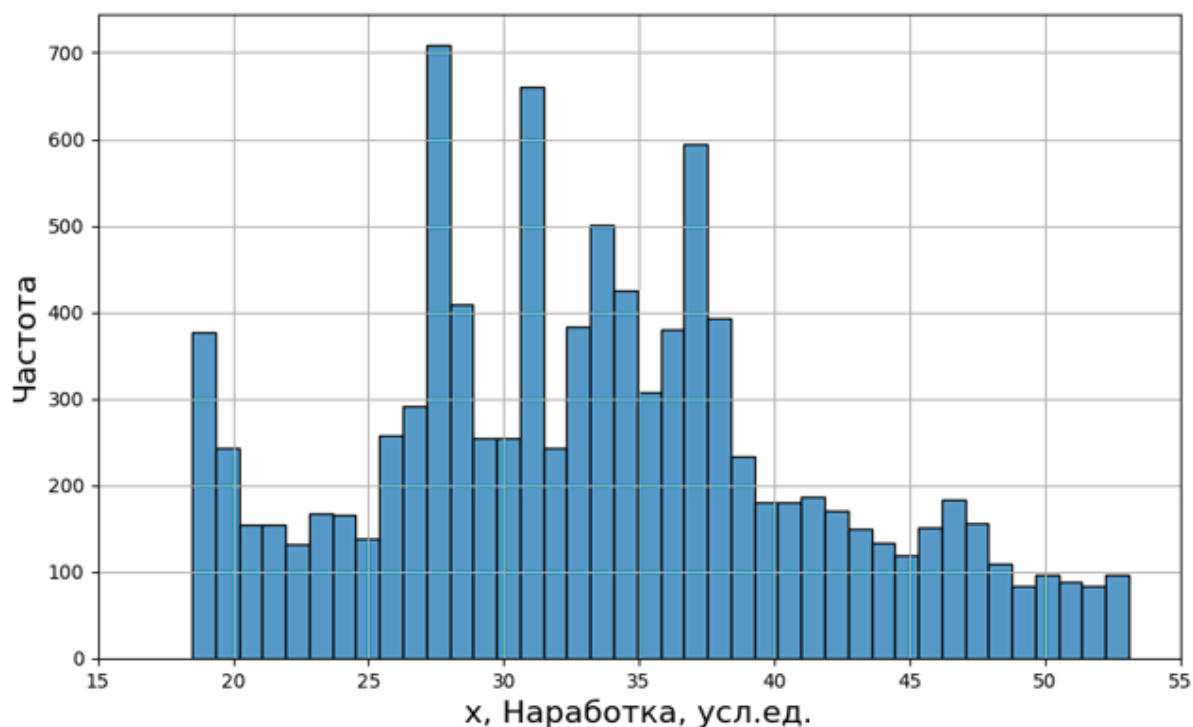


Рис. 2. Гистограмма частот для наработки СНУ

В таблице 3 представлены результаты расчета показателей надежности слабого надежностного узла (СНУ), полученные с использованием разработанного программно-математического обеспечения для соответствующего режима анализа. Приведены следующие параметры:

$\gamma = 0,9$ — заданный уровень вероятности для расчета гамма-процентного ресурса;

$j = 8$ — параметр, определяющий точку отсчета для расчета остаточного ресурса (ОстР);

n_0 — объем выборки, на основе которого вычисляются показатели остаточного ресурса;

$\hat{\mu}$ — точечная оценка математического ожидания остаточного ресурса оборудования;

(u_n, u_v) — границы доверительного интервала для оценки остаточного ресурса.

Полученные результаты демонстрируют эффективность разработанного инструментария для оценки остаточного ресурса технологического оборудования на основе анализа его наиболее ненадежного компонента. Наличие доверительного интервала позволяет оценить точность прогноза и учитывать статистическую неопределенность при планировании ремонтов и технического обслуживания.

Таблица 3

Результаты по показателям надежности СНУ, усл.ед.

\bar{x}_r	$x_r(\gamma)$	z_j	\tilde{y}_j	$u_j(\gamma)$	no	\tilde{y}	u_n	u_s
33,47	22,42	25,41	10,25	2,10	8468	10,24	10,09	10,39

Как следует из данных таблицы 3, значение наработки оборудования (z_j), относительно которого вычисляется остаточный ресурс, составляет 25,41 условных единиц. Рассчитанная численная средняя наработка оборудования по формуле (5), равная 33,47, попадает в доверительный интервал (x_n, x_v), представленный в таблице 2, и демонстрирует близкое соответствие с математическим ожиданием для наработки СНУ, вычисленным по формуле (3) и равным 33,50. Данное соответствие подтверждает статистическую достоверность проведенных расчетов.

