УДК 656.13.05

Корчагин Виктор Алексеевич,
заслуженный деятель науки РФ, д. т. н., профессор, Липецкий государственный технический университет, тел./факс. 8(4742)328-207, e-mail: kafedrauat@mail.ru
Клявин Владимир Эрнстович,
к. т. н., доцент, Липецкий государственный технический университет, тел. 8(910)742-98-12, e-mail: vllk@list.ru
Суворов Владимир Александрович,
к. т. н., доцент, Липецкий государственный технический университет, тел. 8(4742)572-743, e-mail: suvorovva1949@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

V. A. Korchagin, V. E. Klyavin, V. A. Suvorov

CLASSIFICATION OF URBAN STREES AND ROADS BASED ON ROAD SAFETY CHARACTERISTICS

Аннотация. *Снижение смертности, травматизма и аварийности на автомобильных дорогах России является приоритетной задачей, что обуславливает необходимость усиления системы управления безопасностью дорожного движения. Липецким государственным техническим университетом предложено использование экспертной системы «Безопасность дорожного движения». Для её функционирования требуется создание методов объективной оценки и выработки управляющих воздействий, имеющих наибольшую эффективность. Разработанные научные подходы к определению однородных групп участков автомобильных дорог дают возможность использовать для выделенных групп типовые мероприятия. В качестве переменных приняты три группы показателей, таких как уровень аварийности, характеристика поведения участников движения, основанная на нарушениях правил дорожного движения, предшествующих возникновению дорожно-транспортного происшествия, и уровень сложности, определяемый числом пересечений всех видов и местами притяжения. В результате кластерного анализа, проведённого на примере улично-дорожной сети Липецка, выделены три группы улиц. Функции классификации, полученные с помощью дискриминантного анализа, позволяют отнести новую улицу или улицу с изменившимися характеристиками к одной из выделенных групп. Разбиение объектов на однородные группы даёт возможность определить очерёдность проведения мероприятий по повышению БДД, а также разрабатывать и применять типовые решения по каждой группе объектов. Полученные классификационные функции позволяют осуществлять мониторинг изменения характеристик объектов и оперативно определять, к какой группе отнести вновь определившиеся объекты.*

Ключевые слова: *безопасность дорожного движения, улично-дорожная сеть, кластерный анализ, детерминантный анализ, экспертная система.*

Abstract. *Reducing mortality, injuries and accidents on the roads of Russia is a priority, which makes it necessary to strengthen the road safety management system. Lipetsk State Technical University proposed the use of the expert system «Road Safety». For its functioning, it is required to create methods of objective evaluation and development of control actions that have the greatest efficiency. The developed scientific approaches to the definition of homogeneous groups of road sections make it possible to use standard measures for the selected groups. As variables, three groups of indicators have been adopted, such as the level of accidents, the behavior of the participants in the traffic, based on violations of traffic rules that preceded the occurrence of the road accident, and the level of complexity determined by the number of intersections of all types and places of attraction. As a result of the cluster analysis, conducted on the example of the Lipetsk street-road network, three groups of streets are identified. Classification functions obtained with the help of discriminant analysis allow us to assign a new street or street with the changed characteristics to one of the selected groups. The breakdown of objects into homogeneous groups makes it possible to determine the sequence of actions to improve road safety, and to develop and apply standard solutions for each group of facilities. The obtained classificational functions allow, to monitor the change in the characteristics of objects and promptly determine to which group the newly identified objects should be assigned.*

Keywords: *road safety, street-road network, cluster analysis, deterministic analysis, expert system.*

Введение

Формирование перечня мероприятий владельцев автомобильных дорог по повышению безопасности дорожного движения (БДД) с целью выбора объектов для реализации мероприятий с наибольшей эффективностью возможно только при проведении анализа и постоянного мониторинга. Такими объектами могут быть участки автомобильных дорог различной протяженности, муниципальные образования, районы муниципальных образований, улицы, пересечения транспортных потоков и т. п. Наибольшая концентрация аварийности характерна для муниципальных образований с развитой улично-дорожной сетью и интенсивным движением. В настоящей статье приводятся теоретико-практические подходы к разбиению объектов на однородные группы на примере улично-дорожной сети г. Липецка.

Постановка задачи

Важнейшей задачей Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» [1] является повышение эффективности управления в области обеспечения безопасности дорожного движения на федеральном, региональном и местном уровнях, которое, по мнению В. Н. Буркова, В. Д. Кондратьева и А. В. Щепкина [2], находится в процессе формирования и характеризуется разобщенностью и недоста-

точной координацией действий органов власти, что порождает противоречия и несогласованность. Отсюда следует вывод о необходимости значительного усиления роли управления в сфере БДД.

