

УДК 656.13.05

Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, В.И. Самусенко, А.М. Никитин

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности транспортных процессов на дорогах Российской Федерации, а также направления деятельности по обеспечению безопасности движения на этапах проектирования автомобиля. Для решения проблемы использованы математические модели на основе теории вероятностей.

Ключевые слова: безопасность транспортного процесса, безопасность движения, уровень риска, надежность автомобиля, теория вероятностей.

Как известно, уровень безопасности транспортных процессов закладывается при создании новых автотранспортных средств (АТС), поэтому проблема обеспечения безопасности автомобилей на этапах разработки и производства опытного образца представляет особую актуальность. Развитие методов оценки уровня безопасности транспортных процессов, разработки и утверждения норм безопасности движения позволяет не только качественно (лучше-хуже, удобно-неудобно), но и количественно оценивать соответствие автотранспортных средств предъявляемым требованиям ещё на ранних стадиях существования. С этой целью на этапе проектирования автомобилей (эскизный проект, технический проект и изготовление макета) отрабатывается и согласовывается с заказчиком таблица соответствия автомобиля и его систем требованиям безопасности [1; 2; 5].

В таблице соответствия находят отражение общие и специальные (частные) требования к уровню безопасности транспортных процессов. Если общие требования содержат количественные требования к уровню безопасности транспортных процессов, то специальные включают в себя требования к характеристикам надежности, отказобезопасности, контролепригодности, системам сигнализации и контроля и эргономические требования. Поскольку безопасность транспортных процессов зависит от технических характеристик и характеристик функционирования систем автомобиля, то таблица соответствия содержит также требования к характеристикам устойчивости и управляемости и их изменению при возможных неисправностях в системах автомобиля. Анализ этой таблицы дает возможность в случае обнаружения несоответствия своевременно предпринимать меры по совершенствованию техники, улучшению её эксплуатационно-технических характеристик, осуществляя, таким образом, управление уровнем безопасности транспортных процессов.

Важнейшее место в этой работе принадлежит обеспечению заданного уровня безопасности транспортных процессов, определяемого надежностью систем создаваемого автомобиля.

В техническом плане эта задача решается по таким основным направлениям:

– разработка технических решений, направленных на предупреждение опасных ситуаций и уменьшение степени их опасности, на обеспечение соответствия автомобиля и его систем требованиям по эргономике;

– разработка и совершенствование базы натуральных и полунатурных исследований и испытаний (моделирующих комплексов, стендов и т. д.) и проведение исследований на этой базе с целью оценки степени опасности опасных ситуаций, вызываемых неисправностями в функциональных системах автомобиля;

– разработка технологической документации на узлы, агрегаты, неисправности которых вызывают опасные ситуации, угрожающие безопасности транспортных процессов.

В методическом плане задача обеспечения заданного уровня безопасности транспортных процессов сводится к оценке ожидаемого количественного уровня безопасности

транспортных процессов и сравнению его с заданным [3 - 5]. Расчет уровня безопасности транспортных процессов выполняется аналитическими методами. Эта задача является комплексной, и её поэтапное решение предполагает решение таких частных задач:

- разделение (декомпозиция) автомобиля на составляющие его части;
- выявление в каждой функциональной системе перечня функциональных неисправностей, потенциально угрожающих безопасности транспортных процессов;
- обоснование расчетной модели безопасности транспортных процессов, реализующей расчетные методы оценки безопасности;
- распределение заданного уровня безопасности транспортных процессов между функциональными системами создаваемого автомобиля;
- расчет уровня безопасности транспортных процессов по каждой функциональной системе автомобиля;
- объединение результатов расчетов по каждой функциональной системе с целью оценивания уровня безопасности транспортных процессов в целом по автомобилю, сравнение этого уровня безопасности с заданным;
- решение смежных задач при обеспечении соответствия фактического уровня безопасности транспортных процессов заданному.

Рассмотрим кратко сущность перечисленных задач.

Автомобиль представляет собой сложную техническую систему, состоящую из ряда систем, взаимодействующих между собой при их функционировании. Поэтому задача оценивания уровня безопасности транспортных процессов сразу в целом для автомобиля имеет большую размерность, что существенно затрудняет её решение. Декомпозиция автомобиля на составляющие его части преследует цель снизить размерность решаемой задачи, сделать обозримыми сам процесс получения результатов, их анализ и отыскание конкретных путей для достижения заданного уровня безопасности транспортных процессов. Условное разделение автомобиля на составные части должно выполняться на основе объективно существующей иерархической связи между заданными функциями для отдельных его систем. Согласно этому принципу, все части автомобиля могут быть ранжированы и отнесены соответственно к элементу конструкции автомобиля, подсистеме, системе, функциональной группе систем автомобиля [1; 5; 6].

