

## К вопросу об организации службы надежности на машиностроительном предприятии

Мария В. Белоусова<sup>1</sup>, Виталий В. Булатов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Российская Федерация, Санкт-Петербург

\* [bulatov-vitaly@yandex.ru](mailto:bulatov-vitaly@yandex.ru)



Мария В.  
Белоусова



Виталий В.  
Булатов

**Резюме.** Исторически службы надежности стали появляться внутри конструкторских подразделений предприятий. Инженер-конструктор имел свое представление о контроле качества выпускаемой продукции. Он понимал, что наличие ошибок и недоработок изделия может привести к катастрофическим последствиям [1], так как первоначальными областями применения теории надежности были авиационная и космическая промышленности. Параллельно с подразделением надежности развивалась служба качества и технического контроля, основными задачами которой является организация и проведение приемо-сдаточных испытаний, проведение входного контроля и предотвращение выпуска продукции, не соответствующей требованиям технической документации. На определенном этапе возник конфликт между двумя направлениями, что привело к взаимному непониманию ответственности и дезорганизации контроля за надежностью продукции. В результате, как пример, на одних предприятиях служба надежности объединена со службой качества, на других подчинена – конструкторскому бюро. Помимо этого, при оценке эксплуатационной надежности необходимо иметь постоянную и достоверную информацию об уровне безотказности и ремонтпригодности оборудования. Качество этой информации зависит от взаимодействия службы надежности и сервисной службы. Последняя должна составлять акты ремонта изделий с указанием времени восстановления и наработки изделия и в максимально короткие сроки предоставлять эти данные для расчета надежности. Таким образом, возникают следующие вопросы: какие работы должна проводить служба надежности, кто и кому должен подчиняться, кто является владельцем процессов, связанных с оценкой параметров надежности? Важным моментом является понимание, с какой целью организуется группа надежности на производстве, какими полномочиями наделены сотрудники такого подразделения, какой результат хочет видеть руководство. Присутствует проблема формализации полученных результатов исследований. На данный момент нет единого подхода в оформлении расчетов, составлении протоколов надежностного анализа. Результаты проведенных исследований должны быть разосланы всем заинтересованным подразделениям предприятия, поэтому требуется доступная форма представления информации. Следует обратить особое внимание на подготовку кадров в направлении надежности технических систем. С каждым годом изделия усложняются, разрабатываются новые технологии, и заявленные в советские годы подходы к расчету и анализу надежности не всегда дают удовлетворительный результат. И это неудивительно, так как значимость применения достоверных и методологических обоснованных методов оценки надежности очень занижена. Это обуславливается тем, что достаточно часто можно встретить мнение, что основой теории надежности является подход, основанный на исследовании физических, конструктивных причин отказов, физико-химических процессов и т.д., подразумевая под этим, что инженер по надежности – в первую очередь инженер-конструктор или инженер-технолог. Однако не стоит забывать, что общая теория надежности подразделяется на математическую (математические методы теории вероятностей), статистическую (методы математической статистики) и физическую (исследование изменения свойств материалов). Следовательно, в службе надежности необходимо осуществлять анализ, основанный на грамотном применении математического аппарата помимо деятельности, направленной на исследование конструкции изделия. Требуются новые предложения и концепции для развития данного направления, в том числе и в образовательной среде. **Цель.** Предложить подход в организации службы надежности на современном машиностроительном предприятии с учетом современных методик и представлений об анализе надежности на всех этапах жизненного цикла изделия. **Выводы.** Предложена организационная структура подразделения надежности предприятия транспортного машиностроения. Рассмотрена взаимосвязь службы надежности с другими подразделениями предприятия. Выделен ряд факторов, влияющих на эффективную работу службы надежности.

**Ключевые слова:** теория надежности, служба надежности, машиностроение, организационная структура, производственная эффективность, управление персоналом.

**Для цитирования:** Белоусова М.В., Булатов В.В. К вопросу об организации службы надежности на машиностроительном предприятии // Надежность. 2020. №1. С. 25-31. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-1-25-31>

Поступила 04.11.2019 г. / После доработки 18.02.2020 г. / К печати 20.03.2020 г.

