

УДК 629.7.07

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦТЕХНИКИ

**Н.С. Севрюгина, профессор, к.т.н., Е.В. Прохорова, магистр,
А.В. Дикевич, студент, Белгородский государственный технический университет
имени В.Г. Шухова, Россия**

***Аннотация.** Рассмотрены основные требования по обеспечению надежности спецтехники. Установлены факторы, вызывающие нештатные ситуации. Дана вероятностная оценка надежности транспортных средств при их функционировании. Обоснована необходимость продолжить исследования путем моделирования процессов.*

***Ключевые слова:** технологические машины, функционирование, надежность, нештатные ситуации, моделирование процессов.*

МОДЕЛЮВАННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ОЦІНЦІ НАДІЙНОСТІ СПЕЦТЕХНІКИ

**Н.С. Севрюгіна, професор, к.т.н., Є.В. Прохорова, магістр, А.В. Дикевич, студент,
Белгородський державний технічний університет імені В. Г. Шухова, Росія**

***Анотація.** Розглянуто основні вимоги щодо забезпечення надійності спецтехніки. Встановлено фактори, що викликають нештатні ситуації. Дано імовірнісну оцінку надійності транспортних засобів при їх функціонуванні. Обґрунтовано необхідність продовжити дослідження шляхом моделювання процесів.*

***Ключові слова:** технологічні машини, функціонування, надійність, нештатні ситуації, моделювання процесів.*

MODELLING EMERGENCY SITUATIONS WHILE ASSESSING THE RELIABILITY OF SPECIAL EQUIPMENT

**N. Sevrugina, Professor, Candidate of Engineering Sciences, E. Prokhorova, master,
A. Dikevich, student, Belgorod State Technical University, Russia**

***Abstract.** Basic requirements towards ensuring the special equipment reliability have been considered. Factors causing emergency situations have been ascertained. Probabilistic assessment of vehicle reliability while functioning has been given. Necessity to continue research through process modeling has been substantiated.*

***Key words:** technological machines, functioning, reliability, emergency situations, process modeling.*

Введение

Основным требованием при проектировании транспортных и технологических машин является потребность в удовлетворении отдельно взятой проблемы, т.е. решение задачи обеспечения целевой функции.

Следующим этапом является изготовление спроектированной машины, и здесь возникает новая задача: конструкция должна быть выполнена с заданным уровнем надежности. Эксплуатационный период жизненного цикла машины является тем индикатором, который покажет, насколько эффективно она

спроектирована и с каким уровнем качества изготовлена.

Но все перечисленное – скорее идеализированное восприятие отдельных этапов жизненного цикла транспортных и технологических машин, в реальности же следует учитывать различные факторы, в основе своей вызывающие негативные последствия, как для отдельных элементов, так и для машины в целом.

В истории развития техники процесс оценки влияния негативных факторов на уровень функционирования и надежность машин можно было изучать на стадии проектирования при проведении испытаний опытного образца с последующей доводкой систем и механизмов. Рыночные условия экономического развития требуют эффективности в кратчайшие сроки, что не только не позволяет проводить широкомасштабные полигонные и эксплуатационные испытания, но и делает подобные процессы дорогостоящими и невыгодными для фирм изготовителей.

Стремительное развитие исследований в области компьютерного моделирования, программирования позволяет перевести затратные, с экономической точки зрения, и долгосрочные во временном исчислении испытания техники на новый уровень и получать результаты в режиме виртуального времени.

Анализ публикаций

При оценке надежности транспортных и технологических машин производители используют различные научные теории – наряду с теорией надежности, старения все чаще встречаются работы, в которых данные вопросы решаются с позиции теории больших систем и применяются основные положения синергетического подхода.

Данные подходы позволяют решить общие задачи создания надежно функционирующих средств с учетом негативных факторов. В свою очередь увеличиваются требования к различным категориям транспортных и технологических машин, в частности спецтехнике, надежное функционирование которых крайне важно, т.к. их целевая функция требует обеспечения работоспособного состояния в различных условиях, как правило, при

ликвидации последствий нештатных ситуаций природного или техногенного характера.

