

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

УДК 656.2.08

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Излагаются вопросы эволюции методов оценки безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, рассматриваются новые подходы, направленные на повышение безопасности функционирования транспортных систем.

Как мы различаем опасность? Кто чаще, а кто реже, но все мы сталкиваемся с этим явлением. Здесь нам приходится полагаться на свидетельства своих органов чувств, точные расчеты, многочисленные эксперименты, горький опыт, а часто и на нечто необъяснимое. Корни опасности часто глубоко скрыты от нашего взгляда, иногда уходят в далекое прошлое, иногда фетишизируются в сознании целых поколений людей. Поэтому неудивительно, что австралийский абориген свято верил: если нанести удар копьем по следу врага – значит навредить ему. Все слышали про “охоту на ведьм”, многие убежденно верят в необходимость строгого соблюдения ритуалов, когда садятся за руль автомобиля, пульт управления тепловозом, станцией, воздушным движением или другой сложной системой. В этом проявляется стремление человека защитить себя и других людей от неблагоприятного стечения обстоятельств. Отсюда берет начало долготелая борьба человека и человечества за безопасность. В новом тысячелетии необходимость решения проблемы безопасности и, в частности, проблемы безопасности функционирования транспортных систем выходит на первый план. По оценкам экспертов, мировая транспортная система, если не изменить ситуацию, только в ближайшие 10 лет погубит около 5 млн человек, будут нанесены колоссальные материальные потери, увеличатся потери рабочего времени, расходы на медицинскую помощь, социальное страхование, другие косвенные расходы. По ряду

расчетов, общие потери от нарушения безопасности работы транспортных систем в развитых странах уже сегодня достигают 6–11 % валового национального продукта.

Вопреки впечатлению, которое обычно складывается при поверхностном ознакомлении с предметом этой удивительной науки, безопасность работы транспортных систем – это не просто набор более или менее хитроумных приемов или «все охватывающих» инструкций, как действовать в той или иной ситуации. Часто наука о безопасности открывает немало такого, о чем мы не знали или даже не подозревали, хотя речь идет о явлениях чрезвычайно существенных. Нередко ее выводы противоречат нашему чувственному восприятию, а иногда и здравому смыслу.

Одним из наиболее безопасных видов транспорта в Республике Беларусь является железнодорожный, который выполняет около 80 % грузооборота и 65 % пассажирооборота. Учитывая значение и роль железнодорожного транспорта в экономике народного хозяйства, несмотря на относительно высокую безопасность работы, этой проблеме на Белорусской железной дороге уделяется первостепенное внимание. На дороге создана целостная система обеспечения безопасности перевозочного процесса, ежегодно внедряется свыше 500 организационно-технических мероприятий, которые прямо или косвенно влияют на повышение безопасности перевозочного процесса. В результате безопасность работы Белорусской железной дороги по-

вышается и находится на уровне лучших по этому показателю железных дорог. В частности, количество случаев брака на 105 поездо-км находится на уровне 0,3 [3].

Анализ развития теории безопасности транспортных систем показывает, что на первом этапе использовался сравнительный метод оценки безопасности за определенный период наблюдения, т.е. хронологический подход. Начало хронологических методов расчета безопасности на железных дорогах ведет с 1838 г., когда караульный сторож попал под паровоз. Первое крушение произошло 21 мая 1839 г. около станции Царское село. Тяжелая катастрофа (150 жертв) произошла в мае 1942 г., когда на линии Париж–Версаль сошел с рельсов и загорелся поезд.

Хронологические методы оценки безопасности работы железных дорог позволили отследить тенденции роста или уменьшения количества опасных состояний и принять соответствующие решения. Кроме того, именно в этом периоде было положено начало созданию фантомных моделей оценки безопасности перевозочного процесса, оценки безопасности функционирования транспортных систем. В этих моделях происходило накопление, консервация и сжатие информации о прошлых реалиях и поведении транспортной системы (ее элемента) в экстремальных ситуациях. Впоследствии фантомные модели безопасности непрерывно пополнялись и трансформировались, охватывая не только интеллектуальные возможности «человеческого фактора», но и проникли в имитационные модели безопасности. Поэтому подтверждение фантомной модели реальными наблюдениями часто превращало ее в программу действий или набор инструкций. Этот феномен, вероятно, и лежит в основе многих суеверий и культов, известных законов безопасности. Например, **закон Мерфи**: если какая-нибудь неприятность может случиться, она случается.

Следствия. Из всех неприятностей произойдет именно та, ущерб от которой больше.

Если четыре причины возможных неприятностей заранее устранены, то всегда найдется пятая.

Закон Чизхолма. Когда дела идут хорошо, что-то должно случиться в ближайшем будущем.

