

## Заключение

Увеличение максимальной скорости движения влечет за собой необходимость улучшения инфраструктуры путевого хозяйства и электроснабжения, а также сопровождается увеличением удельного расхода электроэнергии, что в свою очередь ведет к возрастанию энергетической составляющей себестоимости перевозок.

В результате многофакторного эксперимента на расчетной модели определено удельное электропотребление для поездов со скоростью до 250 км/ч в условиях различной максимальной скорости движения на заданном участке.

Установлено, что удельный расход электроэнергии увеличивается при возрастании скорости вследствие увеличения аэродинамического сопротивления движению. Для горизонтального участка при ускорении ЭПС  $\alpha = 5$  км/ч/с и скорости 250 км/ч удельное электропотребление более чем в 3 раза превышает этот показатель на скорости 120 км/ч, что

составляет 50,8 Вт·ч/т·км и 16,01 Вт·ч/т·км, соответственно.

Решение о применении скоростного и высокоскоростного движения на конкретной пассажирской линии следует принимать с учетом организации движения и тяговой мощности установленного электропривода на ЭПС по критерию минимума удельного электропотребления при заданном времени движения между пунктами остановки поезда.

## Библиографический список

1. **Режимы** движения и особенности тяговых расчетов при определении нагрузок на устройства электроснабжения высокоскоростных линий / А. Т. Бурков, С. А. Бурков, М. А. Шарпилова // Элтранс-2011. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 584 с.
2. **Основные** принципы устройства электроприводов / Г. К. Дюбей. – 2-е изд. – М. : Техносфера, 2009. – 478 с.

УДК 656.043.1

## С. А. Вырков

Научно-исследовательский центр проблем управления на железнодорожном транспорте Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПО КРИТЕРИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА

Рассматривается вопрос о классификации нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте по критерию тяжести последствий, выраженной в денежном эквиваленте. Приводится обоснование целесообразности перехода на такой вид классификации, представлена методика определения финансовых границ между группами нарушений, основанная на кластерном анализе, проанализирована устойчивость финансовой границы при разбиении всех видов нарушений на два кластера.

классификация транспортных происшествий, кластерный анализ, критерий оптимального разбиения, межгрупповой среднеквадратический разброс, внутригрупповой среднеквадратический разброс, несмещенная оценка дисперсии.

## Введение

Классификация транспортных происшествий (далее – классификация) предназначена для структурирования железнодорожных транспортных происшествий по определенным признакам. К задачам классификации также относятся определение статуса комиссии по расследованию транспортного происшествия, времени оповещения, глубины расследования, уровня принимаемых мер по недопущению подобных случаев в дальнейшем.

Основным критерием для формирования системы классификации транспортных происшествий является тяжесть наступивших последствий в результате возникновения случая. В соответствии с этим критерием существует несколько подходов к разработке классификации. Например, на железных дорогах РФ, Беларуси, Узбекистана, Казахстана, Украины и некоторых других стран СНГ градация всех возможных случаев происходит по тяжести последствий, выраженных в натуральных величинах потерь (количестве погибших, числе списанных единиц подвижного состава, объемах ремонта). На железных дорогах Европейского союза случаи классифицируются как по типу происшествий (сход, столкновение, происшествие на железнодорожном переезде и др.), так и по материальному ущербу. В США возможные случаи классифицируются по тяжести последствий, выраженных в денежном эквиваленте, где основными видами нарушений является «incident» и «accident», а денежная граница составляет величину порядка 20 000 долларов (по данным на конец 2000-х годов).

Самым перспективным подходом к классификации транспортных происшествий для отечественного железнодорожного транспорта является градация по материальному ущербу. Конечным результатом любого нарушения являются финансовые затраты на ликвидацию его последствий, поэтому такой подход наиболее универсален. Его достоинством является также возможность общей оценки состояния безопасности движения на участках, маршрутах и полигонах дороги.

Задача настоящей статьи – изложить методику определения финансовых границ между видами транспортных происшествий и анализ устойчивости границ для разных выборок.

