

УДК 519.2/6

ББК ЖЗ

**СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И МЕТОДЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ  
ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ  
И ПОЛОСЫ ОТВОДА<sup>1</sup>**

**Дорофеев А. А.<sup>2</sup>, Дорофеев Ю. А.<sup>3</sup>, Мандель А. С.<sup>4</sup>,  
Чернявский А. Л.<sup>5</sup>**

*(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)*

**Левин Д. Ю.<sup>6</sup>**

*(Московский государственный университет  
путей сообщения, Москва)*

*Сформулированы современные требования к безопасности перевозок на железнодорожном транспорте. Рассматривается задача прогнозирования состояния железнодорожных путей и полосы отвода. Для постановки и поиска решений задачи используется аппарат экспертно-классификационного и экспертно-статистического анализа. Алгоритм решения задачи прогнозирования состояния железнодорожных путей и полосы отвода опирается на метод структурного прогнозирования.*

Ключевые слова: требования к безопасности, состояние железнодорожных путей и полосы отвода, комплексирование информации, экспертно-классификационный анализ, экс-

---

<sup>1</sup> Работа поддержана РФФИ, грант № 11-07-13137-офи-м-2011-РЖД.

<sup>2</sup> Александр Александрович Дорофеев, д.т.н., профессор (adorof@ipu.ru).

<sup>3</sup> Юлия Александровна Дорофеев, к.т.н. (dorofeyuk\_yulia@mail.ru).

<sup>4</sup> Александр Соломонович Мандель, д.т.н., с.н.с. (manfoon@ipu.ru).

<sup>5</sup> Александр Леонидович Чернявский, к.т.н., с.н.с. (chern@ipu.ru).

<sup>6</sup> Дмитрий Юрьевич Левин, к.т.н., доцент (levindu@yandex.ru).

пертно-статистическая обработка данных, структурное прогнозирование.

## **1. Введение**

Обеспечение безопасности движения в условиях реформирования железнодорожного транспорта является одной из важнейших задач ОАО «РЖД». Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г. и корпоративная стратегия определяют ее решение в качестве безусловного приоритета. В утвержденной правительством России стратегии развития отрасли сказано: «Повышение уровня безопасности функционирования железнодорожного транспорта является важнейшим государственным приоритетом развития и модернизации отрасли, научных исследований и текущей эксплуатационной работы».

В Стратегии развития холдинга ОАО «РЖД» сформулирована конкретная цель: до 2015 г. снизить вероятность отказов на 27% по сравнению с 2009 г. И цель эта вполне реальна и достижима. Несмотря на то, что решать поставленные задачи приходится в условиях повышения интенсивности и уровня эксплуатационной работы, увеличения объемов скоростного и высокоскоростного движения, роста скоростей и весовых норм грузовых поездов с одновременным увеличением гарантийных плеч обращения локомотивов и вагонов.

Государство существенно повысило требования к обеспечению комплексной безопасности на транспорте и персональную ответственность руководителей транспортных предприятий [16].

В инфраструктурном комплексе существует ряд системных проблем, негативно влияющих на безопасность перевозок и эффективность работы компании. Это наличие в эксплуатации участков пути со сверхнормативным пропущенным тоннажем или сверхнормативным сроком эксплуатации, т.е. просроченным капитальным ремонтом. За 2010 г. протяженность таких участков увеличилась на 0,7 тыс. км на пути всех классов и превысила 20 тыс. км. Выполнение в 2011 г. ремонтов в объеме лишь 10,4 тыс. км привело к дальнейшему росту протяженности

таких участков, которая на начало 2012 г. составила 21,4 тыс. км.

Чтобы решить эту проблему, необходимо перейти к ремонту объектов инфраструктуры по фактическому состоянию на основе повышения эффективности систем их диагностики.