Любые предложения люди понимают иначе, чем тот, кто их вносит.

Закон Финэйгла. Если уж работа проваливается, то всякая попытка ее спасти только ухудшит дело.

Второй период развития теории и методов расчета безопасности перевозочного процесса можно назвать хронометрическим, когда безопасность оценивалась, в первую очередь, по ряду относительных показателей.

Наибольшее распространение, например, получили относительные показатели типа

$$\rho_i = \frac{\lambda_i \sum NI}{10^6}, \quad (1)$$

где λ_i – общее количество случаев нарушения безопасности перевозочного процесса i -го типа (браки в работе, особые случаи брака в работе, авария, крушение) за год; $\sum NI$ – количество поездо-километров, выполненных подразделением железнодорожного транспорта;

$$\varphi_i = \frac{\lambda_i \sum Pl_{пр}}{10^9}, \quad (2)$$

где $\sum Pl_{пр}$ – приведенный грузооборот, выполненный подразделением железнодорожного транспорта за год.

Исследования безопасности перевозочного процесса, выполненные на этом этапе, позволили уточнить отдельные положения теории безопасности и акцентировать повышенное внимание к «человеческому фактору» как определяющему элементу, способствующему обеспечению безопасности перевозочного процесса. В этот период начали появляться исследования по безопасности перевозочного процесса на других видах транспорта, а сама проблема безопасности стала предметом комплексного исследования целого ряда наук и, в первую очередь, психологии и педагогики.

Главным недостатком этого периода является невозможность прогнозирования опасных ситуаций и детерминистический подход к оценке уровней риска, отсутствие механизмов оценки реального ущерба от нарушения безопасности.

Третий этап (современный период) развития методов связан с вероятностным представлением о характере транспортных процессов, учетом скрытых взаимосвязей между опасными, неопасными отказами и нарушением безопасности перевозочного процесса (взаимная корреляция).

Теоретической базой этого периода пока можно считать вывод о том, что количественным показателем безопасности является вероятность безотказной работы, т. е.

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= P(T > t); \\ T &> 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Другими словами, продолжительность безотказной работы T будет больше заданного промежутка времени t .

Если обозначить общую интенсивность отказов через $\lambda(t)$, то

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) + \lambda_n(t), \quad (4)$$

где $\lambda_0(t)$, $\lambda_n(t)$ – соответственно, интенсивность опасных и неопасных отказов.

Очевидно, что

$$P(t) + Q(t) = 1, \quad (5)$$

где $P(t)$ – вероятность нормальной работы системы; $Q(t)$ – вероятность работы с отказом.

После выполнения соответствующих математических преобразований [5] можно получить количественную оценку $P(t)$ при известных $\lambda(t)$:

$$P(t) = e^{-(\lambda_0 + \lambda_n)t}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что безопасность

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t}. \quad (7)$$

Очевидно, что положенная в основу теоретическая концепция базируется на принципах:

– независимости потоков опасных и неопасных отказов;

– распределение генерализационного потока отказов с интенсивностью $\lambda(t) = \lambda_0(t) + \lambda_n(t)$ близко к пуассоновскому;

– отсутствует «прикрытие» опасных отказов неопасными и наоборот;

– интенсивность опасных отказов является статистически устойчивой величиной.

Имеется и целый ряд других ограничений на область применения выражений типа (7). Среди них выделяются такие, как неаддитивность факторов, влияющих на опасный отказ, когда малое воздействие может вызвать самые тяжелые последствия, критичность некоторой совокупности факторов, вблизи которой возникает опасная ситуация и другие.

Дальнейшее развитие методов оценки безопасности связано с выводом понятия «безопасность» из его подчиненности или адекватности понятию «надежность». Назрела острая необходимость разграничения этих двух принципиально разных областей знания. Принципиальные отличия теории надежности от теории безопасности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Теория	
надежности	безопасности
Из абсолютно ненадежных элементов возможно создать абсолютно надежную систему	Из абсолютно безопасных элементов невозможно создать абсолютно безопасную систему
Отказ является, как правило, статистически устойчивой величиной, т.е. исследуется зона больших частот в распределении случайной величины	Брак, аварии, крушения, как правило, уникальные события, т.е. исследуются «хвосты» распределения случайной величины

Анализ таблицы 1 показывает, что попытки свести (а еще хуже вывести) понятие «безопасность» к понятию «надежность» сильно сужает область исследований. Покажем это на таком примере, как роспуск состава на сортировочной горке. При одинаковой надежности вагонов столкновение в парке сортировки цистерны с хоппером (особенно порожним) со скоростью, превышающей допустимую, как показали исследования, в 8–12 раз опаснее, чем столкновение цистерны с полувагоном. Количество подобных примеров легко продолжить.

