

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе *Шатова Михаила Михайловича* на тему «*Определение вероятности отказа, достижимой на основе регламентации запасов прочности*», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности *01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры*.

г. Оренбург

07 февраля 2014 г.

### 1. Актуальность темы диссертации.

За последние десятилетия в области снижения угроз техногенной опасности произошел перенос центра тяжести системы научных взглядов и практических решений с реагирования по последствиям на предупреждение аварий и чрезвычайных ситуаций с использованием критериев риска. В этой связи центральное место начинает занимать предварительный анализ и снижение вероятности и тяжести последствий отказов высокорисковых объектов техники - технических устройств, оборудования и сооружений, применяемых на опасных производственных объектах. Это нашло отражение в современных законодательных и нормативных требованиях к эксплуатации опасных производственных объектов промышленного комплекса России, где определены условия и критерии оценки и обеспечения допустимых вероятности и риска причинения вреда персоналу, населению и окружающей среде. Такой подход требует, чтобы для высокорисковых объектов техники, отказы которых могут иметь критическую или катастрофическую тяжести последствий, вероятность их отказа была менее  $10^{-4}$  и  $10^{-6}$  соответственно. В случаях, когда для ограниченных выборок высокорисковых объектов информация об их отказах не является статистически значимой или репрезентативной, оценка и прогнозирование вероятности их отказа в областях значений  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  и менее имеет существенные погрешности. Это не позволяет оценивать и обеспечивать требуемые допустимые уровни риска.

В этой связи актуальность темы диссертации Шатова М.М. определяется потребностью обеспечения требуемой достоверности оценки и прогнозирования вероятности отказа ограниченных выборок высокорисковых объектов техники для снижения и обеспечения допустимого риска аварий на опасных производственных объектах промышленного комплекса страны.



## **2. Достоверность, обоснованность основных научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.**

В диссертации основные выводы и результаты работы изложены в шести пунктах на двух страницах машинописного текста. Кроме того, в диссертации имеются выводы по 2, 3, 4 и 5-й главам.

Первый вывод заключается в том, что в случаях ограниченных выборок статистических данных расчет вероятностей отказа в областях значений  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  и менее имеет существенные погрешности, поскольку зависит от принимаемых в расчете непроверяемых статистических гипотез. Достоверность вывода сомнений не вызывает, поскольку он подтвержден приведенными в диссертации расчетами. Расчеты показывают, что объем выборок накопленных исходных данных о прочности и нагрузках для высокорисковых объектов позволяет оценивать эмпирические значения вероятности их отказа на уровне  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$ , при этом прогноз значений до  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  и менее путем экстраполяции «хвостов» теоретических распределений происходит с погрешностью порядка  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$ . Это согласуется с приведенным в диссертации (стр. 24) данными о соотношении нормируемой и фактической частоты отказов высокорисковых объектов в различных отраслях промышленности, а также согласуется с общепризнанными положениями теории прогнозирования, когда промежуток, на который разрабатывается прогноз, не должен быть больше промежутка на котором выполняется наблюдение. К недостаткам можно отнести отсутствие в диссертации примеров используемых выборочных значений параметров прочности и нагрузки для конкретных объектов, с использованием которых получается такая погрешность расчетов.

Второй пункт основных результатов и выводов диссертации заключается в том, что на основе анализа чувствительности погрешностей вероятностного расчета выявлены условия, при которых вероятность отказа имеет относительный, а при которых - частотный смысл. Вывод следует считать достоверным, так как он подтверждается приведенной в разд. 2.3 диссертации (стр. 35 – 42) аналитической оценки предельной вероятности отказа при различном сочетании диапазонов значений коэффициентов вариации параметров прочности и нагрузки, а также



использованием математического аппарата статистической теории надежности и автоматизации большого объема вычислений при помощи компьютерных программ. В то же время, сама формулировка вывода малоинформативна. Может быть в ней следовало бы отразить сочетания диапазонов количественных характеристик таких условий, при которых вероятность отказа может достоверно оцениваться по эмпирическим данным, а при которых - по значениям коэффициентов запаса прочности.

Третий пункт выводов состоит в том, что в случаях, когда вероятность отказа не может достоверно оцениваться по эмпирическим данным введено понятие предельной расчетной вероятности отказа, которую предложено определять по величине коэффициента запаса прочности. Достоверность вывода сомнений не вызывает, так как в соответствии с условием прочности увеличением значения коэффициента запаса можно снизить вероятность отказа из-за того, что фактическая нагрузка будет снижаться относительно гарантированных характеристик прочности, и наоборот. Это подтверждается результатами численных экспериментов с использованием общепризнанных методологических основ и методик вероятностно-статистического анализа, изложенными в 3 и 4-й главах диссертации.