Цель и постановка задачи

Цель работы: теоретическое обоснование разработки современных надежных конструкций спецтехники путем моделирования нештатных ситуаций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ основных требований по обеспечению надежности спецтехники;
- установить факторы, вызывающие нештатные ситуации;
- дать характеристику нештатных ситуаций, приводящих спецтехнику к нарушению функционирования;
- разработать алгоритм моделирования нештатных ситуаций при оценке надежности спецтехники

Общие требования теории надежности

Рассмотрим более подробно основные требования по обеспечению надежности спецтехники.

Для обеспечения соответствующего уровня надежности в качестве нормируемого показателя долговечности машин назначается ее ресурс. В особых случаях, когда машина используется эпизодически или предназначена для работы в экстремальных ситуациях, вместо ресурсных показателей задается средний срок службы в годах эксплуатации до предельного состояния. Однако вне зависимости от того, какой показатель долговечности является нормируемым, при проведении расчетов определяются значения как среднего, так и гамма-процентного ресурса (срока службы).

Терминологически ресурс определяется как установленная в натуральных показателях (циклах, километрах и др.) проектировщиком (изготовителем) суммарная наработка машины, оборудования от начала их эксплуатации до прогнозируемого перехода в предельное состояние. Соответственно оценочным показателем ресурса является суммарная наработка машины, оборудования в целом. Обеспечивать данную наработку изготовитель планирует надежностью конструкции с определенной долей вероятности (для спецтехники – 80 %). Надежность, в свою очередь, га-

рантирует безотказную работу машины, обслуживания при соблюдении соответствующих условий, изложенных в технической документации в виде параметров, показателей и прочего.

Исследование спецтехники с позиций теории больших систем требует формирования и изучения взаимосвязи и зависимости системы «машина – оборудование» с учетом обеспечения надежности системы в целом, что на практике реализуется крайне проблематично.

Терминологически система включает два основных элемента: машина – ряд взаимосвязанных частей или узлов, из которых хотя бы одна часть или один узел движется с помощью соответствующих приводов, цепей управления, источников энергии и т.п., объединенных вместе для конкретного применения (обработки, переработки, перемещения или упаковки материала и пр.); оборудование – техническое устройство, применяемое самостоятельно или устанавливаемое на машину и необходимое для выполнения основных или дополнительных (вспомогательных) функций, а также для объединения машин в технологический комплекс [1].

Изучение законов функционирования системы «машина – оборудование» определило развитие нескольких научных направлений по теории надежности и работоспособности систем; их развитию посвятили свои работы различные ученые, но до настоящего времени проблема обеспечения соответствующего уровня надежности и его поддержания на эксплуатационном этапе жизненного цикла машины остается актуальной.

В практике проектирования машин крайне редко приходится создавать принципиально новые машины. Обычно ставится локальная задача усовершенствования какой-либо сборочной единицы, при этом выполнение конструкторских переработок, как правило, несет расширение ее функциональной значимости.

На стадии эксплуатации жизненного цикла машины, определенного сроком службы, изменение технического состояния машины из-за временного фактора может быть минимизировано, но не остановлено. Анализ установленных требований по величине амортизационного срока службы показывает, что в

среднем этот показатель для спецтехники варьирует в пределах 7–12 лет [2].

Одним из перспективных направлений в повышении надежности спецтехники является разработка вопросов надежности комплексов и систем машин. К ним относятся: управление комплексами и системами, их контроль и взаимодействие, резервирование (введение накопителей, обеспечивающих бесперебойную работу комплекса, системы машин при кратковременном отказе одной из машин комплекса или системы). Применение компанией Caterpillar в своих машинах модульных конструкций позволяет осуществлять замену неисправных модулей, а не ремонт их, что также сокращает время простоя.

Внедрение электронных систем позволяет в автоматическом режиме поддерживать требуемый уровень безопасности ДМ.

Повышение активной безопасности обеспечивается улучшением устойчивости и управляемости спецтехники, внедрением надежных и эффективных систем управления, автоматической диагностикой агрегатов и систем машин, улучшением обзорности и др.

Нештатные ситуации функционирования элементов конструкции

Техническая система – это, прежде всего, последовательность преобразований или передач энергии, а эффективная система – это система с малыми потерями на эти преобразования и передачи процесса в форме образования фрактала, динамической геометрической (алгебраической или стохастической) структуры, которая, бесконечно повторяясь в своих элементах, бесконечно наращивает и усложняет свою структуру. Наращивание над- и подсистем, необходимых для обслуживания рассматриваемой системы, также требует затрат энергии, что, следовательно, ведет к образованию потенциальных каналов для потоков энергии.