Важным направлением развития методов оценки безопасности перевозочного процесса могут оказаться корреляционные модели. Выполненные нами исследования показали, что принципиальным отличием таких моделей является достаточно высокий уровень взаимной корреляции между анали-

зируемыми случайными величинами. Используя, в частности, автокорреляционную функцию K_τ , удалось выявить некоторые пиковые периоды «памяти» системы на безопасность:

$$K_\tau = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_t Y_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau}}{\sqrt{\left[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_t^2 - \left(\sum_{t=1}^{n-\tau} Y_t \right)^2 \right] \left[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau}^2 - \left(\sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau} \right)^2 \right]}} \quad (8)$$

где Y_t – значение прогнозного показателя безопасности в момент времени t ; $Y_{t+\tau}$ – то же в момент $t+\tau$; τ – интервал времени.

На рисунке 1 показан характер изменения величины K_τ для одной из железных дорог. Анализу подвергалась зависимость между общим количеством браков в работе за год и суммарным количеством аварий и крушений.

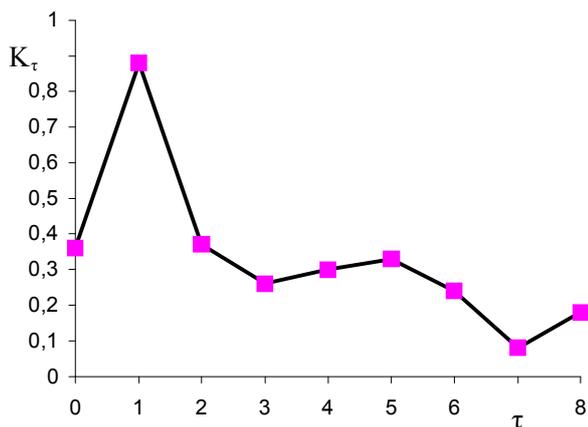


Рисунок 1 – График зависимости $K_{\tau} = f(\tau)$ для процесса ОКБ → аварии + крушения

Из рисунка 1 следует, что пиковая память для этой системы равна одному году. Другими словами, снижение количества браков в работе обеспечивает сокращение аварий и крушений на дороге через год. Этот вывод позволяет заблаговременно разработать программу повышения безопасности перевозочного процесса. С ростом τ «память» на безопасность по данному виду нарушений резко снижается.

Применение спектрального анализа и теории корреляции зависимых случайных процессов позволяет на качественно новом уровне выявить факторы нарушения условий безопасности и раскрыть правильно феномен, когда все параметры по отдельности находятся в норме, но их определенное сочетание вызывает нарушение условий безопасности. Например, наиболее неблагоприятное сочетание в местах схода подвижного состава – перелом профиля, кривая малого радиуса, порожние вагоны (с высоким расположением центра тяжести и 9 – 26 номером в составе). В таких местах наблюдается достаточно высокая взаимная корреляция между шириной колеи и уровнем, между шириной колеи и износом головки рельса. В результате совместного действия и высокой корреляции указанных факторов уже при $v = 60$ км/ч создается чрезвычайно опасная ситуация. Именно поэтому установление и классификация таких опасных подмножеств играет на современном этапе первостепенную роль и требует создания таксономии факторов опасности. Особое значение в этой работе может сыграть совместное использование теории корреляционных процессов и селективных алгоритмов, в частности, прогнозных моделей опасных ситуаций оптимальной сложности. Такие прогнозные модели, разработанные автором, для расчета общего количества браков позволили

установить основные факторы и вид корреляционной зависимости между ними для условий Белорусской железной дороги. Из наиболее «неожиданных» факторов, включенных в прогнозную модель оптимальной сложности, вошел такой, как объем капитальных вложений в развитие дороги, отстоящий на 10–12 лет от прогнозного момента.

В рамках современного этапа развития методов оценки безопасности перевозочного процесса важное значение приобретает разработка эталонных алгоритмов расчета безопасных режимов работы транспортных систем (например, длина тормозного пути, видимость на дороге, продолжительность реакции машиниста локомотива, дежурного по станции, диспетчера, других работников, расчетная скорость, требования к плану и профилю железнодорожной линии, правила размещения вагонов в составе поезда и другие важные параметры).