Одним из наиболее актуальных направлений повышения эффективности управления БДД представляется использование такой формы искусственного интеллекта, как экспертная система «Безопасность дорожного движения» (ЭСБДД) [3, 4]. Достоинствами интеллектуальной экспертной системы являются возможность решать неформализованные задачи, динамичность, масштабируемость [5–8]. Работоспособность такой системы должна обеспечиваться данными, не требующими сложных и затратных исследований. В ином случае нельзя обеспечить мониторинг ситуации и эффективно использовать превентивные меры по повышению БДД.

Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью современного общества, а следовательно, элементом социоприродоэкономической системы (СПЭС) [9–12], поэтому управление БДД должно быть направлено на составляющие «Водитель», «Дорога», «Среда» подсистемы СПЭС «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» (ВАДС).

В качестве объекта улично-дорожной сети принята улица при условии, что на протяжении всей улицы число полос и число направлений движения не изменяется. В противном случае улицу необходимо разбить на участки с одинаковыми параметрами, указанными выше.

Выбор характеристик объектов (улиц) должен следовать принципу: данные должны быть получены с минимальными затратами. Универсальной характеристикой объекта будем считать количество пострадавших. Наиболее полно поведение участников дорожного движения (составляющая «Водитель») определяется видом нарушения Правил дорожного движения (ПДД), предшествующим возникновению дорожно-транспортного происшествия (ДТП) [13]. Сгруппируем виды нарушений ПДД: группа 1 – ошибки маневрирования, группа 2 – нарушение предписаний, группа 3 – другие виды нарушений, группа 4 – несоответствие скорости транспортного средства условиям движения, группа 5 – нарушения, приведшие к травмам или гибели пешеходов. Перечисленные данные имеются в информационной базе Государственной инспекции по безопасности дорожного движения РФ. Конфликтную загрузку улицы (составляющая «Дорога») в первом приближении можно оценить количеством пересечений всех видов. Примем также в качестве характеристики улицы (составляющая «Среда») количество мест притяжения (торговые и развлекательные центры и т. п.), оказывающих влияние на поведение участников движения.

Для разбиения объектов на однородные группы используется кластерный и дискриминантный анализ.

Кластерный анализ

Основное назначение кластерного анализа – разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные группы или кластеры. Достоинство кластерного анализа заключается в том, что он дает возможность проводить разбиение объектов не по одному признаку, а по их ряду.

Кластерный анализ позволяет на основании данных, содержащихся на множестве $\boldsymbol{X}$, разбить множество объектов $\boldsymbol{M}$ на $\boldsymbol{m}$ ($\boldsymbol{m}$ – целое) кластеров $\boldsymbol{M_1}$, $\boldsymbol{M_2}$, …, $\boldsymbol{M_m}$ так, чтобы каждый объект $\boldsymbol{M_j}$ принадлежал одному и только одному подмножеству разбиения. Объекты, принадлежащие одному и тому же кластеру, должны быть сходными, а объекты, принадлежащие разным кластерам, – разнородными.

Решением задачи кластеризации являются разбиения, удовлетворяющие критерию оптимальности – внутригрупповой сумме квадратов отклонений [7]

$$F = \sum_j (X_j - \overline{X})^2 = \sum_j X_j^2 - \frac{1}{n}(\sum_j X_j)^2,$$

где $\boldsymbol{X_j}$ – вектор измерений $\boldsymbol{j}$-го объекта, $\boldsymbol{j}$ = 1, 2, …, $\boldsymbol{n}$; $\overline{X}$ – средний вектор измерений.

Сходство между объектами $\boldsymbol{M_j}$ и $\boldsymbol{M_i}$ определяется как расстояние между векторами измерений $\boldsymbol{X_j}$ и $\boldsymbol{X_i}$. Чем меньше расстояние между объектами, тем они более схожи. Расстояние $\boldsymbol{d(X_j,X_i)}$ является метрикой пространства измерений.

Кластерный анализ проведён для 64 улиц г. Липецка по 8 признакам: число пострадавших в ДТП – «постр.», число нарушений ПДД вида 1 (ошибки маневрирования) – «гр. 1», число нарушений ПДД вида 2 (нарушение предписаний ПДД) – «гр. 2», число нарушений ПДД вида 3 (другие виды нарушений ПДД) – «гр. 3», число нарушений ПДД вида 4 (несоответствие скорости условиям движения) – «гр. 4», число нарушений вида 5 (нарушения ПДД пешеходами) – «гр. 5», количество пересечений различных видов (переходы, перекрестки, местные выезды) – «П», места притяжения (магазины, кинотеатры, места досуга и отдыха и т. п.) – «МП».

