

ЭКСПЕРТНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В.С. Артамонов, доктор технических наук, доктор военных наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ;

А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

Д.А. Скороходов, доктор технических наук, профессор.

**Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко
Российской академии наук**

Рассмотрены особенности сбора информации, определены основные принципы системы контроля качества и разработан экспертный метод прогноза уровня надёжности и безопасности железнодорожной техники. Такой подход является основой для сертификации и страхования железнодорожных перевозок, что необходимо для работы на мировом транспортном рынке.

Ключевые слова: анализ, безопасность, жизнь, информация, метод, несчастный случай, риск, рынок, сертификация, стоимость, частота, эксперт

EXPERT LEVEL PREDICTION METHOD OF RELIABILITY AND SAFETY OF RAILWAYS

V.S. Artamonov; A.S. Poljakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

D.A. Skorohodov. Institute of problems of transport named after N.S. Solomenko of the Russian Academy of sciences

As a result of consideration of features of gathering of the information main principles of the monitoring system of quality are determined and the expert method of the forecast of a level of reliability and safety of railway technics (technical equipment) is developed. Such approach is a basis for certification and insurance of rail transportation that is necessary for work in the world (global) transport market.

Keywords: the analysis, safety, life, the information, method, accident, risk, the market, certification, cost, frequency, the expert

Специалисты США, Японии, Англии и других стран широко используют методы принятия решений, позволяющие получать максимальный эффект от капиталовложений, выделяемых на повышение безопасности движения на железных дорогах. В основе этих методов – прогнозирование рисков аварий, оценка стоимости потерь и сбереженных жизней, а также расчет эффекта от предлагаемых мероприятий.

В большинстве стран в качестве базового параметра принимается денежное выражение стоимости жизни человека, которая может быть спасена при реализации проектов по обеспечению безопасности движения. Департамент транспорта Великобритании просуммировал экономические потери с возмещением издержек на компенсацию физических и моральных ущербов при транспортных происшествиях. В итоге получилось, что стоимость одного смертельного случая составляет 665 тыс. ф. ст. и 20 тыс. ф. ст. приходится на каждый серьёзный несчастный случай. В Канаде стоимость смертельного случая оценивается в 1,5 млн канадских долларов. Эти оценки совместно с достоверной

статистикой затрат на восстановление движения подвижного состава и сооружений позволяют определять суммарные потери от нарушений безопасности движения [1]. Далее определяется предполагаемое сокращение количества смертельных случаев, серьёзно пострадавших и других потерь в условиях осуществления планируемых мероприятий. Самый простой путь – это сравнение статистических данных по стране, планирующей проведение мероприятий, с данными по странам, уже их осуществившими. Однако простое сравнение не всегда дает правдивые оценки и требуется более глубокий анализ.

Основу анализа составляет метод определения рисков железнодорожных перевозок, для чего анализируются частота и количество несчастных случаев, степень тяжести полученных травм, динамика случаев во времени, их сценарии и т.д. Расчет риска позволяет установить, что начиная с некоторого момента, затраты на дальнейшее повышение безопасности начинают резко расти, а достигаемый с их помощью эффект становится всё более незначительным. Специалисты Великобритании подсчитали, что риск пассажира погибнуть на железной дороге не должен превышать единицу на 50 млн поездок. На этой основе определяется необходимость предохранительных мер, способы их осуществления и ответственность исполнителей.

Такой подход является основой для сертификации и страхования железнодорожных перевозок, что необходимо для работы на мировом транспортном рынке.

Основные принципы системы контроля качества

На зарубежных железных дорогах хорошо отлажена система контроля состояния технических средств и качества работы персонала. Её основу составляют компьютерные технологии и использование статистических методов на всех уровнях транспортного процесса от рабочих до руководителей отраслей [2].

Эти методы включают: построение диаграмм Парето и Исикавы, изучение изменчивости процесса с помощью контрольных карт, анализ соответствия допускам и регулирование параметров технологических процессов.