## Введение

В последнее время проблема оценки надежности выпускаемой продукции на предприятиях возрастает и приобретает большое значение. Организация служб надежности на предприятиях является необходимой и востребована в таких направлениях, как транспортное машиностроение, автомобилестроение, авиастроение. Однако освещение данного вопроса не находит широкого отображения в зарубежной и отечественной литературе. Например, в [2] рассматриваются функции службы надежности только при разработке изделий. А в [3] рассматриваются вопросы и подходы к обработке данных эксплуатации изделий, но не предлагается алгоритм управления этим процессом.

В источнике [4] дается следующее представление о функциях бюро надежности: «Бюро надежности осуществляет методическое руководство деятельностью ключевых подразделений предприятия и координирует мероприятия по повышению надежности выпускаемых изделий. Задачи, которые решает служба надежности, являются обязательной частью общей технической политики предприятия».

А тем временем, по мере увеличения объемов производства и номенклатуры изделий возрастают требования к уровню знаний сотрудников подразделений, связанных с расчетом и контролем показателей надежности. Группа надежности, состоящая из способных людей, но входящая в отдел предприятия и находящаяся на положении такого отдела, который не имеет авторитета или достаточного веса, представляет собой nepозволительную роскошь [5].

Руководство предприятия должно быть заинтересовано в правильном функционировании службы надежности, наделяя ее соответствующими полномочиями и привлекая сотрудников отдела к актуальным задачам надежности при проектировании и эксплуатации.

Обладая в своем составе квалифицированной службой надежности, предприятие может воздействовать на свою экономическую эффективность следующим образом:

- уменьшать объем дорогостоящих испытаний или даже заменять определенные пункты из методик на равноценные по результативности и корректности итоги расчетов показателей надежности из эксплуатации;
- осуществлять регистрацию точной информации об отказах автоматизированной системой сбора данных, что в дальнейшем дает возможность в максимально короткие сроки производить необходимый ремонт (в

зависимости от места эксплуатации объекта заранее определены ЗИП, НИП и т.д.) и вводить изменения в конструкцию изделия;

- прогнозировать показатели надежности на разных этапах жизненного цикла с целью возможности варьирования плана производства и выбора оптимальной стратегии ТО и Р (технического обслуживания и ремонтов);
- снижать издержки, обусловленные срывом поставок, на основе прогнозирования надежность-ориентированного спроса на различные типы элементов, входящих в состав выпускаемой продукции.

## Функции службы надежности

Одной из возможных проблем на этапе становления службы надежности является нечеткость в распределении ответственности за процессы. Это связано с тем, что вопросы надежности затрагивают интересы, как минимум, ремонтной (сервисной) службы, конструкторского отдела, технологического бюро и отдела, занимающегося проведением испытаний.

Нередко отсутствует понимание в различии оценки надежности и качества продукции. Они часто рассматриваются как одно и то же, потому что у них есть общие аналитические инструменты. Например, анализ FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – анализ видов и последствий отказов) может быть выполнен инженерами по качеству и инженерами по надежности, однако полученные результаты будут разными. Роль службы качества заключается в оценке процесса (технологических операций) производства изделий, контроля поставщиков комплектующих. Инженер по надежности же рассматривает механизмы отказа, которые влияют на работоспособность изделия; выявляет закономерности в периодике отказов на основе статистических методов; проводит анализ зависимых отказов элементов, которые влияют на другие части системы. Поэтому, хотя каждый использует общий инструмент FMEA, применяется он для различных целей: инженер по качеству оценивает производственный процесс, а инженер по надежности оценивает конструкцию изделия.

Для максимизации эффективности организации контроля надежности необходимо обозначить основные функции службы надежности на машиностроительном предприятии:

- расчет надежности изделий;
- разработка структурных схем надежности;
- разработка программ и методик эксплуатационных испытаний на надежность;

- введение в планы работ по разработке любого изделия оценки надежности;
- обоснование предельных значений средней наработки на отказ (до отказа) и времени восстановления;
- анализ общей базы результатов ресурсных испытаний на надежность;
- контроль заполнения и оптимизация структуры журнала рекламаций;
- информирование сотрудников предприятия об отказах и разработка рекомендаций для различных подразделений, влияющих на формирование итоговых характеристик надежности изделия.