Предварительный анализ позволил выдвинуть гипотезу, что все улицы, возможно, разделяются на $\boldsymbol{m}$ = 3 кластера. Используем метод $\boldsymbol{k}$-средних, который реализован в пакете *STATISTICA* в виде модуля *«Кластерный анализ»*. Перед началом кластеризации проведем стандартизацию данных (вычитается среднее и производится деление на корень квадратный из дисперсии). Полу-

ченные в результате стандартизации переменные имеют нулевое среднее и единичную дисперсию.

В методе ***k***-средних объект относится к тому классу, расстояние до которого минимально. Расстояние понимается как евклидово расстояние, т. е. объекты рассматриваются как точки евклидова пространства. Евклидово расстояние определяется по формуле [7]

$$d(X_j, X_i) = \sqrt{\sum_k (x_{jk} - x_{ik})^2}.$$

Рассмотрим результаты кластерного анализа методом ***k***-средних. На рис. 1 приведен график средних значений для каждого кластера.

Как видим, кластеры плохо разделяются по переменной «Нарушения ПДД вида 2» – гр. 2 (расстояния между средними значениями кластеров малы). Поэтому эту переменную исключим и вновь проведём стандартизацию переменных. Результаты повторного кластерного анализа приведены на рис. 2. После исключения переменной объекты четко разделяются на три кластера.

В табл. 1 приведены средние значения переменных для каждого кластера (усреднение производится внутри каждого кластера).

Рассмотрим значения межгрупповых и внутригрупповых дисперсий признаков (табл. 2). Чем меньше значение внутригрупповой дисперсии и больше значение межгрупповой дисперсии, тем лучше признак характеризует принадлежность объектов к кластеру и тем «качественнее» кластеризация [7]. Параметры ***F*** и ***p*** характеризуют вклад признака в разделение объектов на группы. Лучшей кластеризации соответствуют большие значения ***F*** и меньшие значения ***p***. Признаки с большими значениями ***p*** > 0,05 можно исключить из кластерного анализа. Таких признаков в табл. 2 нет, следовательно, в анализе должны участвовать все переменные.

В кластер 1 вошли 6 объектов: ул. Гагарина, ул. Катукова, ул. Космонавтов, ул. Московская 2, проспект Победы, ул. Студеновская.

В кластер 2 вошли 18 объектов: ул. 50 лет НЛМК, ул. 60 лет СССР, ул. 9 мая, ул. Водопьянова, ул. 3. Космодемьянской, ул. Заводская, ул. Зегеля, ул. Краснозаводская 1, ул. Ленина, ул. Механизаторов, пр. Мира, ул. Московская 1, ул. Неделина, ул. Папина, пл. Победы, ул. Советская, ул. Терешковой, ул. Циолковского.

