



<https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-76-84>

Автоматизация процесса анализа отказов, оценки надежности и эффективности доработок изделий

В. Б. Афанасьев^{1,2}, Т. К. Воробьев², В. А. Мамаев^{2,3}, В. М. Медведев², Н. В. Тихменев²

¹ Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В. П. Ефремова», Москва, Российская Федерация

² Акционерное общество «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация

³ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

В статье предложен математический аппарат для оценки надежности мелкосерийной продукции. Апробированы методы определения эффективности доработок. Разработано программное обеспечение для автоматизации статистического учета и анализа отказов изделий.

Ключевые слова: надежность, автоматизация, статистика, доработка, база данных, исследование отказов

Для цитирования: Афанасьев В. Б., Воробьев Т. К., Мамаев В. А., Медведев В. М., Тихменев Н. В. Автоматизация процесса анализа отказов, оценки надежности и эффективности доработок изделий // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. № 1. С. 76–84. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-76-84>

For citation: Afanasyev V. B., Vorobyov T. K., Mamaev V. A., Medvedev V. M., Tikhmenev N. V. Automation of the processes of failure analysis, reliability assessment and product completion efficiency // Vestnik Koncerna VKO "Almaz – Antey". 2021. No. 1. P. 76–84. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-76-84>

Поступила 16.11.2020 Отрецензирована 25.11.2020 Одобрена 22.12.2020 Опубликована 17.02.2021

Эффективность систем управления качеством на предприятиях ОПК взаимосвязана с усложнением информационных потоков, сопровождающих их деятельность, следствием чего является необходимость коммуникации процессов обработки, передачи и анализа массивов разнородной информации. В связи с чем особое значение приобретают вопросы организации функционирования информационных систем (ИС) [1], в том числе автоматической обработки статистических данных в разных режимах вплоть до реального масштаба времени.

Идея статистических методов контроля качества продукции заключается в том, что о генеральных характеристиках испытываемой партии изделий судят по выборочным характеристикам, определяемым по малой выборке из этой партии. Эта идея была высказана впервые еще в 1846 г. академиком

М.В. Остроградским [2]. В настоящее время статистические методы контроля качества продукции получили широкое распространение во многих отраслях промышленности. Данные методы имеют ряд недостатков. На рисунке 1 показаны нижние доверительные границы при обработке опытных данных в зависимости от объема испытаний и доли дефектных изделий при биномиальном распределении с доверительной вероятностью $\gamma = 0,8$. Из рисунка следует, что при числе испытаний менее 100 происходит резкое уменьшение значений, что не позволяет подтвердить высокие показатели надежности даже при низком проценте или отсутствии отказов. Вместе с тем проведение большого числа испытаний при стоимости одного изделия в несколько десятков миллионов рублей невозможно по экономическим причинам. По этой же причине существует проблема экспериментального подтверждения количественных значений надежности продукции

© Афанасьев В. Б., Воробьев Т. К., Мамаев В. А., Медведев В. М., Тихменев Н. В., 2021

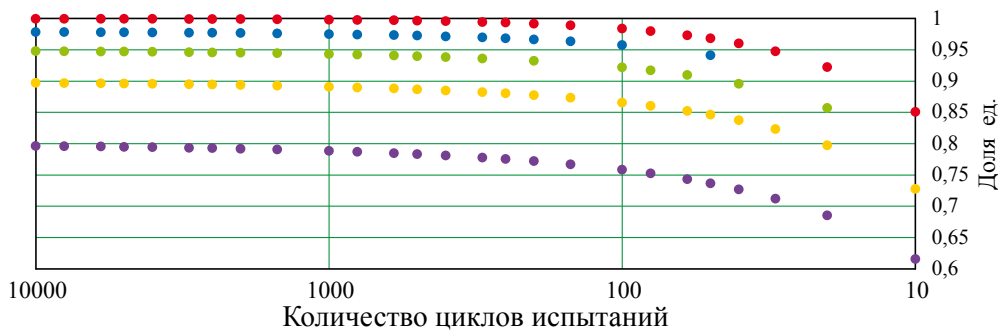
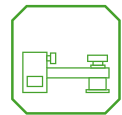


Рис. 1. Зависимость нижних доверительных границ от количества испытаний:
 — 0% отказов, — 2% отказов, — 5% отказов, — 10% отказов, — 20% отказов

на стадии опытно-конструкторской разработки и при постановке на производство.