Качество работы персонала контролируется системой при которой все успехи и упущения в работе каждого сотрудника заносятся в компьютерный формуляр. На основе информации формуляра ежемесячно начисляются заработная плата и премии. Причина каждого упущения в работе анализируется специалистом по управлению персоналом, который может принять одно из следующих решений:

- ограничиться записью в формуляр;
- направить работника на обучение;
- снизить заработную плату или премию;
- перевести на другую работу;
- уволить за грубое нарушение трудовой дисциплины.

Руководители всех уровней за упущения в работе подчиненных не наказываются. Освобожденные от страха наказания сотрудники не боятся указывать на свои ошибки и ошибки других, а также обращаться за советом и помощью. В обстановке взаимного доверия и поддержки исключаются сокрытия истинного качества выполненной работы и состояния техники.

На зарубежных железных дорогах велика роль государственных инспекторов (ревизоров), которые контролируют этапы выполнения строительных и монтажных работ, состояние и обслуживание техники. Они обладают широкими полномочиями по выдаче обязательных рекомендаций, наложению штрафов и запретов, вплоть до запрещения деятельности железнодорожных компаний.

Следовательно, при выработке стратегии совершенствования системы обеспечения безопасности (или концептуальной модели управления безопасностью) важно максимально учитывать отечественный и зарубежный опыт по организации безопасной работы железнодорожного транспорта.

Метод прогноза уровня надежности и безопасности

Для осуществления прогноза представляется целесообразным установить зависимость уровня безопасности от основных определяющих факторов, которыми являются:

- объем перевозочной работы (грузооборот, пассажирооборот);
- состояние технических средств (процент неисправных, выработавших свой ресурс технических средств);
- уровень технических средств (объем и качество внедряемой новой техники, периоды между обновлением или модернизацией техники);
- численность персонала, занятого в перевозочном процессе, или общая численность работников на железнодорожном транспорте;
- уровень квалификации персонала (средний разряд, классность, количество должностей занятое специалистами (%), соответствующей квалификации и образования);
- дисциплина: трудовая (количество прогулов, опозданий на работу, переработок, выходов в нетрезвом состоянии); технологическая (число нарушений производственных операций при условии, что на все виды технического обслуживания разработаны соответствующие технологии);
- конструктивные показатели (скорость, масса поезда, статическая нагрузка на ось).

Математическую зависимость уровня безопасности движения в первом приближении можно представить в виде линейной комбинации указанных факторов с соответствующими коэффициентами [3]:

$$Y = \sum_i k_i P_i, \quad (1)$$

где P_i – эффективность i -го фактора, определяемая его численным значением; k_i – весовой коэффициент i -го фактора.

Эффективность каждого фактора определяется с помощью непрерывной функции желательности Харрингтона, позволяющей установить связь между лингвистической шкалой оценки качества и значениями шкалы предпочтений (табл.).

Таблица. Взаимосвязь между эмпирической и числовой системами

Эмпирическая система (лингвистические значения)	Числовая система, d
Высокоэффективно	1,00÷0,81
Эффективно	0,80÷0,64
Среднеэффективно	0,63÷0,38
Малоэффективно	0,37÷0,21
Неэффективно	0,20÷0,00

Таким образом, эффективность факторов рассчитывается при использовании функции Харрингтона, следующим образом:

$$P_i = \exp(-\exp(-R)),$$

где $R=[-4÷4]$ – значения лингвистической шкалы, определяемые в соответствии с численным значением i -го фактора. При этом:

$$R = \frac{8 * F_i^{mek}}{F_i^{onm}} - 4, \text{ при } F_i^{mek} \leq F_i^{onm};$$

$$R = \frac{8 * (2F_i^{opt} - F_i^{тек})}{F_i^{opt}} - 4, \text{ при } F_i^{тек} > F_i^{opt},$$

где $F_i^{тек}$ – текущее (оцениваемое) численное значение i -го фактора; F_i^{opt} – оптимальное (наилучшее), с точки зрения безопасности, численное значение i -го фактора.

Вид данной функции представлен на рисунке.