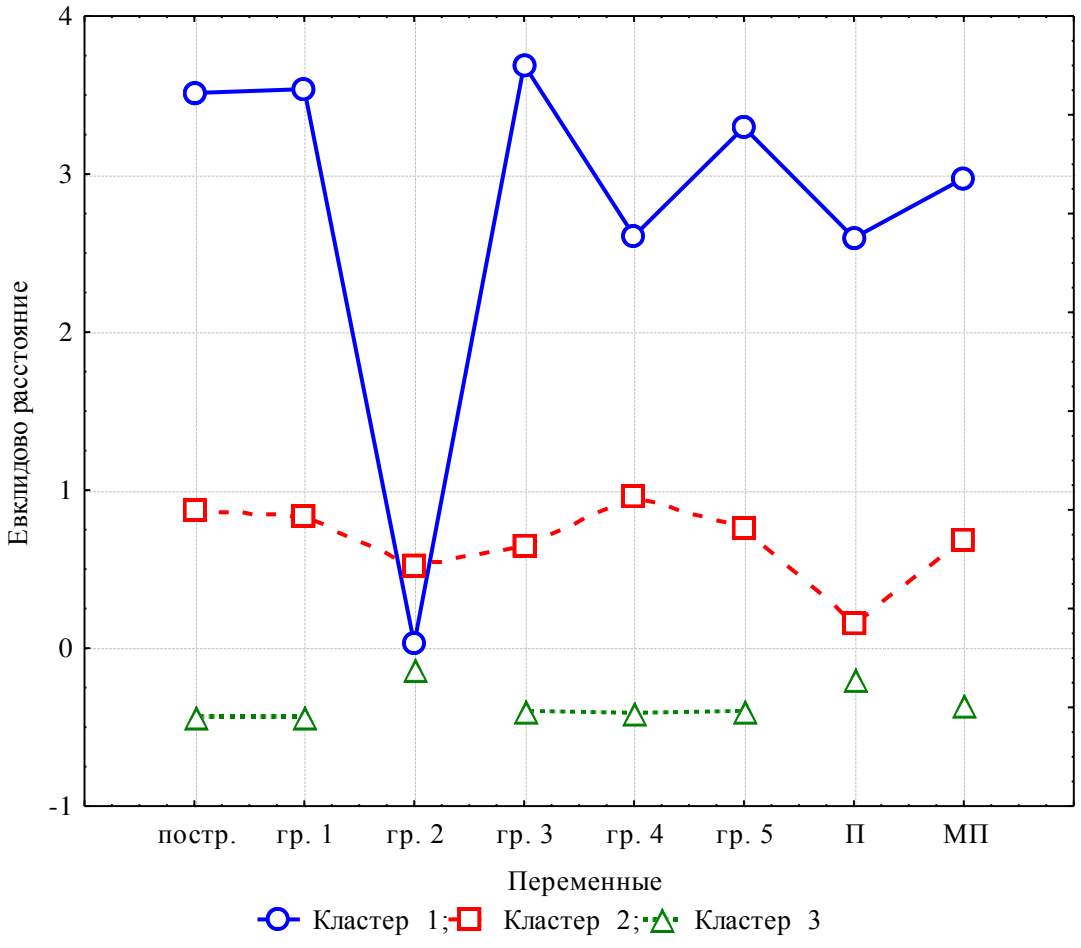

Рис. 1. График средних значений переменных для кластеров

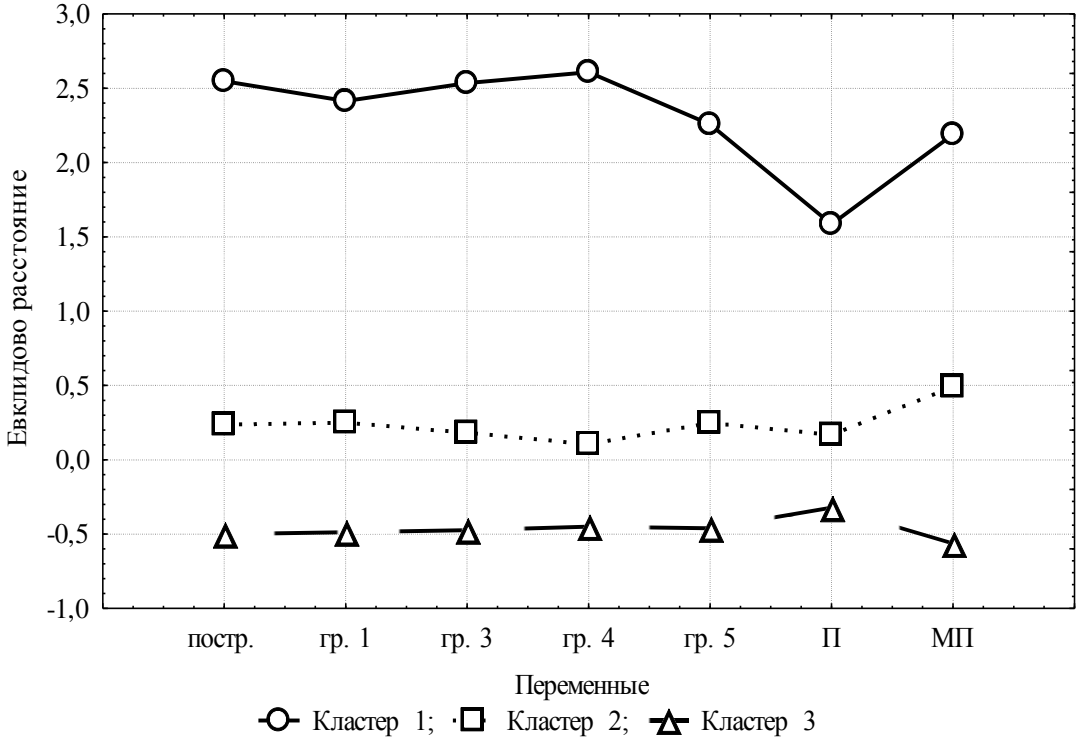

Рис. 2. График средних значений переменных для кластеров

Таблица 1

Средние значения переменных по кластерам

Переменные	Кластер № 1	Кластер № 2	Кластер № 3
Постр.	2,547643	0,236819	–0,501246
Гр. 1	2,414088	0,250656	–0,487086
Гр. 3	2,534916	0,182109	–0,474038
Гр. 4	2,608256	0,104824	–0,449650
Гр. 5	2,256199	0,246589	–0,460918
П	1,585040	0,167886	–0,321338
МП	2,188698	0,492195	–0,563890