Для исследования спецтехники в различных стадиях жизненного цикла применима теория фрактальных трещин, модель трения для фрактальных поверхностей, т.е. исследование оценки долговечности отдельных элементов транспортных машин с позиций трибоанализа, который позволяет выявить совокупность факторов, определяющих процесс

изменения технического состояния элементов машин, наметить основные направления исследований по обеспечению надежности.

Трибоанализ механической системы проводится по трем уровням сложности.

К первому уровню сложности относят показатели, характеризующие исходное состояние системы: E_0 – модуль упругости, HB_0 – твердость поверхности, R_0 – высоту микронеровностей, ν_0 – вязкость смазочного материала.

Исходное состояние обеспечивает структурную устойчивость, определяющую равновесие системы в целом, а исследования проводятся на молекулярном уровне формирования поверхности взаимодействия отдельного элемента.

Следует отметить, что первый уровень сложности позволяет расширить диапазон показателей второго уровня сложности и тем самым не только обеспечить высокую работоспособность системы, но и расширить функциональную и экономическую составляющие транспортных и технологических машин.

Ко второму уровню сложности относят показатели, определяющие условия работы и режим взаимодействия деталей: нагрузку, влажность, концентрацию абразивных частиц, температуру воздуха и поверхности трения.

К третьему уровню сложности относят показатели, характеризующие изменение состояния элементов системы в процессе работы: изменение геометрических размеров деталей, люфт соединений.

С достаточной долей вероятности можно заключить, что решение задач оптимизации механической системы на первом уровне позволяет свести к минимуму значения показателей третьего уровня сложности, что, в свою очередь, повышает значимость процесса приработки элементов транспортных машин.

Многочисленными исследованиями предыдущих лет установлено, что в этот период взаимодействующие элементы всех систем машины путем приработки принимают те

оптимальные показатели и характеристики, которые впоследствии и станут основными при выполнении машины целевых задач.

В период приработки система приспособляется, а точнее – адаптируется, не столько к внешней среде эксплуатации, сколько к факторам, формирующим внутреннюю среду существования элементов взаимодействия. При этом адаптация идет в сторону поиска оптимального энергетического минимума.

Как только система достигает этого состояния, то фиксированные показатели можно считать эталонными для данной системы, хотя чаще используется понятие наиболее эффективных показателей.

Последующий период эксплуатации во временном исчислении, т.е. ресурсный показатель, будет складываться из условия возможности системы самостоятельно удержать достигнутый оптимум. Соответственно чем больше этот период, тем выше может быть квалифицирован уровень самоорганизации системы.

Логико-вероятностные методы оценки надежности функционирования спецтехники позволяют применить анализ структурно сложных систем [4] к специальной технике, что поможет в создании методики оценки влияния любого элемента на надежность и безопасность всей системы и оценки чувствительности показателей безопасности технической системы к изменению эксплуатационных факторов.

ВНИИНАШем представлен отчет о НИР «Проведение научно-технического анализа методов оценки риска причинения вреда от машин и оборудования и разработка на его основе рекомендаций по оценке риска при разработке стандартов и технических регламентов на машины и оборудование» (№122-08-48 от 2.11.2004 г.), в котором рассматривается возможность разработки теории безопасности технических систем и параллельное (или опережающее) совершенствование нормативно-технической документации в различных областях. Первоочередными задачами такой теории безопасности считают разработку методов количественной оценки риска возникновения нештатной ситуации и прогнозирование её возможных последствий.

Функционирование транспортных и технологических машин происходит в совокупности с потоком событий, характер которых зависит как от человека, так и от внешней среды. Наиболее эффективно описать связь всех компонентов, влияющих на характер функционирования транспортных и технологических машин, можно при помощи инфографической модели. В системе «человек – техника – среда обитания» (ЧТС) акцентируемые компоненты имеют существенные семантические отличия, т.е. обладают свойством разнообразия [2].

Каждое событие содержит в себе две стороны: процесс (смену состояний) и его субстрат – то, в чем произошел (происходит, будет протекать) этот процесс [1].

В классическом виде при построении модели отдельно взятой структурной иерархии процессов рассматриваются ступени изменения закономерностей моносемантических процессов, которые представлены в типовых структурных иерархических схемах. При моделировании сложных полисемантических комплексных процессов требуется дополнительный «набор» структурных моделей, каждая из которых отвечает одному, отличному от других по семантике, комплексу процессов.

