

системное моделирование» – СПб.: ЛЭТИ, 2003.

8. Соложенцев Е.Д., Карасев В.В. Идентификация логико-вероятностных моделей риска структурно-сложных систем с группами несовместных событий//Автоматика и телемеханика, 2002.№3. С. 97-113.
9. Краснов О.В. Безопасность эксплуатации сложных технических систем. СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2002 .
10. Статус Соглашения, прилагаемых к нему Правил и поправок к ним /Всемирный форум для согласования правил в области транспортных средств /ECE /TRANS /WP.29 /343.

### **Проблемы идентификации опасностей при проектировании автотранспортных средств**

к.т.н. Комаров В.В.  
ОАО НИИАТ

*В статье представлены результаты анализа проблем идентификации опасностей при проектировании автотранспортных средств (АТС). Проанализированы различные подходы к выявлению опасностей, возникающих при эксплуатации АТС. Рассмотрены проблемы формирования перечня функциональных отказов и оценки его полноты. Сформулирована гипотеза, позволяющая разработать новый метод определения перечня функциональных отказов, и повысить уровень обоснованности системы обеспечения безопасности АТС.*

Исследования показывают, что почти 80% расходов приходится на разработку продукции, и такой же процент возможных дефектов закладывается на этой стадии ее жизненного цикла. Стоимость и качество продукции существенным образом формируются на стадии макетного образца.

Определение потенциальных опасностей на стадии проектирования является существенным требованием создания безопасной конструкции. Для этого в настоящее время в промышленности используются методы анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA) [1], анализ дерева отказов, анализ видов, последствий и критичности отказов (FMESCA) и предшествующие знания и опыт. Эти методы требуют от конструктора широких знаний о часто возникающих опасностях и их взаимосвязи. Если имеющаяся информация или опыт не позволяют предвидеть все практически возможные опасности или отказы, то названные методы не могут эффективно использоваться.

Как правило, на стадии проектирования точные величины показателей неизвестны и конструкторам приходится оперировать прогнозируемыми величинами. Составление прогноза сопровождается оценкой неопределенностей. На этой стадии возникает задача выбора меры неопределенности. Часто используемой мерой является вероятность событий.

Определение вероятностей зависит от имеющейся информации и знаний об объекте. Системный анализ и моделирование могут расширить знания об объекте и, следовательно, уменьшить неопределенность. Однако, так происходит не всегда. В некоторых случаях анализ и моделирование могут увеличить неопределенность значений показателей. Представим ситуацию, когда в начале предполагается использование определенной системы, элемента, материала и т.п. При более детальном анализе выясняется, что возможны и другие варианты. В результате прогнозирование поведения продукции становится более неопределенным.

Большинство методов, позволяющих увеличить эффективность определения опасностей и мер по их предотвращению, основаны на методе функциональных отказов. При таком подходе опасности определяются в результате анализа функционирования продукции в сфере обращения или эксплуатации.

Стандартизация терминологии в области функционирования продукции необходимая для ведения конструкторской документации была и остается важным направлением исследований. В основу настоящей работы положена взаимосвязь отказов с абстрактными функциями продукции.

Существует большое количество методов анализа отказов. Широко известными являются методы анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA), анализ дерева отказов (FTA), анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA). В этой работе предлагается новый взгляд на принципы FMEA и предлагается методология проектирования безопасной продукции. Метод FMEA создан на основе метода MIL-P-1629 оборонного ведомства США, разработанного для определения и оценки отказов оборудования. Во многих областях промышленности разработаны собственные стандарты FMEA, такие, например, как AIAG (1993), MIL-STD-1629A (1984) Департамента обороны США, SAE J1739 (1994) Общества автомобильных инженеров и VDA 96, Heft 4, Teil 2 (1996) Ассоциации автомобильной промышленности Германии.

