

## ЭРГОНОМИКА

УДК 629.3:629.083

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ И ДРУГИХ МАШИН**

**Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ, Н.С. Севрюгина, доцент, к.т.н.,  
Белгородский государственный технологический университет  
имени В.Г. Шухова, Россия**

***Аннотация.** Рассмотрена классическая модель функционирования строительных и дорожных машин. В доказательной форме установлена необходимость введения в модель дополнительного показателя «техническая безопасность». Разработана методика поддержания безопасности машин в период их технической эксплуатации. Дана вероятностная оценка безопасности строительных и дорожных машин, предложен метод комплексной оценки показателя полного обеспечения безопасности.*

***Ключевые слова:** строительные, дорожные, машины, функционирование, техническая безопасность, методика, метод, оценка, комплексность, показатель, модель.*

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
БУДІВЕЛЬНИХ, ДОРОЖНИХ ТА ІНШИХ МАШИН**

**Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ, Н.С. Севрюгіна, доцент, к.т.н,  
Белгородський державний технологічний університет імені В.Г. Шухова, Росія**

***Анотація.** Розглянуто класичну модель функціонування будівельних і дорожніх машин. В доказовій формі встановлено необхідність введення в модель додаткового показника «технічна безпека». Розроблено методику підтримання безпеки машин у період їх технічної експлуатації. Дано ймовірну оцінку безпеки будівельних і дорожніх машин, запропоновано метод комплексної оцінки показника повного забезпечення безпеки.*

***Ключові слова:** будівельні, дорожні, машини, функціонування, технічна безпека, методика, метод, оцінка, комплексність, показник, модель.*

**METHODS EVALUATION OF TECHNOLOGICAL SAFETY OF ROAD-BUILDING  
AND OTHER MACHINES**

**E. Venzel, Professor, Doctor of Technical Science, KhNAHU,  
N. Sevryugina, Associate Professor, Candidate of Technical Science,  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia**

***Abstract.** The classic model of functioning of building and road-building machines is given. In the evidence-bases there has been determined the necessity of introduction of the additional indicator into the «technical safety» model. The method was developed for maintenance of machinery safety during the period of its technical exploitation. Its given the probabilistic safety assessment of building and road-building machines. The method of integrated indicator of full security assessment is offered.*

***Key words:** building, road-building machines, operation, technological safety, methods, method, evaluation, complexity, indicator, model.*

**Введение**

Современное развитие территорий невозможно без таких технических средств, как

строительные и дорожные машины. С учетом системности процессов развития общества можно формировать триаду «человек–машина–среда обитания» – данная система

может исследоваться с различных точек зрения: социальной, экономической, экологической и пр. Представляется, что современное состояние общества, развитие технологий и высокая экологическая нагруженность окружающей среды требует расширить спектр исследования системы, с точки зрения безопасности всех входящих в нее взаимосвязанных и взаимовлияющих элементов. Представляет интерес проведение исследований с учетом основных положений теории систем и синергетических подходов при разработке методологических основ «технической безопасности» строительных и дорожных машин.

### Анализ публикаций

Иерархия показателей качества представляется через взаимосвязь отдельных свойств различной сложности, т.е. иерархическую структуру совокупности свойств, например, в виде «дерева свойств».

Детальный анализ «дерева свойств» позволяет установить взаимосвязь и взаимовлияние отдельных уровней поддерева свойств, например: свойство «продуктивность» при оценке производительности за час технологического времени зависит от энергетических возможностей и надежности машины, т.е. конструктивных факторов; а при оценке «непрерывности работы» – от ремонтпригодности, долговечности, безотказности, качества работоспособности, т.е. надежности машины, следовательно, тех же конструктивных факторов [1–3].

Уровень поддерева свойств по показателю «социальной приспособленности» включает свойство надежности и перечень таких конструктивных факторов как устойчивость, обзорность, динамические и тормозные качества, возможность предохранения или выхода оператора и пассажиров при аварийных ситуациях, т.е. косвенные характеристики свойства «безопасности».

В то же время на уровне поддерева свойств «ремонтпригодности» свойство «безопасность» не рассматривается [1, 2].

### Цель и постановка задачи

Целью работы является методологическое обоснование введения в классическую модель функционирования строительных и дорожных машин показателя «техническая безопасность».