Четвертый пункт выводов диссертации заключается в том, что обоснована зависимость для расчета вероятности разрушения с учетом коэффициентов запаса, параметров прочности, нагруженности и видов статистических законов их распределения для конкретных конструкций. Вывод следует считать достоверным, поскольку такая зависимость получена путем строгих преобразований общепризнанных вероятностных моделей «прочность – нагрузка», изложенных в 3-й главе диссертации. В качестве недостатка следует отметить, что в формулировке вывода упоминается вероятность разрушения, которая на самом деле является вероятностью отказа, так как оценивается из условия достижения предельного состояния (ресурсного отказа) по характеристикам прочности и разрушения, поделенным на коэффициент запаса.

Пятый пункт выводов диссертации составлен по материалам 3-й главы (стр. 44 – 74) и заключается в том, что обоснованность и корректность применения



полученных по результатам численного эксперимента зависимостей для расчетов предельной вероятности отказа по значениям коэффициентов запаса, вариации параметров прочности и нагрузки подтверждается результатами методического примера расчета сварного тройника паропровода. Обоснованность вывода подтверждается применением для расчетов тройника нормативных методик - ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» и РД 10-249-98 «Нормы расчета на прочность стационарных паровых и водогрейных котлов и трубопроводов пара и горячей воды», много лет успешно применяемых для оценок прочности и ресурса оборудования различных отраслей промышленности – атомной, химической, энергетической, нефтегазовой и др.

Шестой пункт выводов о том, что предложена методика обоснования требуемого запаса прочности по критерию обеспечения допустимой вероятности отказа и с учетом статистических законов распределения и показателей вариации параметров прочности и нагрузки. Достоверность положений выводов подтверждается их теоретическим обоснованием на основе решения обратной задачи расчета предельной вероятности отказа и строгим соблюдением математического аппарата вероятностно-статистического подхода. К недостатку формулировки вывода можно отнести отсутствие области применения разработанной математической модели обоснования коэффициента запаса.

Таким образом, достоверность основных научных положений и выводов, сформулированных в диссертации Шатова М.М, сомнений не вызывает.

### **3. Новизна и практическая значимость результатов работы.**

**Новизна** полученных результатов диссертационной работы Шатова М.М. состоит в том, что впервые обоснованы значения выборочных статистических характеристик параметров прочности и нагруженности, при которых для ограниченных выборок высокорисковых объектов техники оценка вероятности отказа применяемыми методами в области до  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  и менее не обеспечивает ее требуемую достоверность и, тем самым, не позволяет достоверно оценивать и обеспечивать риск аварии.



Теоретически обоснованы новые математические модели и разработана методика расчета предельной вероятности отказа по величине коэффициента запаса прочности, а также с учетом коэффициентов вариации и статистических законов распределения параметров прочности и нагрузки. Разработана методика обоснования требуемого запаса прочности по критерию обеспечения допустимой вероятности отказа.

**Практическая ценность** работы заключается в том, что разработанные методики расчета предельной вероятности отказа и обоснования требуемого запаса прочности позволяют на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации высокорисковых объектов техники оценивать вероятность их отказа с учетом фактических выборочных данных о вариациях параметров их конструкции, поврежденности, нагруженности, свойств металла, и тем самым, планировать управляющие воздействия по обеспечению допустимого риска отказа (аварии) в соответствии с законодательными и нормативными требованиями.

Применение разработок позволяет повысить безопасность и эффективность эксплуатации высокорисковых объектов техники за счет предупреждения отказов и экономии затрат на устранение их последствий.

Использование результатов исследований и разработок методик оценки и обеспечения требуемой вероятности отказа в учебном процессе позволяет наглядно иллюстрировать влияние конструктивных, технологических, эксплуатационных и др. факторов на безотказность конструкций объектов техники и, тем самым, повысить уровень квалификации инженерно-технических работников, занимающихся обеспечением их прочности, ресурса и безопасности.

#### **4. Оценка содержания диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 7 таблиц, 40 рисунков, библиографический список из 120 наименований, 3 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы и изложена общая характеристика диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору исследований по теме диссертационной



работы. Приведены результаты анализа существующих методов оценки риска, определения вероятности и тяжести последствий отказов объектов техники, выявлены их недостатки в обеспечении требуемой достоверности расчета вероятности отказа. В заключении главы, на основе анализа накопленного материала и результатов аналитического обзора автора, определены цель и задачи исследования.

Во второй главе представлено теоретическое обоснование предложенного метода расчета предельной вероятности отказа на основе преобразований общепризнанных вероятностных моделей «прочность – нагрузка» с учетом значений коэффициента запаса прочности, коэффициентов вариации параметров нагрузки и прочности, статистических законов их распределения. Детализация способа определения максимальной нагрузки изложена в Приложении А. Оценивая эту главу, следует отметить, что она написана квалифицированно с достаточным математическим обоснованием и применением современных методологических основ вероятностного и статистического анализа.