Декомпозиция автомобиля должна быть выполнена таким образом, чтобы выделенные функциональные системы сохраняли связи со смежными системами и энергоисточниками. При этом каждый выделенный элемент должен входить только в одну вполне определенную подсистему.

После декомпозиции автомобиля на составляющие его части в каждой из функциональных систем выявляется перечень функциональных неисправностей, потенциально угрожающих безопасности транспортных процессов. Под функциональной неисправностью понимается вид неработоспособного состояния системы, характеризующийся определенным нарушением функций системы. Функциональная неисправность может явиться следствием неисправностей отдельных элементов, входящих в систему, а также их комбинаций. Для каждой функциональной неисправности определяют возможные причины ее появления, т. е. виды неисправностей элементов и их сочетания, приводящие к данному виду функциональной неисправности. При расчете уровня безопасности транспортных процессов не рассматриваются такие сочетания неисправностей, которые представляют практически невероятные события.

Расчету уровня безопасности транспортных процессов (уровня риска) по каждой функциональной системе должно предшествовать распределение заданного уровня безопасности транспортных процессов между функциональными системами. Решение этой задачи позволяет конкретизировать пути обеспечения заданного уровня безопасности транспортных процессов с учетом вклада каждой функциональной системы в аварий-

ность, т. е. определить требования к надежности систем и степени опасности их неисправностей [5 - 7].

Пусть к создаваемому автомобилю предъявлено требование обеспечить  $Q = Q_3$ , где  $Q_3$  – заданный уровень риска. Распределение  $Q_3$  между системами может быть выполнено от достигнутой аварийности по системам того же назначения на автомобиле-аналоге. Для этого по статистическим сведениям об аварийности на автомобиле-аналоге определяют относительную частоту ДТП по каждой из его систем:

$$\bar{Q}_{ja} = \frac{Q_j}{Q_a} = \frac{n_{ДТП_{ja}}}{n_{ДТП_a}},$$

где  $n_{ДТП_{ja}}$ ,  $n_{ДТП_a}$  – числа ДТП по  $j$ -й системе аналога и АТС-аналогу в целом за период, сравнимый с планируемым периодом эксплуатации нового ТС ( $j = \overline{1, n}$ ).

Заданный уровень риска  $Q_3$  для нового автомобиля распределяется между его системами по соотношению

$$Q_{j3} = Q_3 \bar{Q}_{ja}.$$

При таком распределении  $Q_3$  между системами не учитывается стоимость их производства и эксплуатации в зависимости от вклада в обеспечение безопасности движения, т. е. задача решается не оптимальным образом.

Задачу оптимального распределения  $Q_3$  между системами автомобиля с учетом их стоимости можно сформулировать следующим образом: распределить  $Q_3$  между системами так, чтобы затраты на их производство и эксплуатацию были минимальными, т. е.

$$C = \sum_{j=1}^n C_j = \min, \quad (1)$$

где  $C_j$  – функция стоимости  $j$ -й системы, зависящая от  $Q_j$ , например

$$C_j = a_j + \frac{b_j}{Q_j}.$$

Здесь  $a_j, b_j$  – известные коэффициенты.

Оптимальные значения  $Q_j$ , реализующие условие (1) при  $\sum_{j=1}^n Q_j \leq Q_3$ , могут быть определены методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составляется функция Лагранжа:

$$L = \sum_{j=1}^n C_j + (\sum_{j=1}^n Q_j - Q_3)x,$$

где  $x$  – неопределенный множитель Лагранжа.

Чтобы найти оптимальные решения, следует продифференцировать функцию Лагранжа по переменным  $Q_j$  и  $x$  и приравнять производные к нулю:

$$\frac{dL}{dQ_j} = 0; \quad \frac{dL}{dx} = 0. \quad (2)$$

Из решения системы уравнений (2) определяются оптимальные значения  $Q_j$ , удовлетворяющие поставленным условиям.

Рассмотрим элементарный пример. Пусть  $n=2$ . Требуется распределить  $Q_3$  между системами. Функция Лагранжа имеет вид

$$L = a_1 + \frac{b_1}{Q_1} + a_2 + \frac{b_2}{Q_2} + x(Q_1 + Q_2 - Q_3).$$

Составляем дифференциальные уравнения для определения неизвестных значений  $x$ ,  $Q_1$  и  $Q_2$ :

$$\frac{dL}{dQ_1} = -\frac{b_1}{Q_1^2} + x = 0; \quad \frac{dL}{dQ_2} = -\frac{b_2}{Q_2^2} + x = 0; \quad \frac{dL}{dx} = Q_1 + Q_2 - Q_3 = 0.$$