Для выполнения поставленной цели решены следующие задачи:

- выполнен детальный анализ показателей функционирования, свойств отдельных элементов модели на их полноту и достаточность;
- оценена эффективность использования математической модели стоимостного исчисления свойств машины, в частности, ее надежности;
- дано обоснование введения в модель дополнительного показателя «техническая безопасность»;
- разработан алгоритм поддержания безопасности машин в период их технической эксплуатации;
- обоснована методология вероятностной оценки безопасности строительных и дорожных машин с оценкой показателя полного обеспечения безопасности.

### Классическая модель функционирования строительных и дорожных машин

Темпы и эффективность различных категорий строительства взаимосвязаны по основным параметрам.

Интенсификация строительства в дорожной, промышленной и социальной сферах потребовала массового привлечения высокоэффективных систем машин и применения высокотехнологичных процессов.

Классическая модель функционирования транспортной или технологической машины за нормируемый промежуток времени представляется в следующей форме (рис. 1).

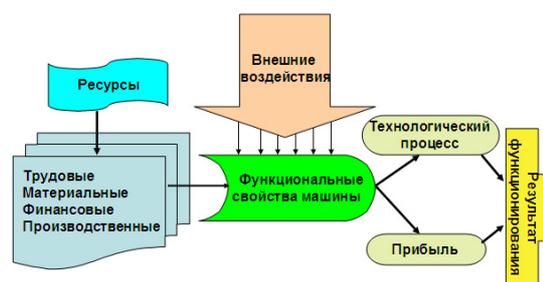


Рис. 1. Модель функционирования машины

Реализация функциональных свойств машины обеспечивается различными ресурсными составляющими, каждому из которых присущи признаки, выражаемые качественными и количественными показателями. В свою очередь качественные показатели могут

группироваться в основные, косвенные, сопутствующие и пр. показатели.

Следует отметить, что функциональные свойства машины обусловлены присущими только ей особенностями и проявляющимися при ее создании и использовании, что в целом характеризует качественный уровень рассматриваемой машины.

Различают качество, предусмотренное при проектировании конструкции машины, и качество, которое неизбежно изменяется в процессе производства и эксплуатации, т.е. эксплуатационные свойства качества и производственные свойства качества.

Количественная характеристика одного или нескольких свойств качества машины, применительно к определенным условиям ее эксплуатации, называется показателем качества машины. Проведенный качественный анализ позволил установить, что классическая иерархия свойств не предусматривает выделения свойства безопасности в виде «основной потребности».

В связи с чем все свойства, от которых зависит не только техническое состояние машины, но и ее функциональность, характеризующиеся как надежность, следует дополнять свойством безопасности.

#### Стоимостное исчисление количественной оценки показателей функционирования строительных и дорожных машин

Классические модели количественной оценки базируются на математических моделях стоимостного исчисления, выявления безразмерной величины обобщенных показателей; в частности, комплексными свойствами надежности выделяют безотказность, долговечность и ремонтпригодность, количественно представляемые обобщенными формулами, включающими коэффициент потерь как показатель отдельного свойства

$$k_n = \frac{I}{\left(1 + \frac{t_{\text{ср.в}}}{t_{\text{ср.нар}}}\right)}, \quad (1)$$

где  $k_n$  – коэффициент потерь из-за устранения технических отказов;  $t_{\text{ср.в}}$  – среднее вре-

мя устранения одного отказа (конструктивного или производственного дефекта) в течение рабочего времени, час;  $t_{\text{ср.нар}}$  – среднее время наработки между отказами (конструктивного или производственного дефекта), час.

Следует отметить, что количественно «ресурсопотребность» исчисляется стоимостным выражением совокупных затрат, а для свойства «социальная потребность» даются скорее качественные характеристики, количественное исчисление которых может выражаться осредненными приведенными величинами.

Среднее время устранения одного отказа в течение рабочего времени имеет прямую зависимость от таких характеристик машины, как: свойства транспортного средства – ремонтпригодности; организационно-производственных характеристик и средств выполнения сервисных работ, а также косвенных показателей климатических условий.

Возникновение отказа из-за проявления конструктивного или производственного дефекта зависит, в первую очередь, от качества выполненных проектных и расчетных работ на стадии проектирования и их реализации при производстве. Следует отметить, что проявление дефектов является по существу отказом, имеющим случайный характер проявления и вероятно сложно определяемым.