Требуется, чтобы был установлен определенный порядок поступления информационных материалов в подразделение надежности. Рекомендуется внедрение обязательного рецензирования представителями службы надежности таких документов, как: технические условия, руководства по эксплуатации, программы и методики проведения испытаний и др. [1].

## Организационная структура

Если предприятие позиционирует себя как организация, которая проводит анализ надежности, то следует разделять ответственность за конструирование, системную инженерию, расчет жизненного цикла и ответственность за проведения оценки качества и надежности изделий. Очень важно, с точки зрения управления проектом, не упустить этап разработки, где проводится надежность анализ конструкции. В противном случае сам проект (по изготовлению опытного образца / постановке в серийное производство и т.д.) может потерять целесообразность, так как расчет надежности на этапе проектирования является не чем иным, как анализом рисков, а некорректно просчитанные риски – шаткий фундамент любого проекта. Зачастую сталкиваются с проблемой того, что инженера по надежности начинают нагружать выполнением тех функций, к которым он не имеет отношения. Примером является расчет стоимости жизненного цикла продукции (Life Cycle Cost – LCC), владельцем процесса которого зачастую делают инженера по надежности, в то время как подразделение надежности ответственно только за два вида параметров (из более чем 10, участвующих в расчете) – параметр потока отказов и среднее время восстановления узлов и элементов конструкции.

В [6] делается акцент на то, что именно руководство предприятия должно нести ответственность за все результаты в области надежности, а также приводится перечень основных требований для успешной организации процессов управления надежностью.

В [7] рассмотрено три схемы по организации работы инженеров по надежности на предприятии: функциональная (линейная), проектно-ориентированная и матричная. Линейная схема подразумевает непосредственное подчинение инженера по надежности руководителю того подразделения, которому он назначен. Это может

быть как служба качества, так и конструкторское бюро. Данный подход подразумевает наличие одного-двух инженеров по надежности и менеджера-координатора по вопросам надежности. Очевидным недостатком данного подхода является получение производственных и полевых данных, которое требует содействия со стороны других подразделений предприятия. В проектно-ориентированной структуре инженер по надежности назначается в рамках определенного проекта и осуществляет поддержку только одного изделия. Таким образом, служба надежности децентрализована, что приводит к увеличению поддержки продукта с уникальными проблемами, которым уделяется особое внимание. С другой стороны, с децентрализацией возникает дублирование функций и процессов по каждому типу изделий. Также может отсутствовать единый подход к проведению надежности анализа, например, FMEA. В матричной организации сотрудники службы надежности относятся к одной структуре, например, к конструкторскому бюро, но при необходимости временно привязываются к конкретным изделиям или проектам. Таким образом, данный подход совмещает рассмотренные выше структуры. В матричной организации подразумевается наличие менеджера-координатора по надежности и стандартизации процессов анализа надежности. Структура является гибкой, но в тоже время могут возникать конфликты, связанные с подчинением – сотрудникам может ставиться задача менеджером проекта, а не их конкретным руководителем.

Один из подходов к организационной структуре службы надежности рассмотрен в [8]. Он подразумевает трехуровневую систему, наверху которой располагается ведущий инженер, на втором уровне располагаются менеджеры по конструкции, логистической поддержке и системной инженерии, а на нижнем уровне – инженер-конструктор со знаниями в проектной надежности, инженер сервисной службы со знаниями по оценке ремонтпригодности и RCM (Reliability centered maintenance – техническое обслуживание, направленное на обеспечение надежности) и системный инженер, которой обладает знаниями в системной надежности.