В настоящее время в РФ проводится техническое перевооружение предприятий, производящих системы навигации, закупается и осваивается новое оборудование, на котором отрабатываются современные технологии. Параллельно проходят разработки современных инерциальных датчиков, начинается их серийное производство. То есть происходит одновременная разработка инерциального датчика и освоение базовых технологий на новом оборудовании. В общем случае уменьшение количества отказов достигается долгосрочным совершенствованием технологии с проведением принципиальных и наукоемких доработок критических технологий и «подстройки» элементов конструкции выпускаемых датчиков под отработанные технологические операции. Соответственно изделия разных годов выпуска имеют разные показатели надежности.

В данной статье представлены результаты разработки и апробации программно-математического обеспечения по оценке надежности и эффективности доработок дорогостоящей мелкосерийной продукции и ее комплектующих.

В АО «ГосНИИП» согласно [3, 4] разработана и апробирована математическая модель, позволяющая оценивать показатели качества и надежности выпускаемой продукции и покупных комплектующих изделий, а также эффективность проведенных доработок по устранению причин отказов. Так как в ТЗ и ТУ на изделия требования к экспериментальному подтверждению оценки сохранности и ремонтпригодности не задаются,

то ограничимся описанием подхода к оценке безотказности изделий в общей задаче оценки надежности. Оценка надежности проводится согласованным с научно-методической организацией Заказчика расчетно-экспериментальным методом (РЭМ) [5], путем приведения наработки изделия в процессе жизненного цикла (ЖЦ) к эквивалентной наработке в условиях применения по прямому назначению.

Исходными данными для применения РЭМ являются следующие показатели: средняя наработка изделия (t), количество выпущенных изделий (N), число отказов (дефектов), зафиксированных и задокументированных за анализируемый период (k).

Общее время наработки $T = t \cdot N$ за период производства, испытаний и эксплуатации с учетом коэффициента эквивалентности K_s приводится к наработке в условиях применения $T_s = T/K_s$ и разбивается на циклы, каждой продолжительностью, соответствующей времени работы изделия при применении по назначению T_p , для которого оценивается вероятность безотказной работы (ВБР). Количество циклов n соответственно определяется из соотношения: $n = T_s/T_p$.

Так как число циклов (суммарное время наработки) приходящееся на одно изделие, значительно меньше назначенного ресурса, а суммарное время хранения не превышает назначенного срока службы, можно не учитывать износ и старение изделий и, следовательно, исходить из условия однородности и независимости испытаний. В этом случае допустимо применение биномиального распределения случайной величины k [6] и определение нижней R_n и верхней R_v

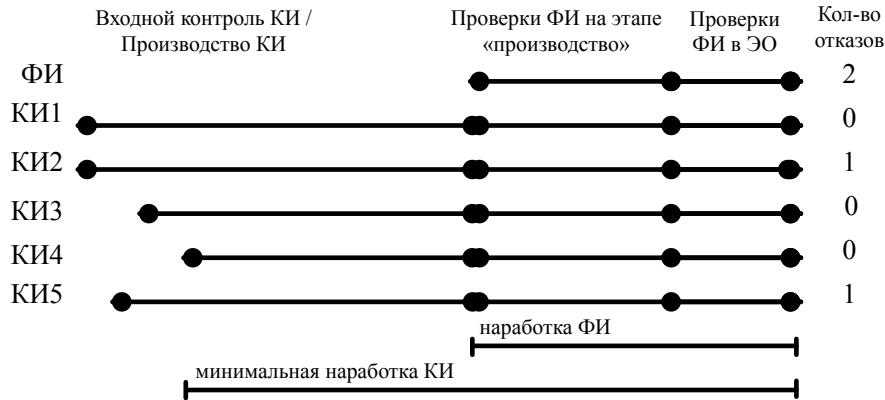


Рис. 2. Схема определения наработки: ФИ – финальное изделие, КИ – комплектующее изделие, ЭО – эксплуатирующая организация

границ доверительного интервала вероятности безотказной работы решением уравнений Клоппера – Пирсона (1) и (2):

$$\sum_{i=0}^k \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!} \cdot (1 - P_n)^i \cdot P_n^{n-i} = 1 - \gamma, \quad (1)$$

$$\sum_{i=k}^n \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!} \cdot (1 - P_B)^i \cdot P_B^{n-i} = 1 - \gamma, \quad (2)$$

где γ – доверительная вероятность.