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа

Переменные	Между SS	cc	Внутри SS	cc	F	Значимость
Постр.	49,75106	2	12,24894	60	121,8498	0,000000
Гр. 1	45,35068	2	16,64932	60	81,7163	0,000000
Гр. 3	47,91550	2	14,08450	60	102,0601	0,000000
Гр. 4	48,90102	2	13,09898	60	111,9958	0,000000
Гр. 5	39,92249	2	22,07751	60	54,2486	0,000000
П	19,60852	2	42,39148	60	13,8767	0,000011
МП	45,50388	2	16,49612	60	82,7538	0,000000

В кластер 3 вошли 39 объектов: ул. 8 марта, ул. Адмирала Макарова, ул. Балмочных, ул. Белана, пер. Бестужева, ул. Вермишева, ул. Доватора, ул. Железнякова, ул. Жуковского, ул. Интернациональная, ул. Карла Маркса, ул. Калинина, ул. Краснозаводская 2, ул. Краснознаменная, Лебедянское шоссе, ул. Ленинградская, ул. Металлургов, пл. Мира, ул. Невского, ул. Октябрьская, ул. П. Смородина, пам. Танкистам, ул. Первомайская, пл. Петра Великого, пл. Плеханова, ул. Плеханова, ул. Пушкина, пер. Рудный, ул. Стаханова 1, ул. Стаханова 2, Театральная пл., ул. Теперика, ул. Титова, Товарный проезд, ул. Ферросплавная, ул. Филипченко, ул. Фрунзе 1, ул. Юных Натуралистов, ул. Яна Берзина.

Дискриминантный анализ

Дискриминантный анализ предназначен для классификации объекта на основе измерения его

различных характеристик, что позволяет отнести объект к одной из нескольких групп (классов) оптимальным способом (минимум математического ожидания потерь или минимум вероятности ложной классификации).

В общем случае задача различения (дискриминации) формулируется таким образом: по результатам наблюдения за объектом строится ***k-мерный*** случайный вектор $\boldsymbol{X} = (x_1, x_2, \ldots, x_к)$, требуется установить правило, согласно которому по значениям координат вектора $\boldsymbol{X}$ объект относят к одной из возможных совокупностей s_i, $i = 1, 2, \ldots, n$ [14, 15]. Для построения правила дискриминации все выборочное пространство $\boldsymbol{R}$ значений вектора $\boldsymbol{X}$ разбивается на области R_i, $i = 1, 2, \ldots, n$, так что при попадании $\boldsymbol{X}$ в R_i объект относят к совокупности s_i.Каждая улица характеризуется ***7-мерным*** вектором $\boldsymbol{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$, координаты которого обозначают: x_1 – количество пострадавших в ДТП; x_2 – количество нарушений ПДД первого вида; x_3 – количество нарушений ПДД третьего вида; x_4 – количество нарушений ПДД четвертого вида; x_5 – количество нарушений ПДД пятого вида; x_6 – количество пересечений; x_7 – количество мест притяжения транспортного потока.

Количество нарушений ПДД второго вида исключено из анализа, так как оно статистически одинаково для всех улиц.

С помощью кластерного анализа удалось разделить улицы на три совокупности (кластера или класса): s_1, s_2, s_3. Таким образом, все выборочное пространство разбивается на три области R_1, R_2, R_3.

Для проведения дискриминантного анализа используем модуль «*Дискриминантный анализ*» пакета ***STATISTICA***. Модели, реализуемые в модуле, являются линейными, а функции классификации и дискриминантные функции – линейными комбинациями наблюдаемых величин.

Выберем «*Стандартный*» метод дискриминации. Результаты дискриминации:

- число переменных в модели: 7;
- лямбда Уилкса: 0,0826094;
- критерий Фишера $\boldsymbol{F}$ (14,108) = 19,12561;
- уровень недостоверности $\boldsymbol{p} < 0{,}0000$.

В табл. 3 приведены результаты анализа.

В первом столбце приведены значения статистики лямбда Уилкса, являющиеся результатом исключения соответствующей переменной из модели. Чем больше значение этой статистики, тем более желательно присутствие этой переменной в процедуре дискриминации. Эти переменные выделены жирным шрифтом.

Частная лямбда характеризует вклад соответствующей переменной в разделительную силу модели. Чем меньше статистика лямбда Уилсона, тем больше вклад в общую дискриминацию. Переменная гр. 4 дает вклад больше всех, переменная МП – вторая по значению вклада. Можно заключить, что нарушения ПДД вида 4 и места притяжения являются главными переменными, которые позволяют производить дискриминацию между улицами.

$\boldsymbol{F}$ – значения $\boldsymbol{F}$-критерия, связанные с соответствующей частной лямбда Уилкса, а значения $\boldsymbol{p}$ – это уровни значимости критерия.