Однако эта структура с трудом реализуется на отечественном предприятии: инженер-конструктор загружен разработкой моделей и выпуском чертежей, инженер сервисной службы занят ремонтом и финансовой стороной по осуществлению гарантийных обязательств, поиск системного инженера также является трудной задачей. Кроме того, не учитывается то, что необходимо постоянно осуществлять сбор и анализ данных, для чего требуется разработка и администрирование баз данных.

В [9] также поднимается вопрос о роли отдела надежности на предприятии. Отмечается близость отдела к службе качества. Однако в представленной схеме [9, с. 45] отдел надежности является независимым подразделением, подчиненным директору по выполнению гарантийных обязательств. Следует отметить, что в струк-



Рисунок 1. Организационная структура службы надежности

туре отсутствуют линии взаимосвязи отдела надежности с конструкторским бюро и службой качества.

Таким образом, предлагается следующая организационная структура бюро надежности (рис. 1). Данная структура подразумевает независимость подразделения надежности в отношении ключевых технических подразделений предприятия и прямое подчинение техническому директору предприятия. Службой надежности решается широкий круг вопросов, поэтому требуется как минимум два инженера, что даст возможность распараллеливания задач. Оптимально, когда один из инженеров имеет базовое техническое образование, а второй – математическое. В процессе функционирования службы надежности помимо инженеров должен участвовать IT-специалист для разработки программ и приложений для автоматизации расчета надежности, а также сопровождения и постоянной модернизации баз данных.

Отдельно хочется отметить взаимосвязь сервисных служб и отдела надежности. Очень важно четко определить владельцев процессов на каждом уровне обработки информации об отказах, в противном случае работа по анализу причин возникновения отказов и оценке параметров может быть затруднена или вообще не выполнима. Ключевым звеном здесь являются специалисты, которые вводят информацию по актам гарантийного и постгарантийного ремонта, проводят детальный анализ и дают заключение по каждому рекламационному заявлению. Предлагается следующая схема взаимодействия сервисных служб и службы надежности (рис. 2). В данной структуре сервисная служба отвечает за следующие процессы: ведение журнала рекламаций, внесение информации в акты выполненных работ и передача данных в службу надежности, контроль за наличием ЗИП на складах на основе расчетных данных.

Система сбора данных по надежности должна эффективно воздействовать на все бизнес-процессы на

