



Оценка риска от аварийных происшествий



Владимир ПОПОВ
Vladimir G. POPOV

Филипп СУХОВ
Philippe I. SUKHOV



Сергей ПЕТРОВ
Sergey V. PETROV

Попов Владимир Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия и инженерная экология» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Сухов Филипп Игоревич – кандидат технических наук, доцент МИИТ. Петров Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент МИИТ.

Для устойчивого развития железнодорожного транспорта нужны анализ и прогноз управленческих решений на основе некоторой общей количественной оценки уровня безопасности движения. Задача более простая связана с аварийными и эколого-экономическими рисками при движении поездов по маршруту. Пример оценки на строительстве участка Томмот–Якутск.

Ключевые слова: эколого-экономический риск, управление безопасностью, железная дорога, опыт оценки.

При управлении безопасностью движения на железных дорогах возникают две разноуровневые задачи [1].

Задача высшего уровня должна обеспечивать безопасность не с помощью защиты, а через устойчивое развитие, которое представляет собой самоорганизующийся процесс, уменьшающий существующие угрозы и не порождающий новые [2-4].

Задача более низкого уровня связана с анализом, оценкой и управлением аварийными и эколого-экономическими рисками при движении поездов по своим маршрутам.

При строительстве и временной эксплуатации железных дорог оценка аварийного и эколого-экономического рисков в соответствии с требованиями постановления правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 (редакция от 15.02.2011) позволяет прогнозировать риски при движении поездов и зоны возможного загрязнения окружающей среды в местах потенциальной опасности.

Задача, связанная с оценкой аварийного риска при движении поезда по маршруту, определяется бифуркационной природой крушений, аварий, сходов или

столкновений грузовых поездов и основана на апостериорном статистическом анализе для количественной оценки вероятности их возникновения. Для этого использовались данные аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте в грузовом движении за период с 1996 по 2011 год.

Рассматривались все опасные состояния (отказы объектов) социотехнической системы железнодорожного транспорта, которые приводят к сходам и столкновениям грузовых поездов с другими грузовыми или пассажирскими поездами и имеют последствия крушения, аварии или особото брака в работе.

При разработке методической части оценки риска для грузовых поездов приняты следующие положения.

1. Аварийные происшествия проявляются в виде двух групп последовательных событий A_j и B_i .

2. Группа первоначальных событий A_j представляет собой опасные отказы j -го вида ($j=1,2,\dots, J$) объектов социотехнической системы железнодорожного транспорта, являющиеся причиной сходов (столкновений) грузового поезда при поездной работе. События A_j образуют полную группу несовместных событий, т.е. сумма вероятностей их появления равна 1. Другими словами, только одно событие A_j может служить причиной схода (столкновения) поезда.

3. Вторая группа событий B_i представляет собой события, одно из которых возникает с определенной вероятностью после наступления события A_j и проявляется как сход (столкновение) грузового поезда при поездной работе с i -м видом последствий (B_1 – крушение; B_2 – авария; B_3 – сход (столкновение) поезда без последствий крушения или аварии).

Известно, что уровни безопасности движения на железных дорогах сильно различаются. Для оценки интенсивностей возникновения событий $B_i|A_j$, происходящих на один час поездки поезда по m -й железной дороге, воспользуемся соотношениями:

$$\mu_m = 17 \bar{g}_m / \sum_{B=1}^{17} \bar{g}_m ; \lambda_{B_i|A_j}^m = \mu_B \cdot \lambda_{B_i|A_j} \quad \text{при}$$

$$m=1,2,\dots,17,$$

где

$$\bar{g}_m = \frac{\text{количество случаев брака на } m\text{-й железной дороге за } K \text{ лет}}{\text{объем работы на } m\text{-й железной дороге за } K \text{ лет (млрд.т-км брутто)},}$$

$\lambda_{B_i|A_j}$ – общесетевые интенсивности

возникновения событий $B_i|A_j$, приходящиеся на один час поездки поезда (определены на основе статистических данных).