Другая проблема – низкое качество выполнения путевых работ в условиях ограниченности ресурсов и сложности предоставления фронтов работ. Для решения этой проблемы необходимо внедрять новые технологии капитального ремонта пути и применять современные машины и механизмы.

Еще одна проблема – низкое качество текущего содержания и ремонта технических средств инфраструктурных хозяйств.

## **2. Система менеджмента безопасности ОАО «РЖД»**

В марте 2007 г. Правление ОАО «РЖД» приняло «Функциональную стратегию обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса». В 2008 г. введена в действие Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) [13, 17]. Она позволила в автоматизированном режиме на основании данных графика исполненного движения собирать информацию об отказах технических средств, задействованных в перевозочном процессе.

ОАО «РЖД» поставлена задача последовательного перехода к оценке текущей деятельности и управлению безопасностью движения на основе показателей риска. Это обусловлено, в частности, требованиями системы обеспечения безопасности *RAMS* и европейского стандарта *EN 50126*, а также рядом российских стандартов.

На уровень отказов влияет развитие систем диагностирования, которые позволяют своевременно, а часто и заблаговременно обнаруживать дефекты и неисправности технических устройств. Достигается это с помощью контроля, прогнозирования и генезиса.

Велики еще риски, связанные с эксплуатацией рельсового хозяйства.

Для дальнейшего повышения безопасности перевозочного процесса необходимо решение следующих приоритетных задач:

- прогнозирование уровня опасности возникновения транспортных происшествий;
- совершенствование системы управления безопасностью движения в новой организационной структуре управления железными дорогами;
- развитие процессного подхода в управлении безопасностью движения в филиалах и их структурных подразделениях;
- реализация системы менеджмента рисков в организации обеспечения безопасности движения;
- повышение эффективности системы требований к качеству поставляемой продукции, совершенствование законодательной и нормативной базы.

### **3. Диагностика состояния железнодорожной инфраструктуры**

До недавнего времени для диагностики устройств инфраструктуры в основном использовали узкоспециализированные средства. Это было оправдано тем, что каждая служба для содержания своего хозяйства в исправном состоянии имела свои диагностические средства. Из-за рассогласованности действий различных служб часто возникали проблемы.

В настоящее время разработаны новые комплексные системы диагностики и мониторинга объектов инфраструктуры, используются высокоточные системы моделирования элементов инфраструктуры.

### **4. Проблема прогнозирования состояния железнодорожных путей и полосы отвода**

Выше сформулированы современные требования к безопасности перевозов на железнодорожном транспорте. Отмечено, что данные, необходимые для адекватного решения задачи прогнозирования состояния железнодорожного полотна и полосы отвода, рассредоточены по многочисленным, принадлежащим различным собственникам базам данных. Ниже мы рассмотрим

постановку и возможное решение задачи прогнозирования состояния железнодорожного полотна и полосы отвода, считая, что в перспективе проблема комплексирования и интеграции всей имеющейся информации будет решена.

В качестве математической основы для решения задачи прогнозирования выбран аппарат экспертно-классификационного и экспертно-статистического анализа, включая использование методов классификационного анализа данных [6], включая методы автоматической классификации [9] и экстремальной группировки параметров [4], а также методы многовариантной экспертизы [11] и экспертно-статистической обработки информации [14]. Собственно решение задачи прогнозирования состояния железнодорожного полотна и полосы отвода будет опираться на метод структурного прогнозирования [7, 10].

## **5. Система железнодорожных путей РФ как совокупность объектов прогнозирования**

С целью решения задачи прогнозирования состояния железнодорожного полотна и полосы отвода вся совокупность железнодорожных путей РФ разбивается на совокупность отдельных участков. Каждый из таких участков оценивается по отношению к риску (вероятности) возникновения на нем отказов различного типа посредством отнесения его к группе (классу)  $K_{i_m}^m$ , где  $m$  – номер типа отказа,  $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ , а  $i_m$  – номер класса по отказам  $m$ -го типа,  $i_m = 1, 2, \dots, I_m$ . Число классов  $I_m$  по каждому типу отказов  $m \in \{1, 2, \dots, M\}$  выбирается в соответствии с отраслевыми стандартами и по согласованию с экспертами на основе использования процедур многовариантной экспертизы [11].