Проиллюстрируем важность такого вывода на методике расчета такого важнейшего параметра, как остановочный путь S_0 . Это расстояние от момента фиксации машинистом опасности до полной остановки поезда. Очевидно, что длина остановочного пути S_0 больше длины тормозного пути на величину пути, проходимого поездом за время реакции машиниста и время срабатывания тормозов. При автоматических тормозах

$$t_n = t_p + t_{\phi}. \quad (9)$$

Путь подготовки к торможению

$$S_n = v_{\tau} t_n / 3,6 = 0,278 v_{\tau} t_n.$$

Известно, что время реакции машиниста – величина случайная и описывается нормальным законом распределения

$$P(t_p) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t_p^{cp} - t_p)^2}{2\sigma_p^2}\right]. \quad (10)$$

Аналогично можно считать, что, в силу известных причин, и время срабатывания тормозов также описывается нормальным законом. Тогда, применяя к выражению (9) свертку Лапласа, можно показать, что распределение суммы величин t_p и t_{cp} также будет описываться нормальным законом с параметрами:

$$t_n^{cp} = t_p^{cp} + t_{cp}^{cp};$$

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_{cp}^2}, \quad (11)$$

где t_p^{cp} , t_{cp}^{cp} – средние значения, соответственно, времени реакции и времени срабатывания авто- тормозов.

Легко показать, что закон распределения величины S_n описывается выражением

$$P(S_n) = \frac{1}{\sigma_p a \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(S_n - at_n^{cp})^2}{2a^2 \sigma_p^2}\right]. \quad (12)$$

Из (12) следует, что $S_n^{cp} = at_n^{cp}$; $\delta_{s_n} = a\sigma_p$.

Если $v_r = 70$ км/ч, $t_p^{cp} = 0,8$ с, $\delta_p = 0,14$ с, $t_{cp}^{cp} = 9$ с, $\delta_{cp} = 1,35$ с, то величины $t_n^{cp} = 0,8 + 9 = 9,8$ с; $\delta_n = \sqrt{0,14^2 + 0,35^2} = 1,36$ с; $S_n = 0,278 \cdot 70 \cdot 9,8 = 190,7$ м. Максимальная длина пути $S_n^{макс} = S_n + 3a v_r \delta_n$; $S_n^{макс} = 190,7 + 3 \cdot 0,278 \cdot 70 \cdot 1,36 = 270,1$ м.

Указанный пример показывает, что игнорирование случайных колебаний и расчетных параметров приводит к занижению пути S_n на 79,4 м и может привести систему к опасному состоянию. Это положение имеет принципиальное значение для обеспечения безопасности перевозочного процесса.

Важную роль в формировании теории безопасности транспортных систем играют вопросы экономической оценки последствий браков, аварий, крушений. Сегодня средняя стоимость ущерба от крушений на железнодорожном транспорте оценивается в 50000–55000, аварии – 12000–15000, брака – 150–180 у.е. Ущерб от несчастного случая оценивается совсем дешево, практически только как сумма выплат по листам нетрудоспособности. По нашим оценкам, эти цифры существенно занижены, по отдельным категориям – на 2 порядка. Например, ущерб от несчастного случая в развитых странах оценивается в сумму, эквивалентную аварии на Белорусской железной дороге. Это ведет к принятию неадекватных решений. Многие достижения научно-технического прогресса, направ-

ленные на повышение безопасности перевозочного процесса, признаются экономически неоправданными и не применяются в практике. Примером может служить действующая методика оценки эффективности строительства путепроводных развязок, новые системы повышения безопасности «человеческого фактора» (в том числе и стимулы) и другие решения.

Безопасность перевозочного процесса во многом определяется структурой анализируемых систем, поэтому следует поставить на повестку дня вопрос об оценке влияния структуры системы на ее безопасность. Расчеты, выполненные автором для отдельных железнодорожных узлов Белорусской железной дороги, позволили установить структурно наиболее «опасные» станции, отдельные пункты, что позволит рациональнее распределить ресурсы на поддержание заданного уровня безопасности. Более подробно эта проблема будет освещена в следующих номерах журнала.

Список литературы

- 1 Гончаров А. Н., Жариков О. В. Предупреждение чрезвычайных ситуаций при транспортировке опасных грузов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: Материалы науч.-практ. конф. – Гомель, 2002. – С.173 – 177.
- 2 Дыщенко Н. А., Негрей В. Я. Современные проблемы организации перевозочного процесса // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2001. – № 2 – С. 39 – 44.
- 3 Дыщенко Н. А., Негрей В. Я. Методы оценки безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2002. – С. 8 – 9.
- 4 Климанов В. С. Теория и практика профилактической работы по обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте. – М.: РГОТУПС, 2000. – 368 с.
- 5 Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. – М.: Транспорт, 1999. – 192 с.
- 6 Негрей В. Я. Развитие научных исследований по безопасности перевозочного процесса // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2000. – С. 7 – 8.

Получено 17.12.2002

V. Y. Negrey The development of the safety estimation methods of railway transportation process.

The this study the evolution problems of the safety estimation methods of railway transportation process are considered; new approaches for the increase of the safety of transportation system functioning are discussed.