Тогда аварийный риск возникновения событий $B_i|A_j$, B_i ($B_i = \bigcup_{j=1}^J B_i|A_j$)

и B ($B = \bigcup_{i=1}^3 B_i$) при движении грузового

поезда по маршруту (участкам железных дорог m_1, m_2, \dots, m_L за время $t \leq T_{m_1} + T_{m_2} + \dots + T_{m_L}$, где m_i – некоторые числа интервала от 1 до 17) можно оценить по следующим формулам:

$$R_M(B_i|A_j) = 1 - \exp(-\sum_{m_i} \lambda_{B_i|A_j}^{m_i} T_{m_i});$$

$$R_M(B_i) = \sum_{j=1}^J R_M(B_i|A_j);$$

$$R_M(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i).$$

Укрупненную эколого-экономическую оценку от последствий аварийного риска при движении поезда с грузом по определенному маршруту можно сделать по формуле:

$$R_M^{\text{э}}(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i) \cdot Y(B_i),$$

где $Y(B_i)$ – математическое ожидание материального ущерба от наступления событий B_i .

Практическая невозможность прогнозных оценок ущербов от возникновения событий B_i и B при движении грузового поезда заставляет также обращаться к использованию консервативных допущений и апостериорных статистических данных по определению математического ожидания ущерба.

$$Y(B_i) = Y_0(B_i)(1+r)^n,$$

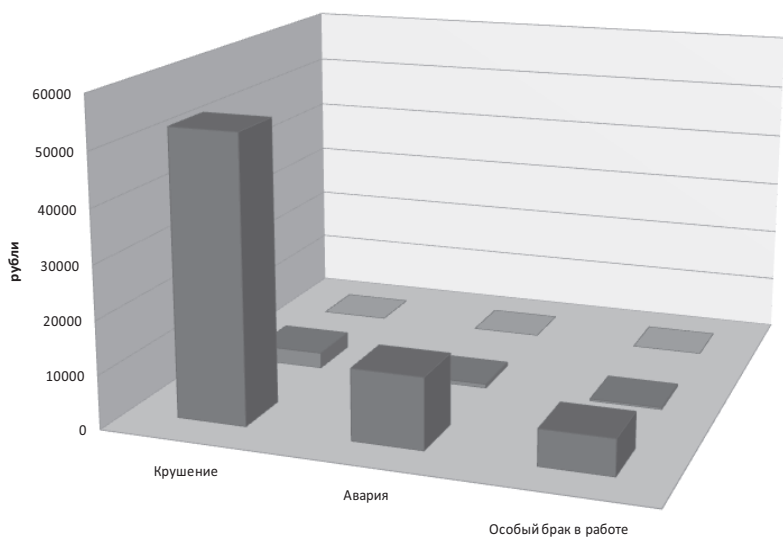
где $Y_0(B_1) = 2 \cdot 10^6$ руб., $Y_0(B_2) = 0,5 \cdot 10^6$ руб., $Y_0(B_3) = 0,254 \cdot 10^6$ руб., $n = \Gamma - 2000$, лет,



Таблица 1

Аварийный риск при перевозке нефти и нефтепродуктов по заданному маршруту (1/поезд)

$R_M(B_1)$	$R_M(B_2)$	$R_M(B_3)$	$R_M(B)$
$4,7423 \cdot 10^{-5}$	$2,7099 \cdot 10^{-5}$	$1,2398 \cdot 10^{-4}$	$1,985 \cdot 10^{-4}$