Первичная информация о состоянии выделенных участков должна удовлетворять требованиям к надежности и периодичности. Эта информация достаточно полно отражает реальное состояние каждого линейного участка.

Несмотря на полноту и достаточную надёжность первичной информации, её нельзя непосредственно использовать для оценки эффективности и поддержке принятия управленческих реше-

ний – даже в том случае, если будет обеспечена её концентрация, усреднение и накапливание в одном месте. Причина в её большом объеме. Для того чтобы первичную информацию, представленную в виде таблиц большого размера, можно было использовать для целей управления, необходимо разработать методику структуризации такой информации, её сжатия и представления в виде, удобном для лиц, принимающих решения (ЛПР).

В разработанной концепции указанную структуризацию предлагается осуществить по двум направлениям – структуризация первичных показателей и структуризация (классификация) оцениваемых объектов (т.е. участков ж/д путей).

Структуризация первичных показателей необходима для того, чтобы на базе этих показателей сформировать небольшое количество (от 5 до 10) достаточно информативных «интегральных» показателей. Такие интегральные показатели можно будет использовать в качестве критериев оценки состояния каждого участка. Как показывает практика, сформировать такие критерии чисто экспертным путём не удаётся [9, 11]. Мнения экспертов по поводу того, какие показатели являются более, а какие менее информативными, какие им следует приписать веса и т.п. часто расходятся. Здесь более надёжные результаты дают специальные математические методы типа экстремальной группировки параметров или факторного анализа [2, 4, 14].

Поскольку на всей железнодорожной сети РФ будет выделено по меньшей мере несколько сотен участков, то даже при небольшом числе агрегированных показателей (критериев оценки) по каждому типу отказа информация остается трудно обозримой. Поэтому для формирования итоговых оценок необходима структуризация множества участков, т.е. разбиение этого множества на классы однотипных (с точки зрения сформированных критериев) участков. Тогда каждый линейный участок можно будет охарактеризовать по каждому типу отказов не только количественно, но и качественно. При числе критериев, большем двух, такую структуризацию невозможно выполнить вручную. В разработанной концепции для этой цели предлагается использовать специальные методы многомерной автоматической классификации [2, 9, 11].

На состояние рельсовых путей и полосы отвода влияет множество не поддающихся формализации факторов, не все из которых можно учесть набором первичных показателей. Поэтому процедура формирования оценок должна быть человеко-машинной, т.е. допускать корректировку с учетом мнений экспертов. Для такой корректировки в разработанной концепции предусмотрено использовать экспертно-классификационные [8, 11, 12] и экспертно-статистические [3, 14, 15] процедуры анализа данных.

## **6. Экспертно-классификационные методы структуризации первичных показателей и линейных участков**

### **6.1. СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Для решения проблемы структуризации первичных показателей используются методы экстремальной группировки параметров [2, 4, 9]. Используемый при этом аппарат экспертно-классификационного анализа является более мощным инструментом исследования причинно-следственных связей, чем классический факторный анализ. В качестве пионерского исследования по применению методов факторного анализа к изучению причинно-следственных связей в проблеме обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте можно назвать работу [5].

Выделяемые агрегированные показатели обладают тем свойством, что они содержат в себе всю существенную информацию о характере происходящих в системе процессов.

В такой постановке первичные показатели становятся случайными величинами.