Аналогичная картина наблюдается и для показателей остаточного ресурса. Согласно приведенным данным, численное среднее значение ОстР по формуле (7), составляющее 10,25, находится в пределах доверительного интервала (u_n, u_v), что также свидетельствует о надежности результатов моделирования.

На рисунке 3 представлена гистограмма распределения частот для остаточного ресурса СНУ. Анализ графика позволяет выявить наличие нескольких аномальных «выбросов» в диапазоне от 0 до 12 условных единиц, что указывает на потенциально повышенную вероятность преждевременных отказов в данном диапазоне. Этот фактор требует особого внимания при разработке планов технического обслуживания и эксплуатации

оборудования, так как может свидетельствовать о наличии скрытых дефектов или специфических режимов работы, приводящих к непредсказуемому сокращению остаточного ресурса.

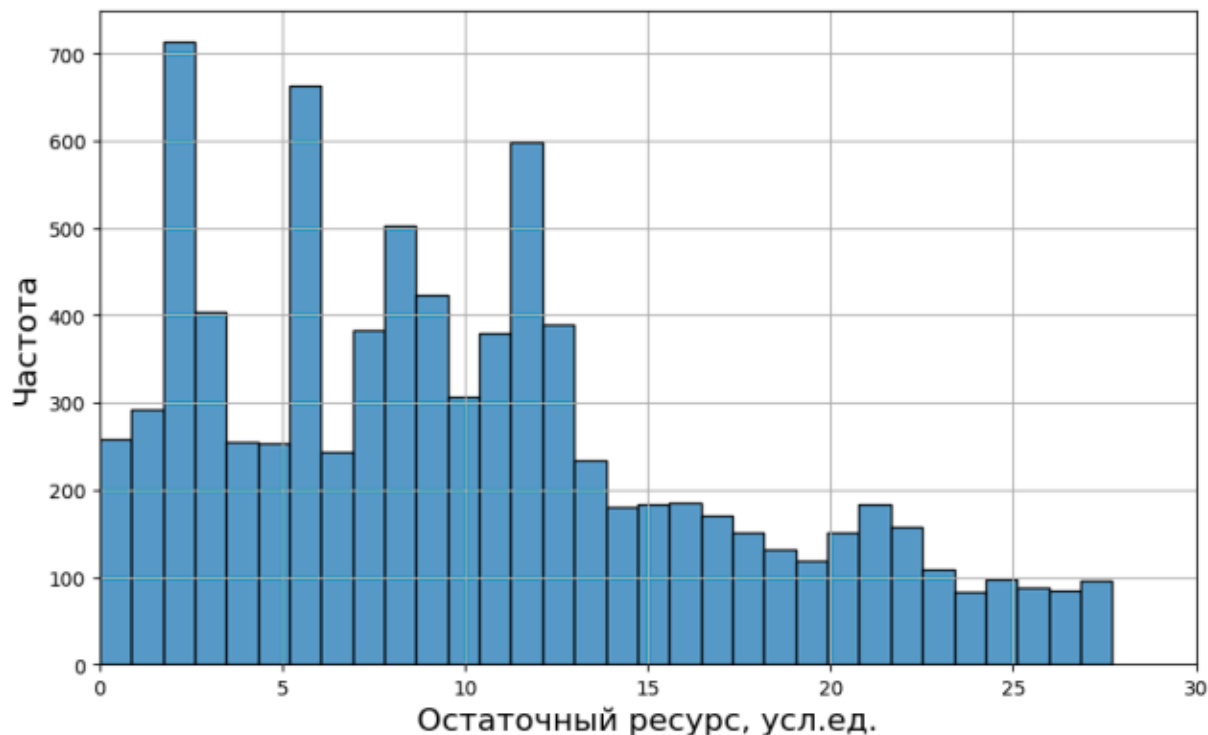


Рис. 3. Гистограмма частот для OstP CNU

Заключение

В заключение следует отметить, что разработанное и апробированное в ходе исследования инструментальное средство в виде программно-математического обеспечения для режима слабого надежностного узла (СНУ), основанное на методе Монте-Карло, представляет собой значительный вклад в развитие методов оценки надежности сложных технических систем.