Допустимо применение двух методов оценки надежности выпускаемых (финальных) изделий (рис. 2). Первый дает возможность учитывать только наработку финального изделия (ФИ) (тренировку, предъявительские и приемосдаточные испытания, входной контроль и проверки в головной организации). Во втором ФИ рассматривается как объединение комплектующих изделий (КИ) с учетом их наработки с момента изготовления или прохождения входного контроля в АО «ГосНИИП». Данный метод можно разбить на два: для оценки надежности берется минимальная наработка из всех КИ; надежность финального изделия рассчитывается как последовательное соединение КИ с определенной наработкой. Доверительные интервалы показателей ВБР с доверительной вероятностью $\gamma = 0,8$,

полученные тремя вышеупомянутыми способами для трех модификаций изделий, приведены в таблице 1.

Наряду с оценкой надежности ФИ и КИ, требованиями нормативной документации, например ГОСТ РВ 20.39.302-98, установлена задача анализа причин отказов, определения необходимости корректировки конструкторской документации, проверки эффективности мероприятий по обеспечению надежности.

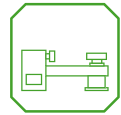
Для оценки эффективности (значимости) проведения доработок предлагается сравнить две выборки изделий. Так как проверки изделий являются независимыми, в этом случае также допустимо применение биномиального распределения. Задача сравнения двух выборок решена, например, в [2]. В процессе решения разность опытных частностей Δ сравнивается с величиной ϵ , отвечающей достаточно большой вероятности α . Однако в алгоритме решения из-за несовершенства вычислительной техники в середине прошлого века существуют допущения, которые искажают оценку в случае малого числа испытаний. Поэтому для автоматизированных расчетов предлагается использовать более сложный

Таблица 1

Доверительные интервалы показателей надежности

	Модификация № 1	Модификация № 2	Модификация № 3
Метод № 1	0,951; 0,992	0,980; 1	0,967; 0,999
Метод № 2	0,950; 0,998	0,984; 1	0,971; 0,999
Метод № 3*	0,934; 0,998	0,914; 1	0,935; 0,999

Примечание. * При перемножении нижних доверительных границ доверительная вероятность увеличивается. Нахождение точного значения доверительной вероятности выходит за рамки данной статьи.



способ решения задачи проверки идентичности параметра биномиального распределения по двум выборкам через рассмотрение гипотезы об уменьшении дефектности изделий, рассмотренной в [6].

Для примера оценим эффективность доработок инерциального датчика № 1. Известно, что в 2013 году было выпущено 82 изделия, на которых было зафиксировано 4 отказа за первые 2 года эксплуатации. В 2017 году было выпущено 99 изделий с 2 отказами соответственно.

Решим задачу первым способом. Найдем разность Δ опытных частностей:

$$\Delta = \frac{4}{82} - \frac{2}{99} = 0,029.$$

При доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ табличное значение $z_{0,95} = 1,96$.

$$\varepsilon = 1,96 \sqrt{\frac{4+2}{82 \cdot 99} \left(1 - \frac{4+2}{82+99}\right)} = 0,052 > \Delta.$$

Так как $\Delta < \varepsilon$, то нет оснований полагать, что новая конструкция лучше старой. Расхождение между результатами вполне объясняется случайными колебаниями.

Решим задачу вторым способом. Обозначим p_1 и p_2 дефектность в первой и второй группах. Тогда случайное число дефектов m_i , полученных на n_i изделиях, будет распределено по биномиальному закону:

$$P(m_i = x) = \binom{n_i}{m_i} \cdot p_i^{m_i} \cdot (1 - p_i)^{n_i - m_i}.$$

Поставим следующие гипотезы.

Гипотеза H_0 : Доработки не влияют на снижение количества дефектов.

Гипотеза H_1 : Доработки влияют на снижение количества дефектов.