В дальнейшем коэффициент корреляции (или ковариации)  $\rho_{x,y}$  двух случайных величин  $x$  и  $y$  (первичных показателей) будем обозначать так:  $\rho_{x,y} = (x, y)$ . Множество первичных показателей (случайных величин)  $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(k)}$  разбито на непересекающиеся группы  $A_1, A_2, \dots, A_s$  и заданы случайные величины  $f_1, f_2, \dots, f_s$  такие, что  $f_j^2 = 1, j = 1, 2, \dots, s$ , которые будем называть факторами. Введем в рассмотрение функционал

$$(1) \quad J^* = \sum_{x_i \in A_1} (x^{(i)}, f_1)^2 + \sum_{x_i \in A_2} (x^{(i)}, f_2)^2 + \dots + \sum_{x_i \in A_s} (x^{(i)}, f_s)^2.$$

Тогда задача экстремальной группировки показателей ставится как задача максимизации функционала (1) как по разбиению показателей на множества  $A_1, A_2, \dots, A_s$ , так и по выбору случайных величин  $f_1, f_2, \dots, f_s$ ,  $f_j^2 = 1, j = 1, 2, \dots, s$ .

## 6.2. СТРУКТУРИЗАЦИЯ ОЦЕНИВАЕМЫХ УЧАСТКОВ

Для решения проблемы структуризации (классификации) участков железнодорожных путей по набору выделенных на предыдущем этапе информативных показателей (факторов) функционирования системы управления ОАО «РЖД» в работе использовались методы автоматической классификации.

Формальная постановка задачи автоматической классификации основана на введении в рассмотрение критерия качества классификации, зависящего от конкретного разбиения пространства  $X$  на области, и экстремум которого соответствует интуитивному представлению о разбиении пространства  $X$  на «компактные» области. В работе для этой цели использовался функционал средней по классам близости точек в классах [4, 9]:

$$(2) \quad J_1 = \sum_{i=1}^r \frac{n_i}{n} \cdot K(A_i, A_i).$$

Здесь через  $K(A_i, A_i)$  обозначена средняя близость точек в классе  $A_i$ :

$$(3) \quad K(A_i, A_i) = \frac{2}{n_i(n_i - 1)} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j>i} K(x_i, x_j),$$

где  $K(x_i, x_j)$  – потенциальная функция, определяющая меру близости точек  $x_i$  и  $x_j$ ;  $n_i$  – число точек в классе  $A_i$ . В работе при практических расчётах потенциальная функция  $K(x_i, x_j)$  использовалась в следующем виде [9]:

$$(4) \quad K(x_i, x_j) = 1 / \{1 + \alpha R^p(x_i, x_j)\}.$$

В (4) через  $R(x_i, x_j)$  обозначено евклидово расстояние между точками  $x_i$  и  $x_j$  в пространстве параметров  $X$ ;  $\alpha$  и  $p$  – настраиваемые параметры алгоритма.

Требуется разбить пространство  $X$  на  $r$  областей (а при одномерной классификации ось значений показателя на  $r$  интерва-



лов) таким образом, чтобы доставить максимум функционалу (2). Для решения так поставленной задачи структуризации линейных участков железнодорожных путей используется комплексный алгоритм автоматической классификации [9].

## **7. Структурно-классификационное прогнозирование**

### *7.1. ДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ УЧАСТКОВ*

Вначале (в момент  $t_1$ ) с помощью комплексного алгоритма автоматической классификации [9] производится структуризация  $n$  точек в пространстве  $X$  на  $r$  классов, каждый из которых и характеризует определённый тип линейного участка. Вводится понятие модели (эталона) класса  $a_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ , (чаще всего это центр класса) [2]. Для каждого линейного участка кроме принадлежности к классу вычисляются расстояния до эталонов всех классов  $R_{ij}(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

В момент времени  $t_2$  каждая точка  $x_j(t_2)$  с помощью одного из алгоритмов распознавания образов с учителем относится к тому или иному классу в рамках классификации, полученной на первом шаге. В работе для этого используется алгоритм метода потенциальных функций, который в спрямляющем пространстве эквивалентен алгоритму ближайшего среднего [1].