Толерантность определяется как 1 - $\boldsymbol{R}^2$, где $\boldsymbol{R}^2$ – коэффициент множественной корреляции данной переменной со всеми другими переменными в модели. Толерантность является мерой избыточности переменной в модели.

Для получения результатов о природе дискриминации необходимо провести канонический анализ. Чтобы увидеть, как семь переменных разделяют различные совокупности, надо вычислить дискриминантную функцию. Каждая последующая дискриминантная функция будет вносить все меньший и меньший вклад в общую дискриминацию. Максимальное число оцениваемых функций равно числу переменных (7) или числу совокупностей (3) минус 1, в зависимости от того, какое число меньше. В нашем случае оцениваются две дискриминантные функции.

В табл. 4 приведены результаты с пошаговым критерием для канонических корней – дискриминантных функций.

Таблица 3

Результаты анализа данных

Переменные	Лямбда Уилкса	Частная лямбда	*F*	*p*	Толерантность	Значимость
x_1	0,083291	0,991816	0,22279	0,801013	0,058023	0,941977
x_2	0,082695	0,998965	0,02798	0,972422	0,157310	0,842690
x_3	0,085694	0,964007	1,00810	0,371676	0,351656	0,648344
x_4	**0,122421**	**0,674800**	**13,01185**	**0,000024**	**0,659633**	**0,340367**
x_5	0,084035	0,983040	0,46581	0,630123	0,224246	0,775754
x_6	0,083139	0,993636	0,17294	0,841651	0,821096	0,178904
x_7	**0,119002**	**0,694187**	**11,89441**	**0,000052**	**0,704227**	**0,295773**

Таблица 4

Результаты канонического анализа

Корни исключений	Критерий χ^2 с последовательно исключенными корнями					
	Собственное значение	Канонический ***R***	Лямбда Уилкса	χ^2	Число степеней свободы	***p***
0	9,336666	0,950398	0,082609	142,1370	14	0,000000
1	0,171089	0,382222	0,853906	9,0022	6	0,173452

Первая строка дает критерий значимости для всех корней. Вторая строка содержит значимость корней, оставшихся после удаления первого корня. Как видим, статистически значима только первая дискриминантная функция.

Объекты, принадлежащие одной группе, должны иметь близкие значения дискриминантных функций. Судить о результатах разделения наблюдений по группам целесообразно по графическому изображению. На рис. 3 четко видно, что объекты, принадлежащие одинаковым группам (классам), в высокой степени локализованы в определенных областях.

Зададим априорные вероятности классификации, пропорциональные размерам групп.

В табл. 5 приведены функции классификации.

Функции классификации – это линейные функции, которые вычисляются для каждой группы и могут быть использованы для классификации объектов. Объекты приписывают к той группе, для которой классификационная функция имеет наибольшее значение. В табл. 5 приведены коэффициенты и свободные члены при переменных линейных функциях

$$K_1 = 0{,}1249x_1 - 0{,}1681x_2 + 0{,}6120x_3 + 6{,}4903x_4 + \\ +0{,}2470x_5 + 0{,}1039x_6 + 2{,}0488x_7 - 61{,}8231; \quad (1)$$

$$K_2 = 0{,}10567x_1 - 0{,}11610x_2 - 0{,}09180x_3 + 1{,}53696x_4 - \\ - 0{,}01695x_5 + 0{,}10333x_6 + 0{,}82846x_7 - 7{,}48565; \quad (2)$$

$$K_3 = 0{,}03183x_1 - 0{,}06118x_2 - 0{,}11011x_3 + 0{,}33513x_4 + \\ + 0{,}04989x_5 + 0{,}12764x_6 + 0{,}00346x_7 - 1{,}51986, \quad (3)$$

где K_1, K_2 и K_3 –функции классификации соответственно для 1, 2 и 3 групп объектов.