Плотности распределения для показателя дефектности на основе полученных данных:

$$f_1(p_1 | m_1 = 4, n_1 = 82) = 83 \cdot \binom{82}{4} \cdot p_1^4 \cdot (1 - p_1)^{78}.$$

$$f_1(p_1 | m_1 = 2, n_1 = 99) = 100 \cdot \binom{99}{2} \cdot p_2^2 \cdot (1 - p_2)^{97}.$$

Вероятность того, что уменьшение числа дефектов является следствием проведенных доработок, равна:

$$\int_0^1 \int_0^1 f_1(p_1 | m_1, n_1) \cdot f_2(p_1 | m_2, n_2) dp_2 dp_1 = \int_0^1 \int_0^1 83 \cdot 100 \cdot \frac{82!}{78! \cdot 4!} \cdot \frac{99!}{97! \cdot 2!} \cdot p_1^4 \cdot (1 - p_1)^{78} p_2^2 \cdot (1 - p_2)^{97} dp_2 dp_1 = 0,847.$$

Полученная величина является относительно низким значением. Для сравнения, для инерциального датчика № 2 вероятность влияния доработок за 2013–2019 гг. на снижение дефектности равна 0,999981, что указывает на эффективность проведенных мероприятий. Следовательно, несмотря на то что дефектность датчика № 1 снизилась более чем в два раза, оба способа сравнения выборок не позволяют однозначно утверждать, что проведенные доработки привели к статистически значимому улучшению. Приведенный пример также свидетельствует, что сравнение точечных значений коэффициентов дефектности в условиях малой выборки не является показательным. Поэтому дополнительно предлагается использовать визуальный метод группировки отказов по технологическим признакам, что позволяет также проанализировать эффективность отдельных мероприятий по устранению причин отказов.

В данном методе составляется перечень отказов и анализируются акты исследования (АИ), которые изготовитель предоставляет потребителю вместе с отремонтированным прибором. В этих документах отражены признаки отказов, их причины и принятые меры. Далее отказы из перечня разбиваются по технологическим признакам на группы согласно АИ. Группировка отказов является довольно сложной, нетривиальной задачей и первоначально проводится экспертной комиссией с участием наиболее опытных разработчиков и сотрудников отдела надежности. Следует отметить, что большинство поставщиков выделяет и четко формулирует главную причину отказов и при их повторении разрабатывает конкретные мероприятия по повышению качества и надежности. Тем не менее часть поставщиков некорректно относится к исследованиям, пытается распределить причину

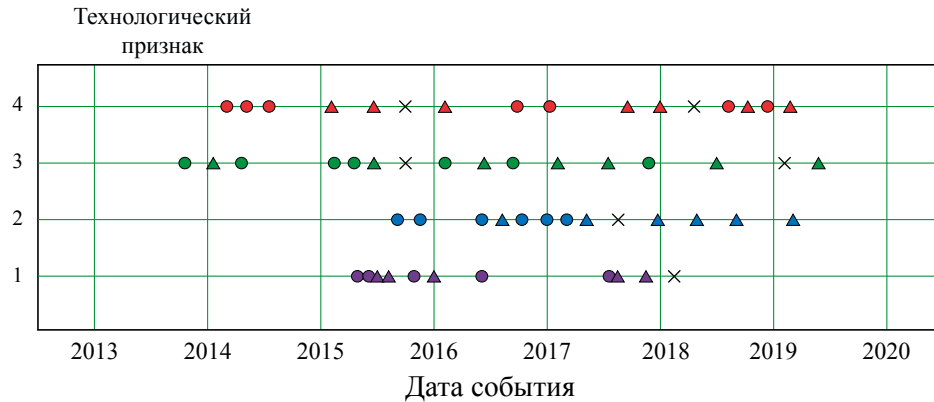


Рис. 3. Типовые случаи при визуализации статистики:
● – изготовление, ▲ – отказ, × – реализация мероприятий

отказа и признает отказ эксплуатационным или не подтвердившимся, что серьезно затрудняет разбиение на технологические группы.

Далее проводится нанесение на временную ось дат изготовления изделий, дат отказов, дат реализации мероприятий по устранению причин отказов. Это позволяет наглядно оценить эффективность проведенных мероприятий. На рисунке 3 приведены наиболее типовые случаи при анализе.

Группа 1 – причина отказов устранена, основная часть дефектных изделий выявлена в процессе проверок и не попала в эксплуатацию.

Группа 2 – причина отказов устранена, но отказы проявляются при хранении, поэтому вероятно обнаружение дефектных изделий в эксплуатации при межрегламентных проверках.

Группа 3 – мероприятия проведены, эффективность должна быть оценена дополнительно по результатам эксплуатации.