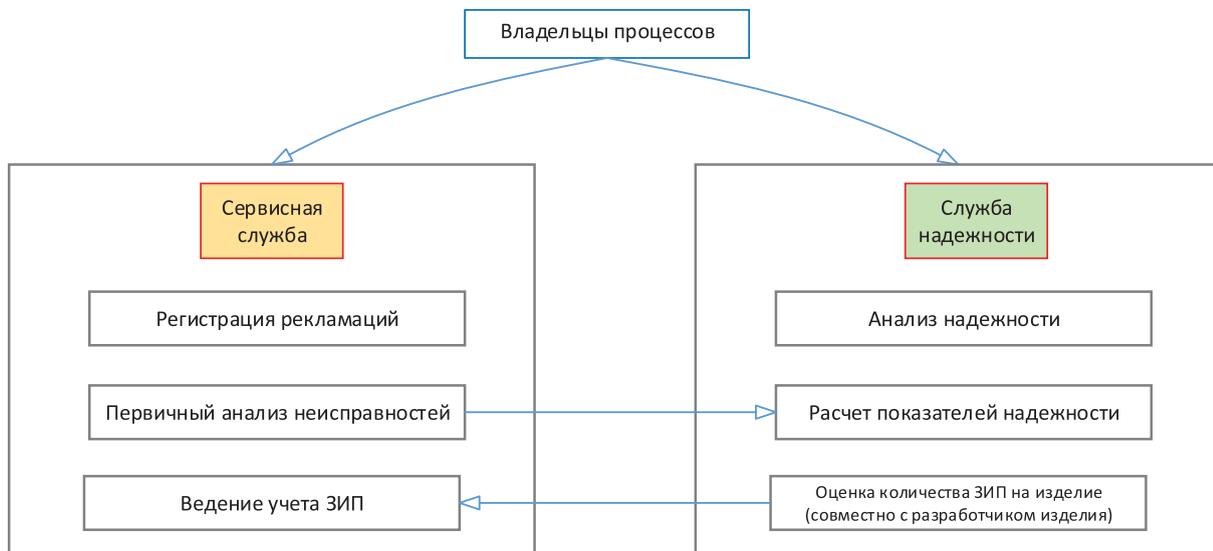


Рисунок 2. Взаимодействие между сервисной службой и службой надежности

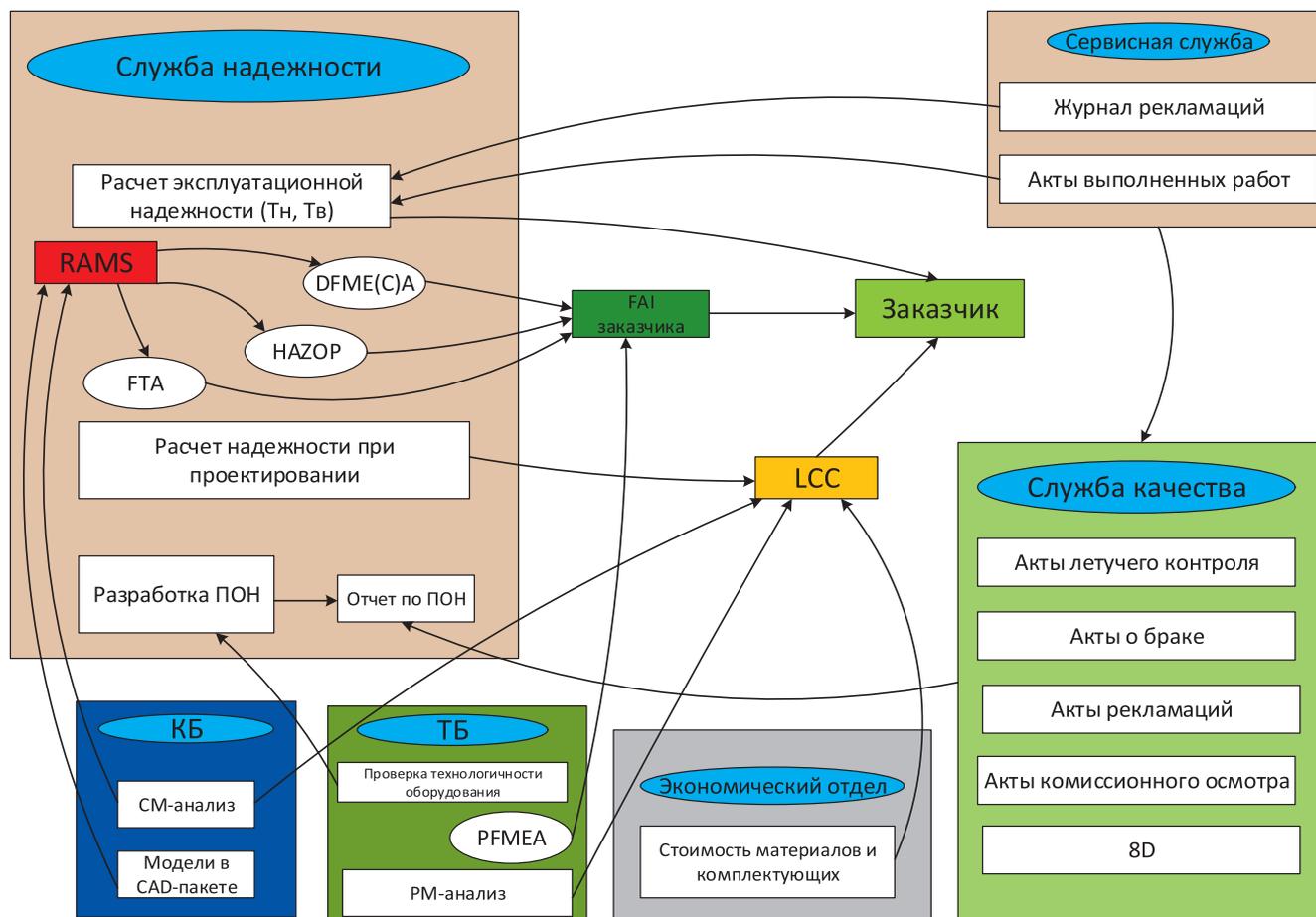


Рисунок 3. Взаимосвязь службы надежности с подразделениями предприятия

предприятию и повышать надежность выпускаемой продукции. Данная система должна обеспечивать разработчика полными данными об истории отказов узлов и элементов в доступной форме, отображать причины возникновения и меры, предпринятые для устранения отказов [1].

Следует максимально автоматизировать процесс сбора и обработки первичной информации о неисправностях. Данный процесс подробно рассмотрен в [10] на примере формы журнала рекламаций при многоуровневой структуре каталога выпускаемой продукции предприятия транспортного машиностроения.

Взаимодействие службы надежности со структурами предприятия представлено на рис. 3. В центре разработанной схемы располагается блок LCC. Таким образом, мы подчеркиваем, что расчет стоимости жизненного цикла является важнейшей задачей предприятия, которая решается совместно специалистами перечисленных структур, но владельцем процесса является генеральный директор предприятия.

### Формализация видов работ службы надежности

Бюро надежности играет ключевую роль в обеспечении многих процессов предприятия, в результате чего

выпускает значительное количество документации: FTA (Fault Tree Analysis – Анализ дерева неисправностей), протоколы исследований FME(C)A и HAZOP (Hazard and operability – Исследование опасности и работоспособности), расчеты показателей надежности, программы и методики эксплуатационных испытаний на надежность. Расчет надежности можно разделить на проектный и эксплуатационный (рис. 4). Каждый из них имеет свои особенности, но при этом они должны быть связаны между собой: закладываемые на основе данных изделий-аналогов или рассчитанные с помощью специализированных программных сред на этапе проектирования показатели надежности должны верифицироваться на этапе эксплуатации и принципом обратной связи вновь возвращаться на вход проектного расчета. При наличии обратной связи есть возможность целенаправленно проводить работы по выявлению слабых элементов конструкции, анализировать причины появления отказов и своевременно проводить конструктивно-технологические мероприятия по предупреждению причин повторяющихся отказов [11].