Предлагается дополнить методику учета потерь времени при непроизводственных простоях учетом показателя безопасности, количественно выражаемого коэффициентом потерь из-за устранения последствий нештатной или аварийной ситуации

$$k_n^{\text{ав}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{t_{\text{ср.ликв}}}{t_{\text{ср.техн.возд}}}\right)}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{ср.ликв}}$  – среднее время ликвидации последствий нештатной / аварийной ситуации, час;  $t_{\text{ср.техн.возд}}$  – средняя продолжительность технических воздействий для одного транспортного средства по недопущению возникновения нештатной / аварийной ситуации, час.

### Дополнительный показатель функционирования строительных и дорожных машин «техническая безопасность»

В классическом варианте комплексное свойство безопасности машины принято выражать через обобщение уровня активной, пассивной или послеаварийной безопасности, т.е. показателя, оцениваемого в период функциональной эксплуатации машины. Следует отметить, что вопрос безопасности технической эксплуатации машины, т.е. периода функциональной эксплуатации без отказов, вызывающих нештатные ситуации или несчастные случаи, при ее техническом обслуживании, ремонте, не получил должной проработки.

Понятие «техническая безопасность» представляет собой один из видов безопасности машины, охватывающий свойства обеспечения полной безопасности в период эксплуатации (технического состояния, ремонт и обслуживание).

В составе технической безопасности как системы можно выделить подсистемы:

- техническая безопасность при функционировании машины;
- техническая безопасность при техническом обслуживании машины;
- техническая безопасность при ремонте машины.

Две последние подсистемы могут быть представлены как «техническая безопасность при сервисном сопровождении машины» [2].

Алгоритм поддержания безопасности машин на отдельных стадиях жизненного цикла представлен на рис. 2.

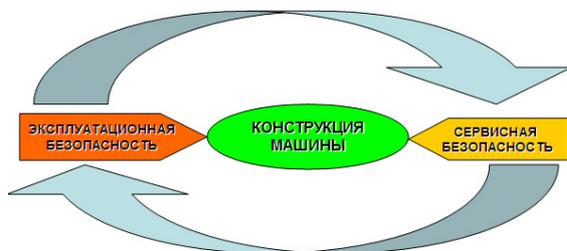


Рис. 2. Алгоритм поддержания безопасности машины

Приспособленность машин к проведению ремонта, технического обслуживания и диа-

гностики представляется в виде совокупности простейших систем, с учетом показателей: контролепригодности, доступности, легкосъемности, взаимозаменяемости, стандартизации и унификации сборочных единиц и инструмента.

Расчетная модель потребности в текущих ремонтах, в связи с отказами агрегатов, представляется в виде

$$N_{\text{ТРотк}} = \frac{T_{\text{р.м}}}{T_{\text{о.м}}} \eta_{\text{в}} < N_{\text{ТР}}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{р.м}}$  – рабочее время машины;  $T_{\text{о.м}}$  – наработка на отказ машины;  $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент, отражающий влияние возраста машины,  $\eta_{\text{в}} < 1$ ;  $N_{\text{ТР}}$  – потребность в определенном числе текущих ремонтов

$$N_{\text{ТР}} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{ТР}}}, \quad (4)$$

$T_{\text{ТР}}$  – средний ресурс машины между текущими ремонтами

$$T_{\text{о.м}} \approx 1 / \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_{\text{о.и}}} \right), \quad (5)$$

$T_{\text{о.и}}$  – наработка на отказ  $i$ -й системы.

Структурирование отдельных систем и элементов машины позволяет в качестве дополнения предложить фактор безопасности, что при дальнейших исследованиях обеспечит формализацию их признаков [3].

Комплексное определение свойств всех стадий жизненного цикла транспортных и технологических машин следует дополнить свойством их безопасности, которое характеризуется не только различными видами, но и факторами, их формирующими.

Иерархическая структура совокупности свойств может быть дополнена показателем «контролепригодность» машины, под которым понимается приспособленность к выполнению необходимых операций контроля ее технического состояния, как с точки зрения функциональности, так и ее технической безопасности.

Контроль технического состояния машины, как с точки зрения ее работоспособности, так и для обеспечения безопасности осуществляется через систему диагностических параметров, измеряемых с помощью встроенных средств.

Диагностические параметры, вместе с показателем технического состояния элемента, могут критериально отражать недопущение определенных видов опасностей.

Подобный контроль позволяет предвидеть момент наступления опасной ситуации до ее проявления, т.е. средство диагностирования является устройством, сигнал которого оповестит об этом моменте: средством оповещения может стать импульс на контроллере резервирования или блокировка рабочего процесса.