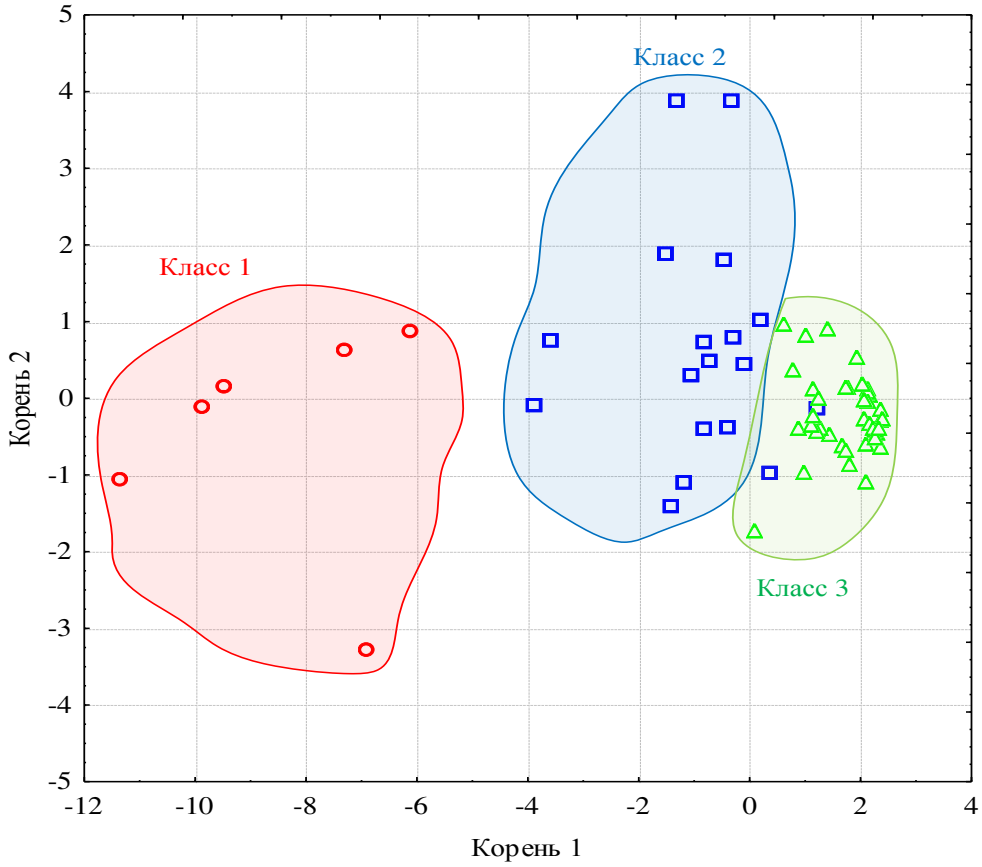

Рис. 3. Диаграмма рассеивания канонических значений для пар значений дискриминантных функций

Таблица 5

Функции классификации

Переменные	Класс 1	Класс 2	Класс 3
x_1	0,1249	0,10567	0,03183
x_2	–0,1951	–0,11610	–0,06118
x_3	0,6120	–0,09180	–0,11011
x_4	6,4903	1,53696	0,33513
x_5	0,2470	–0,01695	0,04989
x_6	0,1039	0,10333	0,12764
x_7	2,0488	0,82846	0,00346
Константа	–61,8231	–7,48565	–1,51986

Таблица 6

Матрица классификации

Группа	% правильности	Класс 1 $p = 0,9524$	Класс 2 $p = 0,28571$	Класс 3 $p = 0,61905$
Класс 1	100,0000	6	0	0
Класс 2	88,8889	0	16	2
Класс 3	100,0000	0	0	39
Всего	96,8254	6	16	41

Для оценки информации о количестве и проценте корректно классифицированных объектов в каждой группе используют матрицу классификации (табл. 6). Строки матрицы – исходные классы, столбцы – предсказанные классы.

Имеется всего два объекта, которые не удалось правильно классифицировать. Они находятся на стыке областей классов объектов 2 и 3. Общая точность определения составила более 96 %.

Рассмотрим возможность классификации нового объекта, имеющего следующие характеристики: $x_1 = 10$; $x_2 = 17$; $x_3 = 8$; $x_4 = 4$; $x_5 = 13$; $x_6 = 25$; $x_7 = 3$.

Воспользуемся классификационными уравнениями (1)–(3)

$$K_1 = 0,1249*10 - 0,1681*17 + 0,6120*8 + 6,4903*4 + 0,2470*13 + 0,1039*25 + 2,0488*3 — 61,8231 = 20,6197;$$

$$K_2 = 0,10567*10 - 0,11610*17 - 0,09180*8 + 1,53696*4 - 0,01695*13 + 0,10333*25 + 0,82846*3 - 7,48565 = 1,85907;$$

$$K_3 = 0,03183*10 - 0,06118*17 - 0,11011*8 + 0,33513*4 + 0,04989*13 + 0,12764*25 + 0,00346*3 - 1,51986 = 2,06797.$$

Наибольшее значение имеет классификационная функция для класса 3, следовательно, новый объект следует отнести к классу 3.