Как расчеты и анализ надежности при проектировании, так и расчеты эксплуатационной надежности должны быть формализованы в виде документов.

На данный момент отсутствуют как полноценные методики для реализации данных исследований, так и



Рисунок 4. Оценка параметров надежности на машиностроительном предприятии

четкие правила оформления данных документов. Если расчет надежности при проектировании можно представить как конструкторский документ по ГОСТ 2.102-68 с кодом РР (расчеты), то анализ дерева отказов (FTA) не имеет единой формы представления и опирается на рекомендации ряда переведенных зарубежных стандартов.

### Кадровый вопрос

Вследствие вышесказанного, к существующим проблемам стоит отнести нехватку квалифицированных кадров, занимающихся оценкой надежности изделий. В ФГОС ВО отсутствует специальность или направление, связанное с надежностью технических систем, а в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов, служащих (ЕКСД 2019) не существует должности «инженер по надежности» (помимо ракетно-космической промышленности). Поэтому предлагается разработать магистерскую программу по данному направлению, при этом у поступающих бакалавриат должен быть закончен по техническому или математическому направлению. Студентам магистратуры должен быть предложен расширенный курс математических предметов, рассмотрение надежности сложных систем, а также дисциплины, связанные с технической диагностикой.

### Заключение

В статье представлена организационная структура подразделения надежности предприятия транспорт-

ного машиностроения и рассмотрена взаимосвязь службы надежности с другими подразделениями предприятия.

Данный подход был предложен авторами на основе как непосредственного функционирования в действующей службе надежности предприятия, производящего компоненты подвижного состава, так и по опыту взаимодействия с отделами надежности предприятий-заказчиков.