## 1 Методика определения финансовых границ между видами происшествий

Разбиение транспортных происшествий по материальному ущербу проводится на основе кластерного анализа [1]. Пусть  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – упорядоченные по величине данные (средний материальный ущерб от  $i$ -го происшествия), т. е.  $x_i > x_j$  при  $i > j$  (рис. 1). Исходные данные по  $x_i$  приведены в табл. 1. В связи с отсутствием точных значений материального ущерба по видам происшествий и событий величина потерь была установлена на основании многолетней практики распределения суммарных потерь по видам происшествий [3–5].

Множество значений  $x_i$  обозначим через  $D$ . Задача состоит в том, чтобы разбить множество  $D$  на несколько групп так, чтобы данные внутри каждой группы различались между собой в среднем меньше, чем данные, принадлежащие разным группам. Для решения этой задачи введем множество  $A(a, b) = \{x \in D \mid a < x < b\}$ . Обозначим группы, на которые разбивается массив данных, через  $G_k$ , и пусть  $M$  – количество таких групп. Пусть далее величины  $z_0 < z_1 < \dots < z_M$  – границы групп, причем  $G_k = A(z_{k-1}, z_k)$ .

В качестве критерия разбиения принята величина

$$K(z_0, z_1, \dots, z_M) = \frac{\sum_{i=1}^M S(G_i)}{\sum_{i=1}^{M-1} T(G_i, G_{i+1})}, \quad (1)$$

где

$$S(G_i) = \frac{2}{n_i(n_i - 1)} \sum_{\substack{j, m=1 \\ (j < m)}}^{n_i} (x_j - x_m)^2;$$

$$T(G_i, G_k) = \frac{1}{n_i n_k} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{m=1}^{n_k} (x_j - x_m)^2,$$

где  $n_i$  – число элементов в группе.