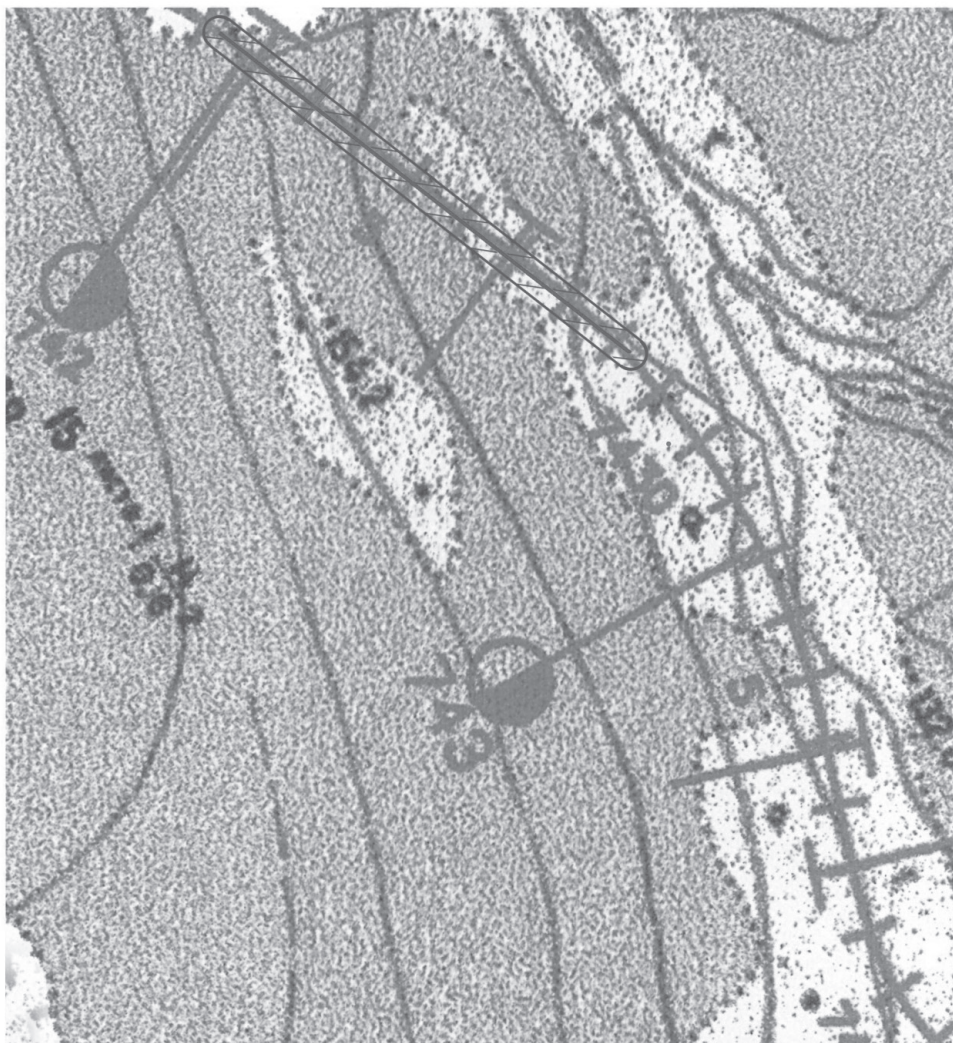


	Крушение	Авария	Особый брак в работе
■ 1 сценарий - разгерметизация котла цистерны, утечка и пролив дизельного топлива на грунт и в водные объекты	53078,2	13269,6	6740,9
■ 2 сценарий - разгерметизация котла цистерны, утечка дизельного топлива с его воспламенением	2988,9	747,2	379,6
■ 3 сценарий - без разгерметизация котла цистерны (без утечки дизельного топлива)	0,05	0,013	0,006

Рис. 1. Эколого-экономический ущерб для трех сценариев развития аварийного происшествия (грузовой поезд с дизельным топливом из 65 четырехосных вагонов-цистерн).



Рис. 2. Эколого-экономическая оценка риска для трех сценариев развития аварийного происшествия (грузовой поезд с дизельным топливом из 65 четырехосных вагонов-цистерн).





-  - грузовой поезд с дизельным топливом (65 четырехосных вагонов-цистерн)
-  - граница разлива дизельного топлива ($S_3 = 9,6$ га)

Рис. 3. Схема разлива нефтепродуктов при аварийной ситуации (полный разлив дизельного топлива на перегоне км 742 – км 743).

Γ – год анализа риска, r – норма дисконтирования ($r=0, 1-0, 12$).

Особую проблему представляет оценка $Y(B_i)$ – математического ожидания ущерба от наступления событий B_i при перевозке опасных грузов из-за непредсказуемых масштабов экологических последствий, обусловленных различными сценариями развития аварийных происшествий.

Нами разработаны методы эколого-экономической оценки риска при перевозке по определенному маршруту сжиженных газов, нефти и нефтепродуктов, а также угля и других видов твердого топлива [5–7].

Например, апостериорный анализ сценариев развития аварийных происшествий с грузовыми поездами, перевозящими нефть и нефтепродукты, после их схода или столкновения показал, что можно выде-





— - граница разлива дизельного топлива ($L_z = 3,5$ км)

Рис. 4. Схема загрязнения водного бассейна р. Лютенге; 4 часа с момента аварийного происшествия (время прибытия аварийно-восстановительного поезда).

лить, как минимум, три возможных сценария:

1 – разгерметизация котла цистерны, утечка и пролив нефти и нефтепродукта на грунт и в водные объекты; 2 – разгерметизация котла цистерны, утечка нефти и нефтепродукта с его воспламенением; 3 – без разгерметизации котла цистерны.