Неоспоримым плюсом работы инженером по надежности является возможность разработки новых методов при оценке надежности выпускаемых изделий, реализации планов по оптимизации расчетов и систематизации данных об отказах. Однако реализация данного потенциала может быть затруднительна в силу упомянутых выше факторов таких, как:

- отсутствие значимого веса и компетенций в принятии решений;

- невыстроенные связи взаимодействия отдела надежности с подразделениями предприятия (рис. 3), что делает координацию мероприятий по повышению надежности невозможной;

- недостаточность междисциплинарного подхода в масштабе предприятия в решении вопросов надежности. Иными словами, происходит присвоение инженеру по надежности в большей мере обязанностей инженера-конструктора, специалиста сервисной службы, IT-специалиста и т.д., нежели обязанностей, связанных с непосредственным расчетом и анализом надежности технических систем.

Представленный подход в организации службы надежности является разъяснением для руководителей и менеджеров проектов машиностроительных предприятий роли, которую занимает надежность на всех этапах жизненного цикла. Необходимо понимать, что ошибки, которые допускаются на ранних этапах формирования подразделения надежности, непонимания целей и взаимодействий между подразделениями предприятия могут привести к финансовым потерям. Правильное же представление о функционале службы надежности дает возможность эффективно использовать ресурсы предприятия.

### Библиографический список

1. Справочник по надежности [Текст] / Под. ред. Б.Е. Бердичевского, в 3-х томах. Том 3. – М.: Мир, 1970. – 378 с.
2. **Шишмарев, В.Ю.** Надежность технических систем [Текст] / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский дом «Академия», 2010. – 304 с.
3. **Когге, Ю.К.** Основы надежности авиационной техники [Текст] / Ю.К. Когге, Р.А. Майский. – М.: Машиностроение, 1993. – 176 с.
4. **Проников, А.С.** Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
5. **Ллойд, Д.** Надежность. Организация исследования, методы, математический аппарат [Текст] / Давид К. Ллойд, Мирон Липов; пер. с англ Н.Н. Коваленко и Г.А. Русакова; под. ред. Н.П. Бусленко. – М.: Советское радио, 1964. – 688 с.
6. **ГОСТ Р 51901.3-2007** Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности [Текст]. – Введ. 2008-09-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 50 с.
7. **Ebeling, C.** An introduction to reliability and maintainability engineering [Text] / Charles E. Ebeling. – McGraw-Hill, 1997. – 486 p.
8. **Wessels, W.** Affordable reliability engineering. Life-Circle Cost analysis for sustainability and logistical support [Text] / William R. Wessels, Daniel S. Sillivant. – CRC Press, 2015. – 351 p.

9. **Van Valkenburg, M.** Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computers and Communications [Text] / Mac E. Van Valkenburg. – Newnes, 2002. – 1672 p.

10. **Белоусова, М.В.** Автоматизация процесса обработки данных рекламаций на предприятиях машиностроения [Текст] / М.В. Белоусова, В.В. Булатов // Труды XIV международной конференции по электромеханике и робототехнике «Завалишинские чтения 2019»: сб. докл.: ГУАП, 2019. – С.135-140.

11. Надежность машиностроительной продукции [Текст] / Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 328 с.

### Сведения об авторах

**Мария В. Белоусова**, аспирант кафедры моделирования экономических систем, Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, Санкт-Петербург, e-mail: 27bmw1993@mail.ru

**Виталий В. Булатов**, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и робототехники, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Российская Федерация, Санкт-Петербург, e-mail: bulatov-vitaly@yandex.ru

### Вклад авторов в статью

**Белоусова М.В.** Разработала структуру службы надежности, проанализировала процессы взаимодействия службы надежности с сервисной службой и рассмотрела кадровый вопрос; выполнила обзор отечественного опыта в организации служб надежности на предприятии, резюмировала основные функции службы надежности на предприятии и потенциал ее развития.

**Булатов В.В.** Провел анализ существующего состояния рассматриваемой проблемы, выполнил обзор зарубежного опыта в организации служб надежности на предприятии, предложил организационную структуру службы надежности, описал взаимодействие службы надежности с другими подразделениями предприятия.