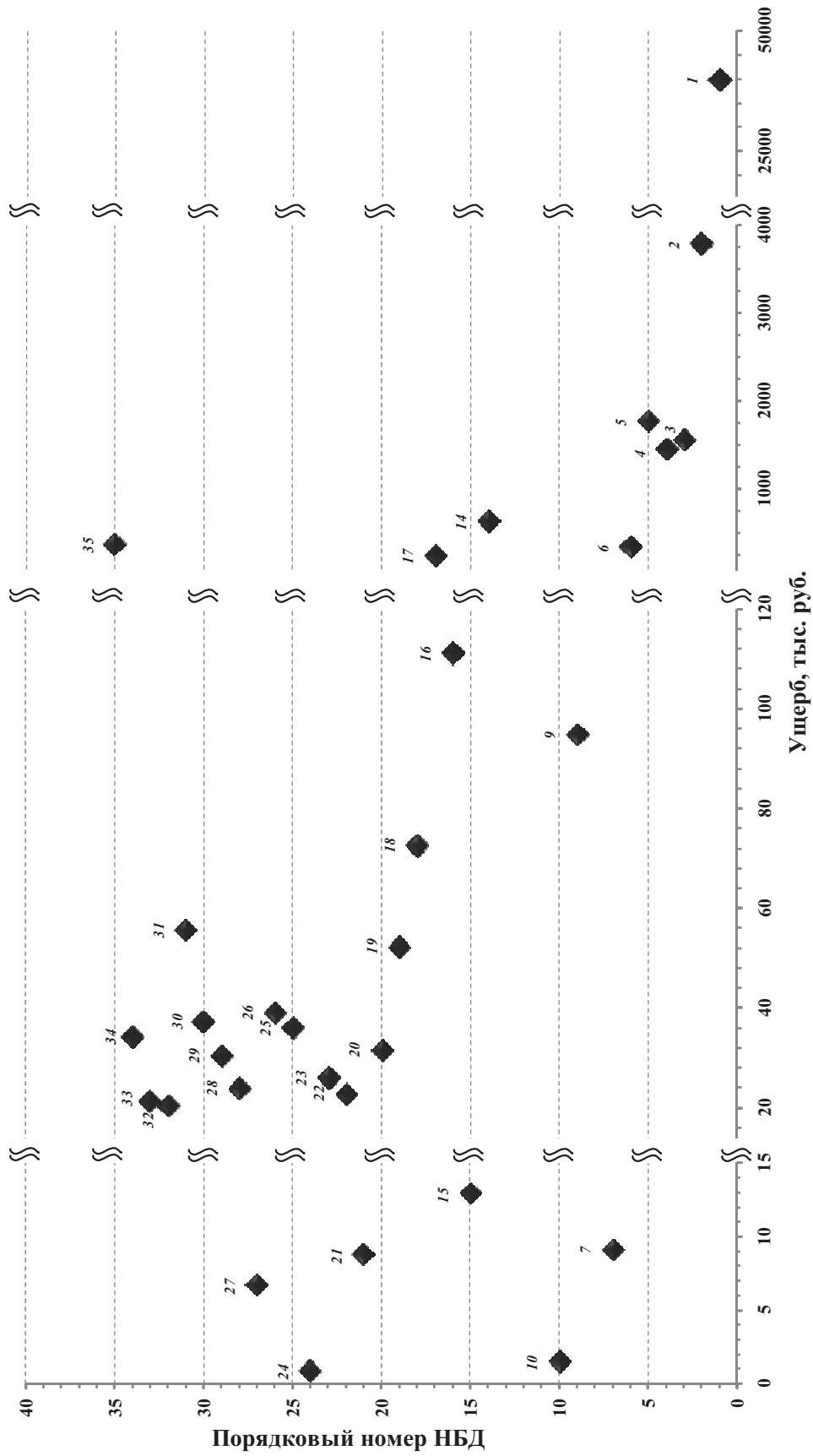


Рис. 1. Распределение видов транспортных происшествий и событий по материальному ущербу

ТАБЛИЦА 1. Данные ОАО «РЖД» за 2010–2012 гг. для определения финансовых границ между транспортными происшествиями и событиями

№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.	№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.
1	Крушения	39 628,43	25	Излом рельса под поездом	35,87
2	Аварии	3 777,56	34	Наезд поезда на посторонние предметы	34,14
5	Столкновение поездов (в том числе с пассажирским)	1 764,92	20	Отцепка вагона от пассажирского поезда в пути следования из-за технических неисправностей	31,58
3	Сход подвижного состава в пассажирском поезде	1 544,05	29	Отцепка вагона от поезда из-за нарушения технических условий погрузки	30,38
4	Сход подвижного состава в грузовом (или хозяйственном) поезде	1 441,85	23	Повреждение или отказ локомотива, вызвавшие вынужденную остановку пассажирского поезда на перегоне или промежуточной станции, если дальнейшее движение поезда продолжено с помощью вспомогательного локомотива	25,90
14	Затопление, пожар, связанные с несоблюдением условий безопасности движения, вызвавшие полный перерыв движения поездов хотя бы по одному из путей на перегоне на 1 и более час	6 21,75	28	Взрез стрелки	23,90
35	Несанкционированное движение подвижного состава на маршрут приема, отправления поезда или на перегон	3 62,50	22	Неисправность подвижного состава, результатом которой явилась отмена отправления поезда со станции отправления, или повлекшая высадку пассажиров из поезда на промежуточной станции	22,86
6	Проезд запрещающего сигнала светофора или предельного столбика	3 31,91	33	Неисправность пути, вызвавшая закрытие движения или ограничение скорости движения поездов до 15 км/ч	21,44

Окончание табл. 1

№ на графиче-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.	№ на графиче-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.
17	Столкновение подвижного состава при маневрах	232,62	32	Неисправность технических средств, в результате которых допущена задержка поезда сверх времени, установленного графиком движения, на 1 и более час	20,43
16	Сход подвижного состава при маневрах	110,88	15	Неограждение сигналами опасного места для движения поездов при производстве работ	12,84
9	Развал груза в пути следования	94,78	7	Прием поезда на занятый путь	9,05
18	Прием, отправление поезда по неготовому маршруту	72,54	21	Неисправность вагона пригородного поезда с отцепкой его в пути следования	8,71
31	Падение на путь деталей подвижного состава	55,53	27	Отцепка вагона от грузового поезда в пути следования из-за нагрева буксы или других технических неисправностей	6,62
19	Перевод стрелки (под поездом, маневровым составом)	52,32	10	Излом оси, осевой шейки или колеса	1,43
26	Саморасцеп автосцепок в поездах	38,96	24	Отправление поезда с перекрытыми концевыми кранами	0,84
30	Обрыв автосцепки подвижного состава	37,17		–	