Данный инструментарий органично дополняет ранее созданное программно-математическое обеспечение для режима многокомпонентного оборудования (МКО), описанное в работах [5; 6], формируя таким образом комплексную систему анализа надежности. Совместное использование этих двух режимов позволяет проводить всестороннюю оценку показателей

надежности технологического оборудования различного назначения, учитывая как особенности его структурной организации, так и наличие критических элементов с пониженной надежностью.

Важным практическим результатом работы является демонстрация эффективности предложенного подхода на реальных данных, что подтверждает его адекватность и точность. Особую ценность представляет возможность применения методики в условиях ограниченной статистической информации, когда традиционные параметрические методы оказываются неприменимыми.

Перспективы дальнейших исследований видятся в развитии предложенного подхода для анализа систем с более сложными структурными схемами, учете корреляционных зависимостей между отказами компонентов, а также в разработке методов оптимизации планов технического обслуживания на основе получаемых оценок остаточного ресурса.

Таким образом, представленная работа вносит существенный вклад в теорию и практику оценки надежности сложных технических систем и открывает новые возможности для создания более эффективных систем управления техническим состоянием промышленного оборудования.

Список источников

1. Зеленцов Б.П. Исследование моделей расчета надежности при разных способах задания периодичности проверок / Б.П. Зеленцов, А.С. Трофимов. — DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-4. — EDN GK GKSE // Надежность и качество сложных систем. — 2019. — № 1 (25). — С. 35–44.
2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования / В.В. Носов. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 376 с.
3. Хоанг Н.А. Оценка показателей «Отказ в обслуживании» при организации ремонтных работ многокомпонентного оборудования / Ю.М. Краковский, Н.А. Хоанг. — DOI 10.17308/sait.2020.1/2597. — EDN USBYYW // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные

технологии. — 2020. — № 1. — С. 110–118.

4. Балашов М.М. Импортозамещение в отрасли энергетического машиностроения / М.М. Балашов. — DOI 10.17747/2618-947X-2020-2-182-195. — EDN IKNDLR // Стратегические решения и риск-менеджмент. — 2020. — Т. 11, № 2. — С. 182–195.

5. Краковский Ю.М. Оценка показателей надежности многокомпонентного оборудования методом имитационного моделирования / Ю.М. Краковский, В.О. Беляков, Н.В. Бендик. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(1).57-65. — EDNGAYMEF // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2023. — Т. 5, № 1. — С. 57–65.

6. Краковский Ю.М. Программно-математическое обеспечение для вычисления остаточного ресурса автоматизированного оборудования / Ю.М. Краковский, В.О. Беляков, Н.В. Бендик. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(3).330-338. — EDNAKSIFM // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2024. — Т. 6, № 3. — С. 330–338.

7. Астафьев, Р. У. Методика формирования базы знаний для системы управления качеством программного обеспечения / Р. У. Астафьев // Научно-технологическое развитие 2025: сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 26 июня 2025 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2025. – С. 126-130. – EDN WHXWFG.

8. Астафьев, Р. У. Роль имитационных моделей в системах поддержки принятия решений в области разработки программных продуктов / Р. У. Астафьев // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех - 2024): Международная научно-техническая конференция, Москва, 02–08 декабря 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 789-790. – EDN JTFOGS.

9. Сидоров, А. А. Доказательство свойств средних степенных / А. А. Сидоров // Инновационные технологии в электронике и приборостроении:

сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием Физико-технологического института РТУ МИРЭА, Москва, 16–17 апреля 2020 года. Том 1. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2020. – С. 287-293. – EDN ELMJXA.

10. Об одном аспекте в вопросе определения аналитичности функции комплексного переменного / О. Ю. Козлова, Т. А. Манаенкова, А. И. Новикова [и др.] // Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2024) : Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 12–16 апреля 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 422-425. – EDN EMGWJP.

11. SIDOROV Andrei, 2024, THE IMPACT OF ANNOUNCEMENTS ON CRYPTOCURRENCY PRICES, Revista Economică, Lucian Blaga University of Sibiu, Faculty of Economic Sciences, vol.76(4), pages 69-94, December. DOI: <https://doi.org/10.56043/reveco-2024-0035>

References

1. Zelenczov B.P. Issledovanie modelej rascheta nadezhnosti pri razny`x sposobax zadaniya periodichnosti proverok / B.P. Zelenczov, A.S. Trofimov. — DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-4. — EDN GKGKSE // Nadezhnost` i kachestvo slozhny`x sistem. — 2019. — № 1 (25). — S. 35–44.