Группа 4 – проведенные мероприятия оказались неэффективными.

Рассмотрим метод на примере инерциального датчика № 2. Для него были выделены следующие технологические группы: 1 – отказ встроенного процессора; 2 – нарушение клеевых швов между внутренними деталями; 3 – смещение чувствительного элемента; 4 – нарушение сварных контактов; 5 – прочие, единичные отказы; 6 – не подтвердившиеся отказы (рис. 4). В 5-й и 6-й группах мероприятия не проводились. Из графика видно, что моменты изготовления отказавших

датчиков по причинам 1, 4 и 6-й групп технологических отказов заканчиваются в 2015–2016 годах, т.е. проведенные мероприятия оказались эффективными. Моменты изготовления датчиков, отказавших по технологическим причинам 2, 3 и 5-й групп наблюдаются до 2018 года изготовления. При необходимости, при наличии достаточного числа статистических данных, технологическую группу можно разбить на подгруппы для дополнительного анализа. Например, в группе № 4 можно выделить отказы, связанные с недостаточной площадью сварных контактов и с загрязнением приспособления для сварки.

Конечная цель обработки потоков информации – предоставление лицу, принимающему решения, релевантных данных. Стандарты АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей» (Концерн) устанавливают следующие организационные уровни управления (контроля): 0 – интегрированная структура; I – организация интегрированной структуры; II – изделие; III – стадии жизненного цикла изделия; IV – производственная и технологическая системы (ПС и ТС) [7]. Исходя из особенностей информационного обмена на конкретном уровне, разрабатывается поддерживающая его ИС.

Например, автоматизированная информационная система учета претензий и анализа качества оборонной продукции АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей» и предприятий Концерна предназначена для информационной поддержки нулевого уровня управления. На нем обеспечивается оценка, анализ, обоснование и реализация мероприятий в области

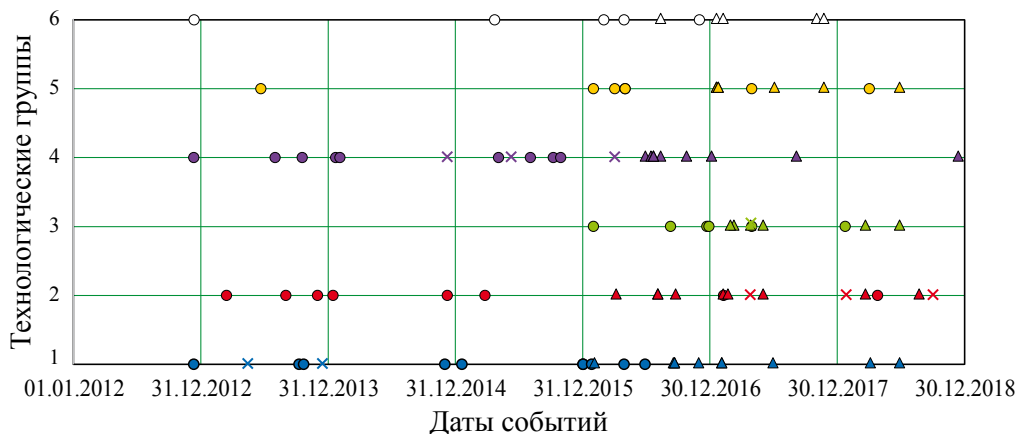
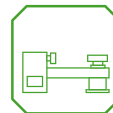


Рис. 4. Визуализация статистики отказов инерциального датчика № 2:

- – изготовление датчика №2, отказавшего из-за МС 5515ХТ1А, ● – изготовление датчика № 2, отказавшего из-за нарушения клеевых швов, ● – изготовление датчика № 2, отказавшего из-за смещения ЧЭ, ● – изготовление датчика № 2, отказавшего по нарушению сварных контактов, ● – изготовление датчика № 2 с не подтвердившимся отказом, ○ – изготовление датчика № 2, отказавшего по случайной причине (прочее);
- ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего из-за МС 5515ХТ1А, ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего из-за нарушения клеевых швов, ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего из-за смещения ЧЭ, ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего по нарушению сварных контактов, ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего по нарушению сварных контактов, ▲ – возврат датчика № 2, отказавшего по случайной причине (прочее);
- × – реализация мероприятий по МС 5515ХТ1А, × – реализация мероприятий по нарушению клеевых швов, × – реализация мероприятий по смещению ЧЭ, × – реализация мероприятий по нарушению сварных контактов

качества и надежности продукции, координация и управление работами в области надежности изделий, ПС и ТС предприятий-изготовителей. Задачей системы является обработка и анализ поступающей от дочерних обществ информации: паспортов качества, отчетов системы менеджмента качества, сведений по рекламационной работе.