Решая эти уравнения, получим:

$$Q_{1_{opt}} = Q_3 \sqrt{\frac{b_1}{b_1 + b_2 + 2\sqrt{b_1 b_2}}}; \quad Q_{2_{opt}} = \sqrt{\frac{b_2}{b_1 + b_2 + 2\sqrt{b_1 b_2}}}.$$

При  $b_1 = b_2$  имеем очевидный результат:

$$Q_{1_{opt}} = Q_{2_{opt}} = \frac{1}{2} Q_3.$$

Одни и те же функциональные неисправности на различных этапах транспортного процесса, в различных условиях представляют неодинаковую опасность. В движении существует практически бесчисленное количество дорожных ситуаций, характеризующихся скоростью, углом наклона дороги и креном, поэтому расчет уровня безопасности транспортного процесса по каждой функциональной системе и для автомобиля в целом проводится для определенного типового процесса в соответствии с заданными условиями эксплуатации. Расчет проводится по моделям безопасности транспортных процессов методами, рассмотренными ранее. Исходные данные для расчета по  $\lambda$ -характеристикам, вероятностям неисправностей  $q$  и степени их опасности  $s$  выявляются по статистическим данным эксплуатации аналогичных образцов автотранспортных средств, данным специальных исследований на моделирующих стендах, тренажерах и т. д. Например, степень опасности неисправностей  $i$ -го типа оценивается так:

$$S_i^* = \frac{n_{ДТП_i}}{n_{ДТП_{i0}} + n_j},$$

где  $n_{ДТП_i}$  – число ДТП из-за неисправностей  $i$ -го типа (по статистическим данным эксплуатации аналогичных образцов);  $n_j$  – число неисправностей, не приводящих к ДТП.

Так как исходная статистика всегда ограничена, то значения  $\lambda$ ,  $q$ ,  $s$  по функциональным неисправностям, используемые при расчете, имеют приближенный характер.

Для учета некоторой неопределенности исходных данных при расчете уровня риска  $Q_j$  по каждой функциональной системе возможно использование одного из двух приемов.

Первый прием: при расчете  $Q_j$  используются значения  $\lambda$ ,  $q$ ,  $s$ , соответствующие их верхним доверительным границам, вычисленным при определенной доверительной вероятности  $\beta$ . Расчет верхних доверительных границ по перечисленным характеристикам выполняется известными методами теории вероятностей.

Второй прием – расчет уровня риска  $Q_j$  методом статистического моделирования. Суть этого приема состоит в том, что по распределениям величин  $\lambda^*$ ,  $q^*$ ,  $s^*$  моделируется серия комбинаций их реализаций и для каждой из этих комбинаций вычисляется значение уровня риска  $Q_{ji}$ . По серии значений  $Q_{ji}$  выявляется его дифференциальный закон распределения  $f(Q_j)$ , по которому при доверительной вероятности  $\beta$  определяется расчетное значение уровня  $Q_j$  из условия

$$\int_0^{Q_j} f(Q_j) dQ_j = \beta.$$

После расчета  $Q_j$  по всем функциональным системам определяется уровень риска в целом для АТС  $Q = \sum_{j=1}^n Q_j$  и сравнивается с заданным. Если требование  $Q \leq Q_3$  не выполняется, то в проекте реализуются дополнительные технические решения, направленные на выполнение заданной нормы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сакович, Н.Е. Обеспечение безопасности транспортных работ в сельскохозяйственном производстве за счет снижения аварийности сельскохозяйственной транспортной техники: дис.... д-ра техн. наук / Н.Е.Сакович. – М., 2012. – 397 с.
2. Сакович, Н.Е. Влияние надежности транспортных средств на безопасность дорожного движения / Н.Е. Сакович, В.И. Самусенко, Е.Н. Христофоров [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. - № 2. – С. 50 – 51.
3. Сакович, Н.Е. Совершенствование методов анализа дорожно-транспортных происшествий / Н.Е. Сакович, В.И. Самусенко, Е.Н. Христофоров [и др.] //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. - № 8. – С. 50 – 51.
4. Сухов, С.С. Проблемы повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации на современном этапе / С.С.Сухов, Т.И.Белова, А.А. Филиппов // Вестник МАНЭБ. – СПб., 2012. – Т17. - №3. - С.106 – 111.
5. Христофоров, Е.Н. Теоретические основы безопасности дорожного движения: монография / Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, А.М. Никитин. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. – 187 с.
6. Христофоров, Е.Н. Теория и практика обеспечения безопасности дорожного движения в АПК: монография / Е.Н.Христофоров, Н.Е.Сакович, В.С.Шкрабак. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2008. – 282 с.
7. Христофоров, Е.Н. Вероятностно-статистические методы в дорожном движении: монография / Е.Н. Христофоров. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2005. – 200 с.

Материал поступил в редколлегию 19.01.15.