Строгое применение традиционного FMEA позволяет получить важные сведения об отказах компонентов. Однако, этот метод имеет два существенных недостатка – отсутствие методологии проведения анализа и формализованного языка для записи информации. Эффективность и аналитические возможности применяемого в настоящее время FMEA резко ограничены используемыми в нем формами получения, представления и анализа данных об отказах. Дальнейшая формализация метода и стандартизация используемых терминов могли бы повысить его эффективность и повторяемость.

Необходимо отметить, что FMEA, как и другие методы, постоянно совершенствуется. Предложен, например, матричный подход для регистрации данных об отказах. Этот подход широко применяется для представления характеристик безотказности и восстановления систем.

Основу оценки надежности и контроля качества продукции составляют статистические методы. Использование вероятностных методов недостаточно для системного анализа безопасности, однако они позволяют конструктору получить количественные критерии для определения требуемой структуры изделия и оценки его отказоустойчивости. Определение вероятности системных отказов процесс весьма сложный и зачастую не может быть выполнен достаточно точно. Однако, методы теории вероятности в сочетании с инженерными знаниями могут значительно повысить точность оценок. Метод Байеса применяется для вычисления условных зависимостей между состояниями и последовательностью случайных событий в форме цепи или пересекающихся цепей. Этот подход является надежным математическим методом для представления и анализа распределения вероятностей совместных событий в их внутренней последовательности. В традиционном FMEA игнорируются эти связи и необоснованно предполагается, что все отказы и связанные с ними события вместе с их причинами и последствиями являются независимыми событиями.

Большое значение имело создание логико-вероятностных методов [2] (И.А. Рябинин) для количественного моделирования и анализа надежности структурно-сложных технических систем. Логико-вероятностные методы (ЛВМ) являются специальным разделом математики, связанным с логико-вероятностным исчислением. ЛВ-методы позволяют ранжировать элементы сложной системы по их важности.

На основе логико-вероятностного подхода создана теория ЛВ-моделирования и анализа риска с группами несовместных событий (ГНС) [3] (Е.Д. Соложенцев). Это позволило моделировать и анализировать риск в системах, элементы которых и сама система имеют несколько состояний, и применять ЛВ-модели с ГНС для количественного моделирования и анализа риска не только в технических, но также экономических и организационных системах. Состояния элементов в системах могли описываться как количественно, так и качественно. Высокая точность и робастность ЛВ-моделей риска основана на использовании подхода Байеса и хорошо организованного вероятностного полинома риска. В ЛВ-моделях риска с ГНС используются дискретные непараметрические распределения вероятностей событий-градаций в ГНС, что позволяет вести вычисления с многомерными распределениями, каждое из которых может быть разным. В ЛВ-моделях риска с ГНС зависимость и связанность переменных учитывается на основе комбинаторики («каждый с каждым») и не используется теория корреляции. ЛВ-модель риска с ГНС позволяет осуществлять активное сце-

нарное управление риском. Описаны средства и содержание сценарного управления риском аварий и катастроф в сложных системах на стадиях проектирования, испытаний и эксплуатации на основе теории риска с ГНС.

В последнее время ведутся также работы по разработке разных компонент в теории управления риском: на основе активных действий, пассивного страхования и их оптимального сочетания.

Отметим также большие достижения в разработке и использовании мониторинга в управлении риском в инженерии, который позволяет принимать решения с открытыми глазами [4].

Задачей вероятностного проектирования является определение вероятности безотказного функционирования системы. Методология вероятностного проектирования (PDM) акцентирует внимание на вычислении последствий неопределенностей для структурных переменных и оценке вероятности отказов. PDM принимает в расчет надежность, оптимизацию, стоимостные параметры и чувствительность параметров конструкции, которые игнорируются детерминированными методами и чрезвычайно полезны для конструкций со сложной геометрией и чувствительных к нагрузкам и свойствам материалов. Применение этого метода ограничивается тремя факторами:

1. большинство людей не знают о возможностях PDM и имеющемся программном обеспечении;
2. до сих пор нет единого решения о том, что включает в себя приемлемый риск;
3. недостаток информации о большинстве параметров конструкции.