После того как определена принадлежность всех точек к тому или иному классу, производится пересчёт эталонов  $a_j(t_2)$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Для каждой точки с предыдущего шага пересчитываются расстояния до новых эталонов  $R(x_j(t_2), a_i(t_2))$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , а для каждой новой точки эти расстояния вычисляются. Такая процедура выполняется для всех  $m$  моментов времени. В итоге для каждого линейного участка железнодорожных путей формируется последовательность (траектория) из  $m$  позиций. В каждой позиции находится  $r + 1$  число, первое из которых – это номер класса, к которому относился этот участок в соответствующий момент времени, а последующие числа – это значения расстояний до центров классов в тот же момент времени. Требуется спрогнозировать номер класса, к которому будет относиться каждый участок железнодорожных путей в момент времени  $t_{m+1}$ .

## 7.2. АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В качестве прогнозной модели для каждого участка используется марковская цепь с  $r$  состояниями, т.е. на каждом шаге рассчитываются элементы матрицы переходных вероятностей  $P = ||p_{ji}||$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ . Разработан специальный алгоритм пересчёта на каждом шаге соответствующих переходных вероятностей  $p_{ji}$  с использованием информации о значениях расстояний до центров классов и условия нормировки  $\sum_{i=1}^r p_{ji} = 1$

для всех  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Алгоритм работает следующим образом. Пусть после первого шага для точек  $x_j(t_1)$  подсчитаны расстояния до эталонов  $R_{ji}^{(1)} = R(x_j(t_1), a_i(t_1))$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Тогда элементы матрицы переходных вероятностей  $p_{ji}^{(1)} = p_{ji}(t_1)$  рассчитываются следующим образом:

$$(5) \quad p_{ji}^{(1)} = \frac{\alpha_j^{(1)}}{R_{ji}^{(1)}},$$

где нормирующий множитель  $\alpha_j^{(1)}$  определяется выражением

$$(6) \quad \alpha_j^{(1)} = \frac{1}{\sum_{l=1}^r \frac{1}{R_{jl}^{(1)}}}.$$

На  $s$ -м шаге элементы матрицы переходных вероятностей (5) модифицируются при помощи следующей процедуры. Введем обозначения:

$$\Delta R_{ji}^{(s)} = R_{ji}^{(s-1)} - R_{ji}^{(s)}; \quad \Delta \hat{R}_{ji}^{(s)} = \frac{R_{ji}^{(s-1)} - R_{ji}^{(s)}}{R_{ji}^{(s-1)} + R_{ji}^{(s)}}.$$

Если  $j$ -я точка совпадает с эталоном  $i_0$ -го класса ( $x_j(t_s) = a_{i_0}(t_s)$ ), т.е.  $R_{ji_0}^{(s)} = 0$ , то  $p_{ji}^{(s)} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = i_0, \\ 0, & i = 1, 2, \dots, r, i \neq i_0. \end{cases}$

Другими словами, если точка совпадает с эталоном некоторого класса, то вероятность для этой точки остаться в этом классе равна 1, а вероятность перехода в другой класс равна 0.

Для случая, когда  $R_{j_0}^{(s)} \neq 0$ , происходит модификация всех переходных вероятностей по следующей схеме:

$$(7) \quad p_{ji}^{(s)} = \gamma \left[ p_{ji}^{(s-1)} + \left( \frac{1 + \text{sign}(\Delta R_{ji}^{(s)})}{2} - p_{ji}^{(s-1)} \text{sign}(\Delta R_{ji}^{(s)}) \right) \Delta \hat{R}_{ji}^{(s)} \right],$$

где, как обычно:  $\text{sign}(z) = \begin{cases} 1, & \text{если } z \geq 0, \\ -1, & \text{если } z < 0; \end{cases}$  а  $\gamma$  – нормирующий