Взаимосвязь элементов системы реализуется в виде потоков событий, различных по своему характеру, а наличие обратных связей не только усложняет систему, но и существенно увеличивает многообразие потоков событий. Исходя из этого, исследование потоков событий в процессе взаимодействия системы ЧТС неразрывно объединяются в три базовых фактора: субстрат движения, движение и разнообразие – обобщенная движущая сила. Представим более детальную характеристику каждого отдельного фактора (рис. 1).

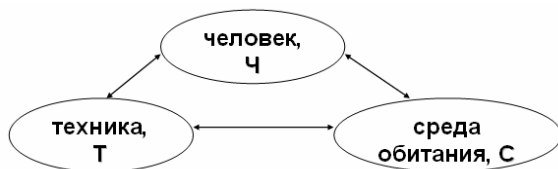


Рис. 1. Инфографическая модель функциональной системы «человек – техника – среда обитания» [1]

В зависимости от акцентируемой компоненты субстратом движения системы ЧТС могут

являться как человек, так и среда обитания. Справедливо представить, что «среда обитания» рассматривается как окружающий нас мир в целом, существующий по законам, многие из которых человеком еще не изучены, либо интерпретированы в понятийной, на данном этапе развития человека, форме [2].

Если учитывать тот факт, что в природе все взаимосвязано, то способность человека объективно воспринимать различные по характеру события оказывает существенное влияние на конечный результат оценки исследуемой взаимосвязи, хотя чем больше познается мир вокруг нас, тем правильнее говорить о субъективности человеческого восприятия.

Вторая сторона функционирования системы ЧТС – движение – подчинена формированию полезного результата данной системы.

Возможность выбора акцентируемой компоненты для формирования конкретного полезного результата указывает на разнообразие процессов функционирования системы ЧТС, причем неудовлетворительный результат может целиком реорганизовать систему и сформировать новую, с более совершенной взаимосвязью компонентов системы, дающей достаточный результат.

Рассмотрим возможные варианты выбора акцентируемой компоненты функциональной системы ЧТС, каждый из которых, в процессе отслеживания каналов обратной связи, переводит все остальные в разряд маргинальных по отношению к акцентируемой компоненте (табл. 1).

Таблица 1 Возможные варианты выбора акцентируемой компоненты системы ЧТС

Функциональная система	Акцентируемая компонента	Маргинальные компоненты	
		Т	С
Человек – техника – среда обитания	Человек	Т	С
		С	Т
	Техника	Ч	С
		С	Ч
	Среда обитания	Ч	Т
		Т	Ч

Выбор акцентуемой компоненты в качестве объекта исследования дает не только разнообразие маргинальных компонентов, но, в конечном итоге, формирует разнообразие систем, целевая функция, каждой из которых будет обладать только ей присущим полезным результатом. Упорядоченность во взаимодействии множества компонентов системы устанавливается на основе степени их содействия в получении целой системой строго определенного полезного результата [1].

Общим показателем системы ЧТС, наряду с оценкой ее эффективности, принимается безопасность ее функционирования, а так как каждый элемент системы по своему оказывает влияние на безопасность, то правомерно утверждение, что системообразующим, упорядочивающим множество событий фактором и делающим функциональной систему ЧТС является полезный приспособительный результат.

Прежде чем дать характеристику приспособительной оценке функциональной системы ЧТС, необходимо проанализировать уровень устойчивости воздействий компонентов системы друг на друга.

Например, приспособительная оценка среды обитания к деятельности человека должна характеризовать уровень устойчивости к воздействиям чрезвычайных ситуаций природного характера и при этом учитывать природные риски, возникающие в процессе хозяйственной деятельности, и природные риски, связанные с накопленным экологическим ущербом.

Подобные качественные характеристики могут быть даны каждой акцентуемой компоненте, представленной в табл. 1, что, в свою очередь, показывает многостороннюю связь компонентов системы и делает вполне обоснованным выбор комплексной безопасности в качестве обобщенной акцентуемой компоненты для функциональной системы ЧТС.