Величина  $S(G_i)$  характеризует разброс данных внутри группы ( $G_i$ ), а  $T(G_i, G_k)$  – среднеквадратическое отклонение между данными в группах  $G_i$  и  $G_k$ . В знаменатель (1) включены только величины  $T(G_i, G_{i+1})$ , относящиеся к группам, смежным по величине элементов. Отметим, что  $S(G_i)$  отличается от несмещенной оценки дисперсии лишь коэффициентом 2:

$$S(G_i) = 2 \frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{j=1}^{n_i} (x_j - \bar{x})^2;$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j.$$

Определение оптимального по критерию (1) разбиения сводится к задаче минимизации:

$$\min_{z_1, z_2, \dots, z_{M-1}} K.$$

При минимизации критерия  $K$  в число варьируемых параметров включены только межгрупповые границы. Крайние границы  $z_0$  и  $z_M$  фиксируются при значениях  $z_0 < x_1$  и  $z_M < x_n$ . Границы, разделяющие группы, варьируются дискретно и выбираются из множества значений  $(x_i + x_{i+1})/2$ , т.е. между экспериментальными значениями.

## 2 Анализ вариантов построения системы классификации

В соответствии с предлагаемой методикой проанализируем влияние количества финансовых границ на оптимальный критерий разбиения для каждого исследуемого года. Число границ будет варьироваться от одной до пяти (табл. 2).

По результатам построим график влияния количества финансовых границ на значение оптимального разбиения (рис. 2).

ТАБЛИЦА 2. Значения критерия разбиения в зависимости от числа финансовых границ

Период, год	Значение $K$ при оптимальном разбиении				
	5 границ	4 границы	3 границы	2 границы	1 граница
2010	0,18	0,094	0,024	0,020	0,0092
2011	0,17	0,098	0,026	0,020	0,0084
2012	0,15	0,091	0,022	0,017	0,0070
2010–2012	0,11	0,075	0,013	0,011	0,0046

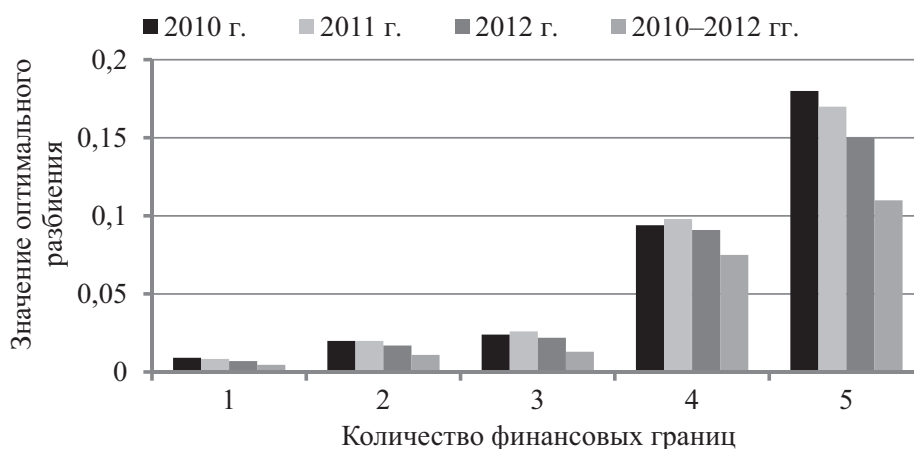


Рис. 2. График зависимости значения оптимального критерия разбиения от числа финансовых границ

Как видно из рис. 2, с увеличением числа финансовых границ между видами транспортных происшествий и событий также увеличивается критерий оптимального разбиения. В связи с этим градация всех случаев более чем на 3 группы нецелесообразна. Наилучшим вариантом является разделение всей выборки на 2 группы как по критерию разбиения (1), так и по сложившейся практике отнесения нарушений безопасности движения к происшествиям или событиям [2].