Функциональный подход к проектированию безопасных автотранспортных средств (АТС), анализируемый в данной работе, предлагает систематическую методологию для хранения и расширения данных о функциях и отказах в информативном виде. Кроме методов хранения данных на основе стандартизованной терминологии этот подход помогает сохранить другие данные необходимые для статистических и других анализов.

Большинство статистических методов разработанных много лет назад для обеспечения заданной надежности были важными инструментами для проектирования надежных изделий. Однако их многократному применению препятствовало отсутствие стандартизованного метода описания отказов, их причин и последствий. Этот недостаток усугублялся часто мощным, но сложным аппаратом статистических расчетов.

Подход функция – отказ обеспечивает стандартизованную терминологию для регистрации данных об отказах и возможность использования матричного подхода для хранения информации об отказах, который помогает легко восстановить данные и способствует определению соответствия конструкции и отказа с целью исключения эксплуатационных отказов.

Под функциональным отказом (ФО) обычно понимается вид неработоспособного состояния системы в целом, характеризующийся определенным нарушением ее функции независимо от причин, вызывающих это состояние. ФО определяется на уровне каждой системы. Он характеризуется влиянием на другие системы и АТС в целом.

Разработано формализованное определение ФО системы. Оно основано на том, что произвольная функциональная система (или любой другой объект) описывается в виде «черного ящика», который имеет входные сигналы  $X_i$ , воздействующие факторы окружающей среды (условные входы)  $Z_j$ , и выходные сигналы  $Y_k$ . Тогда, если обозначить  $\Phi_n$  – вид нарушения одного параметра выходного сигнала системы, а  $A_n$  – виды отказов агрегатов, приводящие к  $\Phi_n$  нарушению выходного сигнала системы, то можно записать

$$\Phi_n = f(X_i, Z_j, Y_k, A_n)$$

Таким образом, ФО системы называется вид нарушения одного определенного вида параметра одного выходного сигнала или комбинации видов нарушений нескольких выходных сигналов. Приведенное определение ФО позволяет реализовать автоматизацию проведения анализа ФО систем.

#### **Определение перечня функциональных отказов**

Подход к обеспечению безопасности при создании первых АТС базировался, прежде

всего, на здравом смысле и на интуиции конструкторов с использованием метода «проб и ошибок». По всем недостаткам конструкции, которые выявлялись в процессе испытаний и эксплуатации и могли повлиять на безопасность движения, проводились соответствующие доработки конструкции. Однако с развитием автомобилизации безопасность движения стала приоритетным свойством, явилось новым фактором, способствующим созданию научного подхода в решении вопросов обеспечения надежности и безопасности АТС. Началось обобщение опыта проектирования и эксплуатации. С позиции безопасности перевозок формировались конструктивные принципы:

- сохранение управляемости и обеспечение останова при любом единичном отказе;
- создание независимых по принципу действия каналов управления функциями АТС;
- обеспечение надежности и полноты информации, в том числе при отказах;
- предотвращение пожара, в том числе при отказах и аварийной остановке;
- сохранение основных характеристик АТС при различных условиях эксплуатации;
- создание условий выживаемости при авариях и катастрофах;
- проектирование систем и силовых агрегатов таким образом, чтобы отказ элемента или агрегата не влиял на работу других систем;
- унификация, т.е. максимальное использование на АТС, узлов, деталей, материалов, хорошо зарекомендовавших себя при эксплуатации;
- изучение условий эксплуатации, в которых будет работать агрегат или деталь, и обеспечение условий работы, для которых агрегат спроектирован;
- малодетальность;
- понижение расчетных напряжений в ответственных силовых элементах;
- минимум соединений, разъемов силовых конструкций, электрических, гидравлических и топливных разъемов;
- паспортизация ответственных систем, агрегатов и деталей, обеспечение качества изготовления специальными указаниями на чертеже.

Широко известный экспертный метод получения перечня ФО сводится к следующей технологии. На основании технической документации эксперт должен определить перечень функций рассматриваемой системы. Для каждой функции эксперт устанавливает виды возможных нарушений, которые образуют перечень исходных ФО. После выявления причин исходных ФО определяется возможность совместного возникновения двух и более исходных ФО и формируется результирующий перечень ФО.