Тогда эколого-экономическую оценку риска возникновения события B_i при перевозке нефти и нефтепродуктов по заданному маршруту можно определить по формуле:

$$R_{ЭК}(B_i) = R_M(B_i) \cdot \sum_{\kappa=1}^3 P_{\kappa}(B_i) \cdot Y_{\kappa}(B_i),$$

где $P_{\kappa}(B_i)$ – вероятность реализации κ -го ($\kappa=1,2,3$) сценария развития аварийного

происшествия, квалифицируемого как событие B_i (крушение, авария, особый брак в работе), для грузовых поездов, перевозящих нефть и нефтепродукты;

$Y_{\kappa}(B_i)$ – эколого-экономический ущерб от реализации κ -го ($\kappa=1,2,3$) сценария аварийного происшествия.

При перевозке нефти и нефтепродуктов по маршруту ст. Татьяна Приволжской ж. д. (Волгоградский нефтеперерабатывающий завод) – ст. Грушевая Северо-Кавказской ж. д. (нефтебаза АО «Черномортранснефть») оценка риска экологических потерь от последствий аварийных происшествий при движении нефтеналивного поезда по данному маршруту по величине на порядок больше укрупненной эколого-экономической оценки риска.

Интерпретировать аварийный риск $R_M(B)$ можно так – при регулярных перевозках примерно каждый пятитысячный грузовой поезд попадет в аварийное происшествие с любыми возможными последствиями.

Все эти методы могут служить основой для оценки нетто-премии при страховании ответственности грузоперевозчиков, экспедиторов и других участников перевозочного процесса, а также для выработки управленческих решений, направленных на снижение аварийного риска при перевозке различных грузов на железнодорожном транспорте.

Оценка аварийного и эколого-экономического рисков при строительстве и эксплуатации железной дороги была выполнена для трассы железнодорожной линии на участке Томмот–Кердем–Якутск (Нижний Бестях).

Трасса длиной 443 км проходит в субмеридиональном направлении по территории Республики Саха-Якутия (Алданский, Хангаласский, Мегино-Кангаласский улусы), приравненной к районам Крайнего Севера, и на большом протяжении пролегает вдоль Амуро-Якутской автомагистрали М-56 (федеральная дорога «Лена»).

Проектируемая железнодорожная линия Беркакит – Томмот – Якутск (Нижний Бестях) относится к особо сложным объектам железнодорожного строительства.

Оценены три вида экологического риска возникновения аварийных ситуаций на участке Томмот–Якутск (Нижний Бестях):

- при перевозке нефтепродуктов в процессе строительства;
- при перевозке строительных;
- в местах потенциальной опасности на самой железнодорожной линии;

Некоторые полученные результаты представлены на рис. 1–4. По итогам анализа сделаны выводы о допустимости экологических рисков, но в то же время предложены некоторые меры по их снижению при перевозках нефтепродуктов и строительных грузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В. Г. Метод оценки уровня безопасности движения и аварийного риска при перевозке грузов по железным дорогам//Государственный подход к обеспечению безопасности перевозок и страхованию рисков на железных дорогах с применением логистических технологий: Труды науч.-практ. конференции. – М., 2008.
2. Попов В. Г. Безопасность и устойчивое развитие//Мир транспорта. – 2004. – № 3.
3. Попов В. Г., Сухов Ф. И. Индекс-отклик и индекс-прогноз // Мир транспорта. – 2007. – № 3.
4. Попов В. Г. Об анализе состояния и количественной оценке уровня безопасности движения поездов на железных дорогах России//Труды V науч.-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – М., 2004.
5. Попов В. Г., Петров С. В. К вопросу оценки аварийного риска при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте//Труды VI науч.-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – М., 2005.
6. Попов В. Г. и др. Оценка экологического и социального риска при перевозке угля на железнодорожном транспорте//Труды VI науч.-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – М., 2005.
7. Попов В. Г., Петров С. В. Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам//Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 9. ●

ACCIDENT RISK ASSESSMENT

Popov, Vladimir G. – D.Sc. (Tech), professor, head of the department of chemistry and ecological engineering of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Sukhov, Philippe I. – Ph. D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Petrov, Sergey V. – Ph. D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors argue the importance of analysis and forecasting of managerial decisions, based on a certain common quantitative estimation of traffic safety, for sustainable developments of transportation. The assessment of accident, ecological and economic risks which runs a train at its itinerary is deemed to be less complicated task. Moreover, the authors give an example of such an assessment for construction of a track section between Tommot and Yakutsk.

Key words: ecological and economic risk, safety management, railway, assessment experience.

Координаты авторов (contact information): Попов В. Г. – vpopov@mail.ru, Сухов Ф. И. – Philipp@sukhov.org, Петров С. В. – petrov_mii@mail.ru