2. Nosov V.V. Diagnostika mashin i oborudovaniya / V.V. Nosov. — Sankt-Peterburg : Lan`, 2017. — 376 s.

3. Xoang N.A. Ocenka pokazatelej «Otkaz v obsluzhivanii» pri organizacii remontny`x работ mnogokomponentnogo oborudovaniya / Yu.M. Krakovskij, N.A. Xoang. — DOI 10.17308/sait.2020.1/2597. — EDN USBYYW // Vestnik VGU. Seriya: Sistemny`j analiz i informacionny`e texnologii. — 2020. — № 1. — S. 110–118.

4. Balashov M.M. Importozameshhenie v otrasli e`nergeticheskogo mashinostroeniya / M.M. Balashov. — DOI 10.17747/2618-947X-2020-2-182-

195. — EDN IKNDLR // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. — 2020. — Т. 11, № 2. — S. 182–195.
5. Krakovskij Yu.M. Ocenka pokazatelej nadezhnosti mnogokomponentnogo oborudovaniya metodom imitacionnogo modelirovaniya / Yu.M. Krakovskij, V.O. Belyakov, N.V. Bendik. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(1).57-65. — EDNGAYMEF // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2023. — Т. 5, № 1. — S. 57–65.
6. Krakovskij Yu.M. Programmno-matematicheskoe obespechenie dlya vy`chisleniya ostatochnogo resursa avtomatizirovannogo oborudovaniya / Yu.M. Krakovskij, V.O. Belyakov, N.V. Bendik. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(3).330-338. — EDNAKSIFM // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2024. — Т. 6, № 3. — S. 330–338.
7. Astaf`ev, R. U. Metodika formirovaniya bazy` znaniy dlya sistemy` upravleniya kachestvom programmnoho obespecheniya / R. U. Astaf`ev // Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie 2025: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Petrozavodsk, 26 iyunya 2025 goda. – Petrozavodsk: Mezhdunarodny`j centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka» (IP Ivanovskaya I.I.), 2025. – S. 126-130. – EDN WHXWFG.
8. Astaf`ev, R. U. Rol` imitacionny`x modelej v sistemax podderzhki prinyatiya reshenij v oblasti razrabotki programmny`x produktov / R. U. Astaf`ev // Opticheskie tekhnologii, materialy` i sistemy` (Optotex - 2024): Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, Moskva, 02–08 dekabrya 2024 goda. – Moskva: MIRE`A - Rossijskij tekhnologicheskij universitet, 2024. – S. 789-790. – EDN JTFOGS.
9. Sidorov, A. A. Dokazatel`stvo svojstv srednix stepenny`x / A. A. Sidorov // Innovacionny`e tekhnologii v e`lektronike i priborostroenii: sbornik dokladov Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem Fiziko-tekhnologicheskogo instituta RTU MIRE`A, Moskva, 16–17 aprelya 2020

goda. Tom 1. – Moskva: MIRE`A - Rossijskij tehnologicheskij universitet, 2020. – S. 287-293. – EDN ELMJXA.

10. Ob odnom aspekte v voprose opredeleniya analitichnostifunkcii kompleksnogo peremennogo / O. Yu. Kozlova, T. A. Manaenkova, A. I. Novikova [i dr.] // Perspektivny`e materialy` i tehnologii (PMT-2024) : Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, Moskva, 12–16 aprelya 2024 goda. – Moskva: MIRE`A - Rossijskij tehnologicheskij universitet, 2024. – S. 422-425. – EDN EMGWJP.

11. SIDOROV Andrei, 2024, THE IMPACT OF ANNOUNCEMENTS ON CRYPTOCURRENCY PRICES, Revista Economică, Lucian Blaga University of Sibiu, Faculty of Economic Sciences, vol.76(4), pages 69-94, December. DOI: <https://doi.org/10.56043/reveco-2024-0035>

© Параскевопуло О.Р., Сазонов А.И., Козлова О.Ю., Борец А.С., 2025.

Московский экономический журнал, 2025, № № 9.