Описанный процесс является достаточно трудоемким и требует высокой квалификации эксперта. Полнота перечня ФО определяется полнотой перечня функций и видов их возможных нарушений и полностью зависит от эксперта. Экспертный метод хорошо отработан и доказал свою высокую эффективность. В связи с этим любой метод получения перечня ФО, предлагаемый в качестве альтернативного экспертному, должен сохранять все его достоинства, отвечать определенным требованиям, а именно:

- независимость результата от исполнителя, в частности от его квалификации, т.е. одним и тем же исходным данным должен соответствовать один и тот же перечень ФО;
- исходные данные должны представлять собой конструктивные параметры системы и не требовать дополнительного преобразования к специальному виду;
- метод не должен иметь ограничений по сложности анализируемой системы. Под сложностью здесь понимается как количество составляющих систему агрегатов и их соединений, так и разнотипность агрегатов с точки зрения принципа действия, т.е. агрегаты могут быть механические, электрические, гидравлические, электромеханические, гидроэлектромеханические и любые другие.

#### **Проблема полноты перечня функциональных отказов**

Проблема полноты перечня ФО является определяющей при оценке безопасности АТС на всех стадиях жизненного цикла: проектирование, производство, выпуск в обращение, допуск к дорожному движению, эксплуатация. От решения этой проблемы зависят

перечень требований безопасности, используемых при сертификации, при контроле (надзоре) в том числе при периодических технических осмотрах, технологии технического обслуживания и ремонта и трудоемкость этих операций. Опыт работы в области обеспечения безопасности АТС настоятельно требует создания такого метода получения перечня ФО, который был бы свободен от влияния субъективности, опыта и квалификации эксперта и позволял бы получать перечень ФО как однозначную функцию конструкции системы. Среди основных факторов, вызванных необходимостью разработки такого метода, назовем следующие:

- требование полноты перечня ФО и ее подтверждение. Оценка уровня безопасности АТС в целом подразумевает наличие объективно полного перечня ФО с точным указанием ФО, исключенных из рассмотрения, и причин, по которым это сделано;
- создание документации по АТС в целом с учетом комплектующих изделий. Большое количество разнородной документации в условиях экспертного подхода, необходимость оценки взаимосвязи систем приводят к большим трудозатратам;
- автоматизация процесса проектирования АТС. Создание системы автоматизированного проектирования (САПР) требует, чтобы при проектировании АТС в соответствии с определенной технологией устанавливались все параметры систем, в том числе характеристики безопасности. Без модели, связывающей характеристики безопасности с другими конструктивными параметрами, работы по обеспечению безопасности будут выпадать из общей технологии проектирования АТС, что недопустимо.

В основе разрабатываемых методов могут быть те же понятия "функции" и «функционального отказа», что и в основе экспертного метода. Например, метод приведения [5]. Этот метод базируется на алгоритме приведения функций и их возможных нарушений системы в целом к функциям и их нарушениям, составляющим систему агрегатов. Главным отличием и достоинством метода приведения по сравнению с экспертным методом является то, что перечни функций и ФО системы однозначно определяются конструкцией системы, т.е. являются объективным свойством системы. Конструкцию системы здесь определяет перечень агрегатов и их соединений в соответствии со схемами, чертежами и спецификациями.

Определение перечня ФО системы по методу приведения имеет следующие главные преимущества перед экспертным методом:

- решена проблема полноты перечня ФО и определение перечня ФО перестает быть "искусством", а становится инженерным методом;
- перечень ФО перестает зависеть от квалификации исполнителя, его взглядов на понятие "функция системы" и других индивидуальных особенностей;
- метод приведения позволяет автоматизировать процесс определения перечня ФО системы и их причин.

Анализ метода приведения показывает, что наиболее сложным является определение результирующего перечня ФО системы. Решение этой задачи, приведенное в рассмотренном методе, не является единственным. Возможны и другие подходы с применением иного математического аппарата и уменьшающие время решения и необходимые ресурсы. Этот вывод подкрепляется следующими соображениями.