Следующим этапом обеспечения технической безопасности, в частности при оказании сервисных услуг, является доступность к потенциально опасной системе (узлу), с целью выполнения корректирующих регулировок, или легкосъемность при необходимости снятия потенциально опасного узла или элемента системы.

Поскольку в общем случае все предлагаемые структурные модели качества свойств машины направлены на реализацию ее целевых установок – функционирование, то свойства взаимозаменяемости и унификации будут характеризовать способность быстроты восстановления работоспособности после наступления опасной ситуации и ее устранения, потери машиной свойства технической безопасности.

#### **Вероятностная оценка безопасности строительных и дорожных машин с учетом показателя полного обеспечения безопасности**

Рассмотрим метод дифференциального исчисления относительного показателя технической безопасности транспортных и технологических машин.

За базовые берутся единичные показатели полного обеспечения безопасности машины.

Вычисление относительного показателя безопасности машины ( $RSM$  – *relative safety ma-*

*chines*) осуществляется через показатель базовой безопасности машины ( $BSM$  – *basis safety machines*) по формуле

$$RSM = \frac{SM_i}{BSM_i}. \quad (7)$$

Представляется, что относительный показатель безопасности  $i$ -ой машины складывается из  $j$ -го вида опасностей.

В результате оценки уровня безопасности машин дифференцированным методом принимаются следующие решения:

– уровень безопасности соответствует показателю полного обеспечения безопасности (ППОБ), предъявляемой к данному типу машины, т.е.  $RSM = 1$ ;

– уровень безопасности оцениваемой машины ниже значения показателя полного обеспечения безопасности, предъявляемой к данному типу машин, т.е.  $RSM < 1$ .

В случае, когда относительный показатель безопасности  $i$ -ой машины по  $j$ -му виду опасности равен единице, а другой – меньше, то следует применить комплексный или смешанный метод оценки показателя полного обеспечения безопасности машины.

Также стоит рассмотреть метод комплексного исчисления показателя полного обеспечения технической безопасности транспортных и технологических машин. За базовый берется обобщенный средне взвешенный арифметический показатель безопасности машины ( $GSM$  – *generalization safety machines*)

$$GSM = \sum_{i=1}^n m_i (RSM). \quad (8)$$

В настоящее время параметры весомости отдельных показателей наиболее эффективно оценивать экспертным методом, чем по результатам статистического анализа.

Выделяемая группа характеристик одного уровня «дерева» показателей в сумме равна единице ( $\sum m = 1$ ).

В случае значительного разброса значений  $RSE$ , для получения достоверных данных, в качестве обобщенного берется средний взвешенный геометрический показатель.

Единичные показатели, переведенные в балльную систему исчисления, группируют, и для каждой группы определяется соответствующий комплексный показатель. Наиболее значимые показатели могут остаться единичными.

На основе полученной совокупности комплексных и единичных показателей оценивают уровень ППОБ машины дифференцированным методом.

Полное обеспечение безопасности машины подчинено принципу пропорционального соотношения между конструктивным совершенством машины и ресурсом, способствующим получению максимального результата при использовании машины; принципу непрерывности – использованию машины с минимальными потерями времени.

Реализация преимуществ комплексной безопасности осуществляется за счет поддержания эксплуатационных свойств функционирующей машины на высоком уровне. Осуществление комплексной безопасности достигается путем обеспечения рационального соотношения между конструктивным совершенством машины и ресурсом отдельных узлов, агрегатов и систем машины.

### Выводы

Анализ классической модели функционирования строительных и дорожных машин выявил необходимость введения в модель дополнительного показателя «техническая безопасность».

Разработана методика поддержания безопасности машин в период их технической эксплуатации.

Дана вероятностная оценка безопасности строительных и дорожных машин.

Предложен метод комплексной оценки показателя полного обеспечения безопасности.

### Литература

1. Баловнев В.И. Выбор оптимальной землеройной машины в зависимости от условий эксплуатации – важная задача современного сервиса / В.И. Баловнев // Механизация строительства. – 2012. – № 03. – С. 2–6.
2. Зорин В.А. Формирование системы менеджмента качества предприятий обслуживания и ремонта автотранспортного комплекса / В.А. Зорин, А.М. Шакурова // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 12. – С. 39–41.
3. Севрюгина Н.С. Ресурсная модернизация самоходных машин / Н.С. Севрюгина, В.М. Бабин // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 09. – С. 49–52.

Рецензент: А.В. Полярус, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2013 г.