множитель, определяемый из условия нормировки переходных вероятностей  $\sum_{i=1}^r p_{ji}^s = 1$  по формуле:

$$(8) \quad \gamma = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^r \left( \frac{1 + \text{sign}(\Delta R_{ji}^{(s)})}{2} - p_{ji}^{(s-1)} \cdot \text{sign}(\Delta R_{ji}^{(s)}) \right) \cdot \Delta \hat{R}_{ji}^{(s)}}.$$

Введение в формулу (7) величины  $\text{sign}(\Delta R_{ji}^{(s)})$  вызвано необходимостью производить модификацию переходных вероятностей для случаев увеличения и уменьшения расстояния от точки  $x_j(t_s)$  до эталонов классов  $a_i(t_s)$  на  $s$ -м шаге различными способами. А именно, в случае уменьшения величины  $R_{ji}^{(s)}$  по отношению к  $R_{ji}^{(s-1)}$  (т.е.  $\Delta R_{ji}^{(s)} < 0$ ) изменение соответствующей переходной вероятности происходит за счёт её увеличения на некоторую долю от  $(1 - p_{ji}^{(s-1)})$ ; а в случае увеличения величины  $R_{ji}^{(s)}$  по отношению к  $R_{ji}^{(s-1)}$  (т.е.  $\Delta R_{ji}^{(s)} > 0$ ) изменение соответствующей переходной вероятности происходит за счёт её уменьшения на некоторую долю от  $p_{ji}^{(s-1)}$ . Это необходимо для выполнения условий нормировки для переходных вероятностей  $0 < p_{ji}^{(s)} < 1, i = 1, \dots, r$ .

Построенная при помощи описанного выше алгоритма матрица переходных вероятностей  $P$  используется для прогнозирования принадлежности участка тому или иному классу. На практике обычно используется не рандомизированная, а байесовская схема, когда участок относится к тому классу  $i_0$ , для которого  $p_{j i_0} = \max_{i=1, \dots, r} p_{ji}$ . В случае равенства переходных вероятностей  $p_{ji}$  для прогнозируемого участка железнодорожных путей для двух

или нескольких классов, он относится к классу с наименьшим номером.

## **8. Заключение**

Разработанная методология использовалась при анализе и совершенствовании процедур принятия решений для нескольких больших систем управления, в основном регионального характера, в том числе – региональная система управления здравоохранением, пассажирскими автоперевозками, система анализа, управления и прогнозирования социально-экономического развития субъектов РФ и др.

### **Литература**

1. АЙЗЕРМАН М.А., БРАВЕРМАН Э.М., РОЗОНОЭР Л.И. *Метод потенциальных функций в теории обучения машин*. – М.: Наука, 1970. – 384 с.
2. БАУМАН Е.В., ДОРОФЕЮК А.А. *Классификационный анализ данных* // Тр. междунар. конф. по проблемам управления. – Том 1. – М.: СИНТЕГ, 1999. – С. 62–67.
3. БЕЛЯКОВ А.Г., МАНДЕЛЬ А.С. *Прогнозирование временных рядов на основе метода аналогов*. – М.: Институт проблем управления, 2002. – 60 с.
4. БРАВЕРМАН Э.М., МУЧНИК И.Б. *Структурные методы обработки эмпирических данных*. – М.: Наука, 1983. – 464 с.
5. ВАКУЛЕНКО С.П., ЗАМЫШЛЯЕВ А.М. *Факторы влияния и виды нарушений безопасности движения* // Мир транспорта. – 2010. – № 1. – С. 126–131.
6. ВЕРИГО М.Ф., КОГАН А.Л. *Взаимодействие путей и подвижного состава*. – М.: Транспорт, 1987. – 559 с.
7. ДОРОФЕЮК А.А., ДОРОФЕЮК Ю.А. *Методы структурно-классификационного прогнозирования многомерных динамических объектов* // Искусственный интеллект. – 2006. – №2 – С. 138–141.
8. ДОРОФЕЮК А.А., ПОКРОВСКАЯ И.В., ЧЕРНЯВСКИЙ А.Л. *Экспертные методы анализа и совершенствования систем*