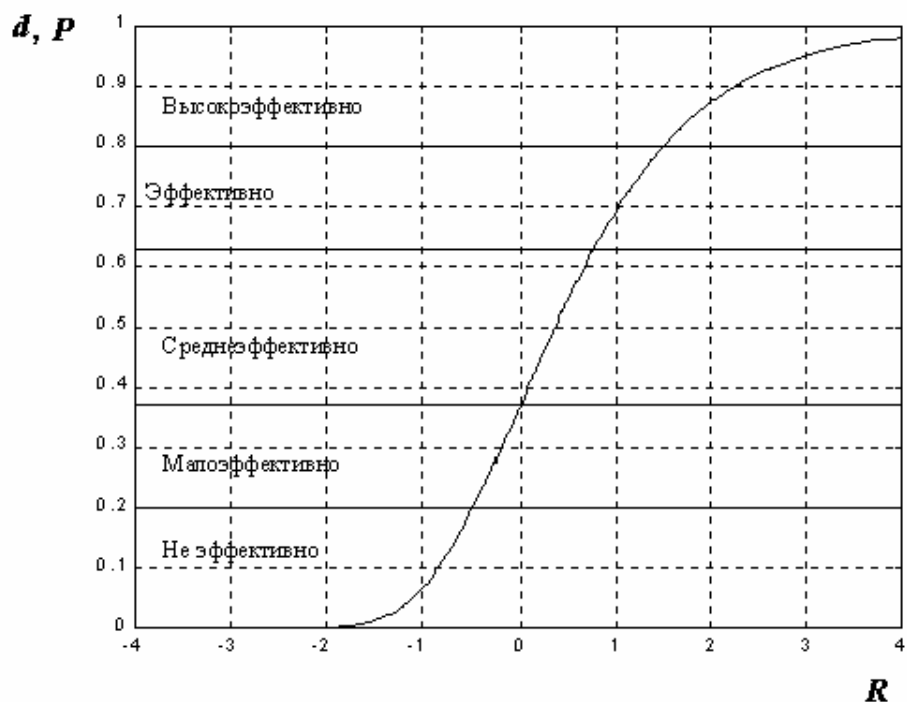


Рис. Непрерывная функция желательности Харрингтона

Поскольку указанные выше факторы различны по степени их значимости, для оценки уровня безопасности необходимо, прежде всего, определить коэффициенты важности (веса) каждого фактора. Для этого экспертам необходимо осуществить ранжирование всех факторов, подставив в элементы квадратной матрицы цифры «0; 1 или 2» в соответствии со следующим правилом:

- если, по мнению эксперта, фактор в строке важнее фактора в столбце, то на пересечении строки и столбца ставится цифра «2»;
- если фактор менее важный, ставится цифра «0»;
- если равноценный – цифра «1».

Например, при наличии пяти факторов: Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф5 исходная матрица выглядит следующим образом:

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	1				
Ф2	*	1			
Ф3	*	*	1		
Ф4	*	*	*	1	
Ф5	*	*	*	*	1

Если эксперт считает, что: фактор Ф1 важнее факторов Ф2 и Ф5, менее важный, чем фактор Ф3 и такой же по важности как фактор Ф4; фактор Ф2 более важный, чем фактор Ф3, менее важный чем фактор Ф4 и такой же по важности как фактор Ф5; фактор Ф3 менее важный чем фактор Ф4 и более важный, чем фактор Ф5; фактор Ф4 более важный, чем фактор Ф5, тогда заполненная экспертом матрица парных сравнений должна иметь следующий вид:

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	1	2	0	1	2
Ф2	*	1	2	0	1
Ф3	*	*	1	0	2
Ф4	*	*	*	1	2
Ф5	*	*	*	*	1

Для сокращения времени заполнения матрицы соответствующие цифры вписываются только в пустые ячейки матрицы, то есть эксперт заполняет только верхний диагональный треугольник. Ячейки, в которых находится символ «*», заполняются зеркально противоположно верхним, то есть если на пересечении l -й строки и j -го столбца стоит цифра «2», то на пересечении j -й строки и l -го столбца необходимо поставить цифру «0», и наоборот. Цифра «1» переносится зеркально без изменений. Таким образом, окончательный вариант заполненной матрицы будет выглядеть следующим образом:

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	1	2	0	1	2
Ф2	0	1	2	0	1
Ф3	2	0	1	0	2
Ф4	1	2	2	1	2
Ф5	0	1	0	0	1

После заполнения всех элементов матрицы определяются коэффициенты важности каждого фактора следующим образом:

1. для квадратной матрицы факторов определяется сумма цифр, стоящих в каждой

l -й строке, то есть вычисляются значения $\sum_{j=1}^m C_j$, где j – столбец;

2. после этого складываются все цифры в столбце сумм строк, то есть вычисляется

значение $\sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^m C_{lj}$;

3. коэффициент важности по каждому фактору определяется как отношение суммы

цифр в каждой строке к сумме цифр столбца сумм строк, то есть $k_i = \sum_{j=1}^m C_j / \sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^m C_{lj}$.

Например, для матрицы параметров

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	1	2	0	1	2
Ф2	0	1	2	0	1
Ф3	2	0	1	0	2
Ф4	1	2	2	1	2
Ф5	0	1	0	0	1

имеем:

$$- \text{ для первой строки } (l=1) \sum_{j=1}^5 C_j = 6;$$

$$- \text{ для второй строки } (l=2) \sum_{j=1}^5 C_j = 4;$$

$$- \text{ для третьей строки } (l=3) \sum_{j=1}^5 C_j = 5;$$

$$- \text{ для четвертой строки } (l=4) \sum_{j=1}^5 C_j = 8;$$

$$- \text{ для пятой строки } (l=5) \sum_{j=1}^5 C_j = 2.$$

Тогда, для столбца сумм строк имеем $\sum_{l=1}^5 \sum_{j=1}^5 C_{lj} = 25$. Окончательно получаем следующие значения коэффициентов важности (веса) факторов:

$$k_1 = \frac{6}{25} = 0.24; k_2 = \frac{4}{25} = 0.16; k_3 = \frac{5}{25} = 0.20; k_4 = \frac{8}{25} = 0.32; k_5 = \frac{2}{25} = 0.08.$$

Таким образом, наиболее значимым, в данном примере, является фактор Ф4, затем (в порядке убывания веса) следуют факторы Ф1, Ф3, Ф2 и Ф5.

Общий уровень безопасности будет определяться выражением:

$$Y = \sum_i k_i P_i,$$

где $i=5$ – количество факторов; P_i – эффективность i -го фактора, определяемая его численным значением.

Следовательно, чем эффективнее выполнены наиболее весомые факторы (в данном примере Ф4 и Ф1), тем выше будет общий уровень безопасности, даже при невысоком проценте выполнения остальных факторов, и, наоборот, если менее важные факторы выполнены на 100 %, но при этом невысок процент реализации наиболее весомых факторов, общий уровень безопасности будет невысокий.

Полученное после суммирования значение $Y = \sum_i k_i P_i$ будет находиться в интервале от нуля (очень низкий уровень безопасности) до единицы (очень высокий уровень безопасности). Значения $Y \leq 0.37$ являются критическими уровнями безопасности. Для увеличения общего уровня безопасности необходимо обратить внимание на те факторы, которые имеют большие коэффициенты веса и при этом низкую эффективность. Зная весовые коэффициенты, по формуле (1) можно прогнозировать уровень безопасности.

Литература

1. Безопасность водного транспорта и человеческий фактор / В.С. Артамонов, В.С. Звонов, М.Л. Маринов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
2. Скороходов Д.А., Старииченков А.Л. Показатели надёжности и безопасности при оценке и прогнозировании допустимых уровней состояния технических средств

железнодорожного транспорта / Транспорт России: Проблемы и перспективы – 2009: тр. Всерос. науч.-практ. конф. М.: МИИТ, 2009.

3. Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Актуальные проблемы совершенствования систем управления безопасностью железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 1 (20).