Система, используемая ПАО «Тамбовский завод «Электроприбор», функционирует на третьем и четвертом уровнях управления. Она разрабатывалась преимущественно технологами и направлена на сбор статистики о надежности производственных и технологических процессов.

ИС, используемая АО «ГосНИИП», охватывает первый и второй уровни управления. Ее особенностью является практическая направленность, т.к. система вводилась для автоматизации существующих задач в отделе надежности.

Автоматизация процесса анализа отказов реализуется за счет интеграции разрабатываемого на языке Python программно-математического обеспечения и базы данных (БД) «Надежность» (Свидетельство о регистрации

№ 2018620285), управляемой с помощью нереляционной системы управления базами данных (СУБД) MongoDB. Данная СУБД разрешает добавлять требования к данным в течение проекта, что, например, позволило [8] без реинжиниринга расширить функционал ИС и сформировать систему учета показателей по вводимым стандартам Концерна.

Разработанная СУБД имеет классическую трехуровневую модель. Эта модель является расширением двухуровневой модели (клиент–сервер), и в ней вводится дополнительный промежуточный уровень между клиентом и сервером. Архитектура трехуровневой модели приведена на рисунке 5.

Первым уровнем является клиент, отвечающий за логику представления данных пользователю, а также за логику управления этими данными конечным пользователем. На данном этапе клиент реализован в виде веб-интерфейса. Промежуточный уровень трехуровневой системы содержит один или несколько серверов приложений. В данной модели этот уровень представлен python-приложением, работающим на основе WSGI сервера waitress. Сервер БД отвечает

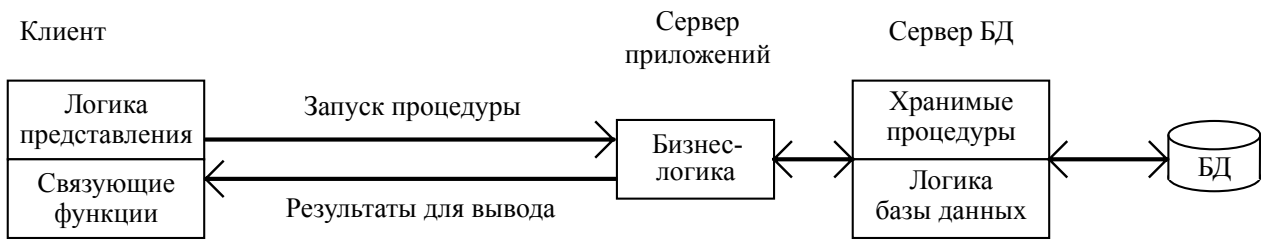


Рис. 5. Трехуровневая схема работы базы данных

за корректную загрузку и выгрузку данных из/в MongoDB.

Внутри БД информация хранится в виде массивов, каждый из которых представляет собой группу документов. БД структурирована по календарным датам событий, типам изделий, заказчикам (потребителям), предприятиям поставщикам КИ, этапам ЖЦ, видам воздействий на изделия, характеру дефектов (отказов), что позволяет автоматизировать процесс обработки информации и расчетов надежности изделий. Более подробно механизмы функционирования БД приведены в [9, 10].

Таким образом, в ходе реализации комплекса программно-математических решений, направленных на автоматизацию процесса анализа отказов, получены следующие результаты.

1. Разработаны математические модели оценки показателей надежности выпускаемых и покупных изделий, в том числе в условиях ограниченной (малой) выборки, что позволило усилить контроль качества и надежности ФИ и КИ на этапах ЖЦ «производство» и «эксплуатация».

2. Предложены и внедрены визуальный и расчетный методы оценки эффективности мероприятий по устранению причин отказов и доработки изделий.

3. Разработано и внедрено программное обеспечение, позволяющее автоматизировать оценку надежности изделий.

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях промышленности, автоматизирующих процессы оценки надежности и исследования отказов изделий.