Приспособительная оценка обеспеченности комплексной безопасности системы ЧТС формируется из критериев, базирующихся на следующих основных принципах [1]:

– общечеловеческом: безусловный приоритет защиты жизни и здоровья людей;

– техническом: наличие надежных средств для управления в чрезвычайных ситуациях; наличие оптимального количества технических средств для защиты имущества;

– технологическом: быстрое реагирование на угрозу возникновения чрезвычайной ситуации; мероприятия по обеспечению безопасности не должны мешать работе техники в нормальных условиях эксплуатации и человеку – при осуществлении его деятельности;

– экономическом: все мероприятия по обеспечению безопасности должны быть мало затратными.

Формализация «приспособительной оценки устойчивости системы к воздействиям чрезвычайных ситуаций различного характера» [1] является одним из путей поиска новых наиболее приемлемых подходов к вопросам не только обеспечения безопасности жизнедеятельности в целом, но и безопасности каждого компонента системы ЧТС.

Если давать характеристику значимости акцентуемых компонентов в системе ЧТС, то становится очевидным, что среда обитания имеет первостепенное значение, а человек является звеном, ее формирующим, в то же время техника – это инструмент формирования человеком среды обитания.

Соответственно качество взаимоотношений элементов системы «человек – среда обитания» целиком зависит от совершенства конструкции транспортных и технологических машин. Здесь равноценными являются факты взаимной безопасности, принцип «не навреди» имеет важное значение для каждой составляющей системы.

Человек в своем стремлении приспособить среду обитания для собственных нужд изобретает различные машины, постоянно совершенствуя их конструкции, добиваясь большей эффективности при выполнении заданных функций. Усложнение конструкций, позволяющих выполнять все более сложные задачи, привело к тому, что наступает этап качественного изменения системы ЧТС с потерей акцентуемой компоненты «человек». Данный вывод требует дополнительного обоснования.

Введение в конструкцию транспортных машин и технологических комплексов систем

автоматизации, наличие сложнейших электронных составляющих позволили свести к минимуму взаимодействие человека и машины – роботизированная техника на элементарном уровне способна принимать типовые решения самостоятельно.

Насколько же становится опасным достижение подобной «самостоятельности» акцентированной компоненты «техника» в системе ЧТС?

Приспособительная оценка устойчивости компоненты «техника» сориентирована на ее целевую функцию, т.е. недопущение возникновения нештатной ситуации, но насколько данный компонент способен оценить самостоятельно не только нештатность возникшей ситуации, но и ее влияние на систему ЧТС в целом?

Логично заключить, что конструктивное совершенство техники с позиций оценки «устойчивости к нештатным ситуациям», а точнее – ее техническая безопасность, выходит на первое место [3].

Выводы

1. Установлено, что для оценки факторов, вызывающих нештатные ситуации, следует выполнять разработку сценария, в котором будет дана оценка риска возникновения той или иной ситуации.

2. Алгоритм моделирования представляется в виде функциональной системы «человек – техника – среда обитания», имеющей многосторонние связи и формирующей разнообразие взаимозависимости компонентов этой системы.

3. Акцентированная компонента, образующая систему, должна базироваться на факторе обеспечения комплексной безопасности функционирования системы ЧТС.

4. В доказательной форме представлена актуальность проводимых исследований по

формированию научно-обоснованного многокритериального подхода к обеспечению комплексной безопасности функционирования транспортных и технологических машин при чрезвычайных и кризисных ситуациях.

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Организационно-антропотехническая надежность функциональных систем мобильной среды строительного производства. Сер. «Инфографические основы функциональных систем» / под ред. В.О. Чулкова. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 176 с.
2. Богомолов А.А. Структура и семантика вариационной оптимизации транспортных машин и технологических процессов в общей теории систем: монография / А.А. Богомолов, М.В. Бунин, Н.С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ имени В.Г. Шухова, 2009. – 83 с.
3. ГОСТ 51901. Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем. – Введен впервые; действует с 07.06.2002 г. – М.: Госстандарт России, 2002. – 22 с.
4. ГОСТ 51344. Безопасность машин. Принципы оценки и определения риска. – Введен впервые; действует с 22.11.1992 г. – М.: Госстандарт России, 2002. – 18 с.
5. Зорин В.А. Требования безопасности к наземным транспортным системам: учебник / В.А. Зорин, В.А. Даугелло, Н.С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 187 с.
6. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно сложных систем / И.А. Рябинин. – С.Пб.: Политехника, 2000. – 248 с.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 16 мая 2012 г.