Из практики известно, что некоторые отказы происходят чаще, чем другие. Для современной разработки продукции в условиях высокой рыночной конкуренции ключом к успеху является представление потребителю в кратчайшие сроки новой продукции с гарантией максимальной эффективности и безопасности. Вопрос в том, чтобы добиться этого без существенного увеличения стоимости разработки.

Можно задать вопрос: для данной функции изделия существуют отказы, вероятность возникновения которых больше чем других? Такая информация имеет громадное значение на стадии макетного проектирования и позволяет конструктору принять необходимые меры, чтобы обеспечить наилучшее возможное решение. Должен ли конструктор сконцентрироваться на всех отказах при проектировании? Решение конструктора, на каком отказе необходимо сконцентрировать внимание, зависит от условий применения продукции. Это было бы

большим преимуществом знать, существует ли перечень отказов, на котором конструктор мог сконцентрироваться и мог гарантировать безопасность конструкции и одновременно сэкономить ресурсы и уменьшить время разработки.

Сформулируем гипотезу: расширение перечня предотвращенных при проектировании отказов не приводит к существенному снижению риска причинения вреда или ущерба в эксплуатации. Для данных условий эксплуатации может существовать ограниченный перечень отказов, на предотвращении которых необходимо сконцентрироваться при проектировании АТС.

Для проверки этой гипотезы использовалась обширная база результатов испытаний по оценке надежности АТС в эксплуатации. Выводы делались на основании анализа матриц, построенных по результатам испытаний, и включающих в различных сочетаниях функции, системы, отказы, которые рассматривались как элемент функционального подхода.

Проведенное экспериментальное исследование обеспечивает нас надежными базовыми знаниями, основываясь на которых можно предложить новый статистический подход по созданию безопасных конструкций.

### Литература

1. ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Методы анализа видов и последствий потенциальных дефектов
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем – СПб.: Политехника, 2000.-248 с.
3. Соложенцев Е.Д., Карасев В.В. Идентификация логико-вероятностных моделей риска структурно-сложных систем с группами несовместных событий // Автоматика и телемеханика, 2002. № 3. С. 97-113.
4. Краснов О.В. Безопасность эксплуатации сложных технических систем. СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2002 .
5. Неймарк М.С., Цесарский Л.Г. «Метод приведения» – метод определения полного перечня функциональных отказов технической системы. // Проблемы безопасности полетов, №2, 1994.

### **Перспективные экономически целесообразные направления комплексного совершенствования ДВС в современных условиях технологического прогресса и топливно-энергетического кризиса.**

д.т.н., проф. Кутенёв В.Ф., д.т.н., проф. Каменев В.Ф., к.т.н., проф. Макаров А.Р.,  
д.т.н., проф. Фомин В.М., к.т.н., доц. Хрипач Н.А.  
МГТУ «МАМИ», ФГУП ГНЦ НАМИ

*В статье приведен анализ перспективных направлений совершенствования ДВС и определены основные пути повышения их топливной экономичности и экологичности в будущем.*

Снижение расхода топлива и выброса вредных веществ в последние 10-20 лет стало одной из актуальных проблем для ведущих мировых производителей и потребителей автотранспортных средств. Постоянное ужесточение экологических требований в связи с глобальным загрязнением планеты и «парниковым» эффектом, а также обострение общемирового энергетического кризиса активизировали в последние годы 20-го столетия поиск новых решений.

К настоящему времени успехи в развитии ДВС были достигнуты в упорной конкурентной борьбе с другими видами энергоустановок. В 1970-е годы ведущие зарубежные фирмы, особенно американские (см. табл. 1), вели интенсивные исследования по возможной замене традиционных ДВС другими силовыми установками такими как: двигатели на аккумуляторах, автомобильные газотурбинные двигатели, двигатели Стирлинга, двигатели Ренкина и силовые установки других конструкций, а также и на топливных элементах.