- управления // Автоматика и телемеханика. – 2004. – №10. – С. 172–188.*
9. ДОРОФЕЮК Ю.А. *Комплексный алгоритм автоматической классификации и его использование в задачах анализа и принятия решений // Таврический вестник информатики и математики. – 2008. – №1. – С. 171–177.*
  10. ДОРОФЕЮК Ю.А. *Структурно-классификационные методы анализа и прогнозирования в крупномасштабных системах управления // Проблемы управления. – 2008. – №4. – С. 78–83.*
  11. ДОРОФЕЮК Ю.А., ГОЛЬДОВСКАЯ М.Д., ПОКРОВСКАЯ И.В. *Экспертно-классификационный анализ данных в задаче оценки эффективности функционирования крупномасштабных систем управления // Таврический вестник информатики и математики. – 2008. – №2. – С. 159–165.*
  12. ДОРОФЕЮК Ю.А., ДОРОФЕЮК А.А., ЧЕРНЯВСКИЙ А.Л. *Построение хорошо интерпретируемых классификаций – методология и алгоритмы // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2008): Тр. II междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 164–170.*
  13. ЗАМЫШЛЯЕВ А.М., ПРОШИН Г.Б., ГОРЕЛИК А.А. *Система КАСАНТ: второй этап внедрения // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – №7. – С. 9–13.*
  14. МАНДЕЛЬ А.С. *Экспертно-статистические методы обработки информации в интегрированных системах управления производством и технологическими процессами // Проблемы управления. – 2006. – №6. – С. 55–59.*
  15. МАНДЕЛЬ А.С., ДОРОФЕЮК А.А., ЧЕРНЯВСКИЙ А.Л., ЛИФШИЦ Д.В. *Классификационные алгоритмы оценки эффективности и поддержки принятия решений в задачах управления ЖКХ мегаполиса Москва // Таврический вестник информатики и математики. – 2008. – №2. – С. 42–48.*
  16. ЯКУНИН В.И., СУЛАКШИН С.С., ПОРФИРЬЕВ Б.Н. и др. *Проблема формирования государственной политики транспортной безопасности. – М.: Наука, 2005 – 282 с.*
  17. РОЗЕНБЕРГ И.Н., ЗАМЫШЛЯЕВ А.М., ПРОШИН Г.Б. *Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных ин-*

формационных технологий // Надежность. – 2009. – №4. – С. 14–22.

## **UP TO DATE RAIL TRANSPORT SAFETY REQUIREMENTS AND INTELLECTUAL ANALYSIS TECHNIQUE TO DESIGN EXPERT-ANALYTICAL MODEL FOR CONDITION OF RAILWAY AND RIGHT-OF-WAY FORECASTING**

**Alexander Dorofeyuk**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, Head of the Laboratory (adorof@ipu.ru).

**Julia Dorofeyuk**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., Researcher (dorofeyuk\_yulia@mail.ru).

**Alexander Mandel**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, Head of the Laboratory (manfoon@ipu.ru).

**Alexander Chernyavsky**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand. of Science, Senior Researcher (chern@ipu.ru).

**Dmitry Levin**, Railway Transport State University, Cand. of Science, assistant professor (levindu@yandex.ru)

*Abstract: We elicit contemporary transport safety requirements from the official strategy of “Russian Railways” Corporation and state the problem of forecasting railway and right-of-way condition. We employ expert-classification and expert-statistical analysis technique (including data classification analysis methods) to set and solve the problem. Algorithm of railway and right-of-way condition forecast relies on structural predicting method.*

Keywords: safety requirements, railway and right-of-way condition, data integration, expert-classification analysis, expert-statistical data processing, structural predicting.