В третьей главе изложены методика и результаты численной оценки предельной расчетной вероятности отказа на примере тройника паропровода Южно-Уральской ГРЭС. Расчеты на прочность тройника выполнены по двум нормативным методикам - ПНАЭ Г-7-002-86 и РД 10-249-98 по критериям исчерпания статической, циклической прочности и ползучести. В Приложениях Б и В представлены расчеты для каждой из этих методик. Затем с учетом принятых границ вариации параметров конструкции, свойств металла и нагруженности вычислена вероятность отказа тройника и установлена ее взаимосвязь с нормативными коэффициентами запасов прочности для различных механизмов достижения предельного состояния. При этом автором использовались методы компьютерной статистической обработки данных и численные методы анализа прочности тройника методом конечных элементов. Получен большой объем данных численного эксперимента, которые могут быть использованы для решения ряда частных задач исследования прочности тройников трубопроводов. Эта глава весьма информативна и представляет собой значительную ценность для науки и практики.



В четвертой главе диссертации изложена методика коррекции коэффициента запаса прочности из условия обеспечения требуемой вероятности отказа. Проанализированы ошибки методов расчета на прочность, определения характеристик прочности и нагрузки, предложены методы их компенсации.

В пятой главе представлены результаты анализа чувствительности расчетной вероятности отказа к ошибкам схематизации конструкции, нагрузок и статистических распределений. Установлены условия, при которых вероятность отказа имеет относительный, а при которых - частотный смысл.

Все главы завершаются частными выводами. Заключение содержит общие результаты и выводы по диссертации.

Оценивая диссертацию в целом, необходимо отметить, что ее содержание достаточно информативно. Написана грамотным инженерным языком, построение классическое. Диссертация представляет собой законченную научно - исследовательскую работу в соответствии с поставленными задачами. В качестве недостатков следует отметить некоторые погрешности оформления: во введении два раза приведена научная новизна в различной редакции; последовательность пунктов заключения не соответствует последовательности глав (например, п. 2 заключения относится к главе 5); имеются орфографические опечатки (стр. 94 и др.); нет ссылок на публикации автора. Отмеченные недостатки не препятствуют восприятию материалов диссертации.

#### **5. Соответствие публикаций и автореферата основным положениям диссертации**

Представленные в диссертации результаты исследований отражены в 8 научных работах автора. Среди них 3 статьи в изданиях, входящих в «Перечень ...» ВАК Минобрнауки.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее основное содержание, результаты и выводы.

#### **6. Замечания.**

В дополнение к замечаниям по оформлению и содержанию диссертации, отмеченным в п. 2, 4 отзыва, имеются следующие замечания:



1. На стр. 30 диссертации (глава 2) в системе выражений (6) приведена зависимость для интервальной оценки минимального гарантированного значения механических свойств с использованием квантиля нормального распределения -  $n_{\sigma}$ , который зависит от доверительной вероятности и в области «левой» границы распределения имеет отрицательные значения, при этом становится неясен смысл положительных значений верхней границы доверительного интервала  $n_{\sigma}$  на графике рис. 5, а также изменения его средних значений от количества испытаний  $N$  при установленном значении доверительной вероятности.

2. В главе 3 при расчетах на прочность и вероятностных расчетах тройника принято около 20 допущений о детерминированных и вероятностных характеристиках параметров его геометрии, нагрузок и свойств металла, при этом не оценивается влияние этих допущений на погрешность результатов оценки вероятности отказа по разработанной методике в сравнении с погрешностью ее расчетов по применяемым методикам путем экстраполяции «хвостов» теоретических распределений, возможность экспериментальной проверки принятых допущений также не обсуждается.

3. В работе установлена связь предельной расчетной вероятности отказа с коэффициентами вариации нагруженности и прочности материала, которые, как правило, определяются по ограниченным выборкам данных их значений, при этом не указываются требования к объемам этих выборок для их определения при экспериментальных исследованиях технического состояния и/или дефектоскопии.

## 7. Заключение

Диссертационная работа Шатова М.М. на тему «Определение вероятности отказа, достижимой на основе регламентации запасов прочности», является законченной научно-исследовательской работой, имеющей научную новизну и практическое значение. По области исследования и полученным результатам работа соответствует специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Диссертационная работа в соответствии с критериями п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» может быть классифицирована как научно-квалификационная работа, в которой на основе выполненных ее автором исследова-



ний содержится решение актуальной научной задачи оценки и обеспечения требуемых запасов прочности и вероятности отказа высокорисковых объектов техники, имеющей существенное значение для развития методологических основ обеспечения прочностной надежности и техногенной безопасности объектов промышленного комплекса.

Отмеченные выше замечания не значительно снижают уровень оценки работы, эти замечания следует рассматривать как соображения по дальнейшему развитию научных исследований на ближайшую и более отдаленную перспективу.

Автор диссертационной работы Шатов Михаил Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент, заместитель директора по науке – начальник расчетно-экспериментального центра ОАО «Системы и технологии обеспечения безопасности. Техдиагностика», доктор технических наук



С.Н. Барышов

07 февраля 2014 г.

Подпись Барышова С.Н. заверяю инспектор отдела кадров ОАО «Техдиагностика»



Т.А. Ивлева