### 3 Анализ устойчивости финансовой границы в зависимости от количества границ

По результатам анализа определим значенные границы между видами нарушений безопасности движения для двух групп (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Значения финансовой границы при оптимальном критерии разбиения

Период наблюдения	Значение финансовой границы, тыс. руб.
2010 г.	4 796,45
2011 г.	952,50
2012 г.	1 582,40
2010–2012 гг.	2 771,24

Как видно из табл. 3, значение финансовой границы за исследуемый период варьируется в широком диапазоне. Для уменьшения этого разброса разобьем исследуемую выборку без учета максимального значения среднего ущерба, т. е. исключим «крушение». Результаты сведены в табл. 4.

В соответствии с принятым условием величина разброса сократилась. Теперь все возможные случаи нарушения безопасности движения можно разбить на две группы: события, если материальный ущерб составил менее 1 млн руб., и происшествия, если материальный ущерб превысил эту сумму.

ТАБЛИЦА 4. Значения финансовой границы при оптимальном критерии разбиения без учета максимального значения среднего ущерба

Период наблюдения	Значение финансовой границы, тыс. руб.
2010 г.	1134,56
2011 г.	732,23
2012 г.	832,98
2010–2012 гг.	1056,34

### Заключение

Таким образом, наилучший вариант классификации железнодорожных транспортных происшествий и событий по среднему материальному ущербу получается при разбиении всей выборки на два кластера.

Чтобы повысить устойчивость границы материального ущерба, при разбиении не должны учитываться происшествия и события с максимальным и минимальным значениями ущерба.

В действующем приказе Министерства транспорта РФ № 163 [2] все возможные нарушения безопасности движения подразделяются на два вида: происшествия и события. В связи с этим дальнейшее развитие системы классификации этих случаев в соответствии с предложенным в статье подходом базируется на установлении одной финансовой границы.

### Библиографический список

1. **Кластерный анализ** / Б. Дюран, П. Оделл ; под ред. и с предисл. А. Я. Боярского ; пер. с англ. Е. З. Демиденко. – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
2. **Приказ** Минтранса РФ от 25 дек. 2006 г. № 163 «Об утверждении Положения о порядке служебного расследования и учета транспортных происшествий и иных, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, событий».

3. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию на 31 декабря 2010 г. – URL : [http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=32](http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32).

4. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию

на 31 декабря 2011 г. – URL : [http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=32](http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32).

5. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию на 31 декабря 2012 г. – URL : [http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=32](http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32).

УДК 629.463.32

**И. Г. Киселев, В. В. Галов, С. Б. Комиссаров**

Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

## **ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОТЕЛ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЖИДКОГО ПЕКА**

Представлена информация о каменноугольном пеке, перевозимом железнодорожным транспортом. Описано устройство вагона-цистерны для перевозки жидкого пека. Рассмотрена проблема разрушения котла вагона-цистерны вследствие циклического разогрева груза электрическими подогревателями. Показана зависимость основных показателей прочности стали от температуры. Приведены возможные пути предотвращения снижения прочностных характеристик котла. Представлены постановка и решение краевой задачи теплопроводности в частных производных с учетом и без учета эквивалентного коэффициента теплопроводности.

жидкий пек, вагон-цистерна, электронагреватель, предел текучести.

### **Введение**

Условия эксплуатации вагонов-цистерн, оборудованных электрическими подогревателями, определяет специфику их повреждений, характер и особенности которых в настоящее время не отражены в нормативных документах.

Особенность конструкции таких вагонов-цистерн делает стоимость их ремонта достаточно высокой по сравнению с вагонами-цистернами универсальной конструкции (без системы разогрева).

Для минимизации мероприятий по поддержанию парка данного вида подвижного состава в рабочем состоянии требуется исследовать снижение тепловых нагрузок на котел цистерны, которые являются главной причиной выхода вагонов из строя.

### **1 Свойства перевозимого груза – каменноугольного пека**

Каменноугольный пек – твердый продукт переработки каменноугольной смолы (выход 50–60 мас.%), используется в качестве компо-