Список литературы

1. Громов Ю. А., Минин Ю. В., Копылов С. А. Постановка и алгоритм решения задачи

определения параметров структуры информационной системы в условиях неопределенности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. Выпуск 4, 2020. С. 32–39.

2. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: Советское радио, 1962. 552 с.

3. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.

4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

5. Расчетно-экспериментальный метод оценки и контроля показателей надежности. Общая методика. М.: АО «ГосНИИП», 2019. С. 21.

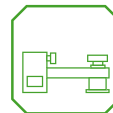
6. Сухорученков Б. И. Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы. М.: Вузовская книга, 2010. 384 с.

7. СТ ИС КОНЦЕРН ВКО 02.1–101–2019. Комплексная система управления качеством и надежностью оборонной продукции интегрированной структуры АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей». Общие положения.

8. Афанасьев В. Б., Медведев В. М., Остапенко С. Н. и др. Реализация оценки показателей качества и надежности продукции предприятия оборонно-промышленного комплекса // Известия Российской Академии Ракетных и Артиллерийских наук. 2020. № 3. С. 18–24.

9. Афанасьев В. Б., Медведев В. М., Остапенко С. Н. и др. Управление качеством продукции на предприятиях ОПК с использованием инновационных технологий // Известия ТулГУ. 2019. № 12. С. 3–10.

10. Афанасьев В. Б. Особенности проектирования системы информационной поддержки качества продукции оборонного предприятия // Известия ТулГУ, технические науки. 2020. № 5. С. 255–269.



Об авторах

Афанасьев Виктор Борисович – аспирант Автономной некоммерческой организации дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны “Алмаз – Антей” им. академика В. П. Ефремова», Москва, Российская Федерация; начальник отдела надежности Акционерного общества «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: надежность и качество образцов ВТ и СТ, система управления качеством и надежностью предприятий машиностроения.

Воробьев Тимур Константинович – ведущий инженер-математик отдела надежности Акционерного общества «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: теория вероятностей, математическая статистика, надежность ЭРИ.

Мамаев Владимир Алексеевич – студент магистратуры Московского авиационного института (национального исследовательского университета), Москва, Российская Федерация; старший инженер-математик отдела надежности Акционерного общества «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: автоматизация оценок надежности.

Медведев Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор Акционерного общества «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: техническая диагностика, организационно-технические вопросы управления эксплуатацией изделий

Тихменев Николай Вадимович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела надежности Акционерного общества «ГосНИИП», Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: лазерная гироскопия, вакуумные и оптические технологии инерциальных датчиков, технологическое обеспечение надежности.



Automation of the processes of failure analysis, reliability assessment and product completion efficiency

Afanasyev V. B.^{1,2}, Vorobyov T. K.², Mamaev V. A.^{2,3}, Medvedev V. M.², Tikhmenev N. V.²

¹ V.P. Efremov Scientific and Educational Centre for Aerospace Defense “Almaz – Antey”, Moscow, Russian Federation

² JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation

³ Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russian Federation

The article proposes a mathematical apparatus for assessing the reliability of small-scale production. Methods for determining the efficiency of product completion works were tested. A software application was developed to automate statistical accounting and analysis of product failures.

Keywords: reliability, automation, statistics, product completion, database, failure assessment.

Information about the authors

Afanasyev Viktor Borisovich – Post-graduate Researcher, V.P. Efremov Scientific and Educational Centre for Aerospace Defense “Almaz – Antey”, Moscow, Russian Federation; Head of the Reliability Department, JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation.

Research interests: reliability and quality of HT and ST samples, quality management system and reliability of mechanical engineering enterprises.

Vorobyov Timur Konstantinovich – Leading Engineer-Mathematician, Reliability Department, JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation.

Research interests: probability theory, mathematical statistics, electro-radio product reliability.

Mamaev Vladimir Alekseevich – Master’s student, Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russian Federation; Senior Engineer-Mathematician, Department of Reliability, JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation.

Research interests: automation of reliability assessments.

Medvedev Vladimir Mikhailovich – Dr. Sci. (Engineering), Professor, General Director, JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation.

Research interests: technical diagnostics, organizational and technical issues of product operation management

Tikhmenev Nikolay Vadimovich – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Reliability Department, JSC “GosNIIP”, Moscow, Russian Federation.

Research interests: laser gyroscopy, vacuum and optical inertial sensor technologies, technological assurance of reliability.