Заключение

Использование экспертной системы управления безопасностью дорожного движения решает следующе задачи: формирование управляющих решений на всех уровнях управления БДД с учетом их особенностей и состояния; отслеживание эффективности принятых управляющих решений и при необходимости корректирование и совершенствование их; осуществление быстрого и повсеместного внедрение новых методов управления БДД. Разбиение объектов на однородные группы даёт возможность определить очерёдность проведения мероприятий по повышению БДД, а также разрабатывать и применять типовые решения по каждой группе объектов. В частности, это позволит повысить эффективность правоприменительной практики и социально-маркетинговых кампаний, направленных на профилактику правонарушений в области дорожного движения, значимость которых подтверждается результатами, полученными нами в рамках реализации международного проекта по безопасности дорожного движения Global Road Safety Project (RS-10) в Российской Федерации в 2010–2014 гг. [16–18].

Полученные классификационные функции позволяют осуществлять мониторинг изменения характеристик объектов и оперативно определять, к какой группе отнести вновь определившиеся объекты.

Такой подход является эффективным способом достигать главной цели: уменьшения числа погибших людей, снижения дорожно-транспортного травматизма и аварийности и, как следствие, снижения экологической нагрузки на население.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах : федерал. целевая программа : утв. постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 г. N 864. М., 2013.

2. Бурков В.Н., Кондратьев В.Д., Щепкин А.В. Механизмы повышения безопасности дорожного движения. М. : ЛИБРОКОМ, 2012. 208 с.
3. Экспертная система мониторинга и обеспечения безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин и др. // Вестник Липец. гос. техн. ун-та. 2016. № 3 (29). С. 33–38.
4. Корчагин В.А., Клявин В.Э. Экспертная система в решении задач повышения безопасности дорожного движения // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. Электрон. журн. 2016. № 4(10). URL: http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/313 (дата обращения 24.04.2017).
5. Построение экспертных систем : пер. с англ. / под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. М. : Мир, 1987. 441 с.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
7. Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2005. 93 с.
8. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М. : Вильямс, 2007. 1152 с.
9. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП / В.А. Корчагин и др. // Фундаментальные исследования. 2015. № 6-2. С. 251–256.
10. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Методические основы управления потоковыми процессами на автомобильном транспорте. Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2007. 246 с.
11. Ризаева Ю.Н., Корчагин В.А. Ноосферологистические подходы создания социоприродоэкономических транспортно-логистических систем // Автотранспортное предприятие. 2012. № 1. С. 45–48.
12. Ризаева Ю.Н., Корчагин В.А., Корчагина Т.В. Научно-обоснованное управление открытыми автотранспортными системами // Фундаментальные исследования. 2012. №11. С. 148–152.
13. Научно-практический метод повышения уровня безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин и др. // Автотранспортное предприятие. 2016. № 11. С. 19–22.
14. Боровиков В.А. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. СПб. : Питер, 2003. 688 с.
15. Олдендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ. М. : Финансы и статистика, 1989. 215 с
16. Slyunkina ES, Kliavin VE, Gritsenko EA, Petruhin AB, Zambon F, He H et al. Activities of the Bloomberg Philanthropies Global Road Safety Programme (formerly RS10) in Russia: promising results from a sub-national project. Injury. Int J Care Injured. 2013; 44 Suppl 4:S64–9.
17. Intersectoral Action to Improve Road Safety in two Regions of the Russian Federation / Viktor Kondratiev, Vladimir Klyavin, Margaret Peden, Shivam Gupta et al. // Public Health Panorama. Volume 1, ISSUE 2, September 2015. S. 198–204.
18. Practical steps in enhancing road safety Lessons from the Road safety in 10 countries project (RS 10) 2010–2014 in the Russian Federation / E. Yurasova, D. Sethi, M. Peden, V. Klyavin et al. // WHO Regional Office for Europe. 2015. 64 p.

УДК 621.436.052:629

Асламова Вера Сергеевна,
д. т. н., профессор кафедры «Техносферная безопасность»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(914)904-58-09, e-mail: aslamovav@yandex.ru
Тайван Тунгалаг,
ведущий инженер локомотивного депо АО Улан-Баторской железной дороги,
e-mail: tai11mn@yahoo.com
Руш Елена Анатольевна,
д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экология»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(983)416-50-07, e-mail: lrush@mail.ru
Каргапольцев Сергей Константинович,
д. т. н., профессор, проректор, Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(395)2638304, e-mail: kck@irgups.ru
Гозбенко Валерий Ерофеевич,
д. т. н., профессор кафедры «Математика»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(914)951-60-21, e-mail: gozbenko@yandex.ru

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ЗАМЕНЫ ВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРА ТЕПЛОВОЗА

V. S. Aslamova, Tungalag Taivan, E. A. Rush, S. K. Kargapoltsev, V. E. Gozbenko

REGRESSION MODEL OF AUTOMATED CONTROL OF TIMELINESS OF REPLACING THE DISEL LOCOMOTIVE`S AIR FILTER

Аннотация. *В статье выполнен анализ литературных источников и опыта четырехлетней эксплуатации тепловоза серии 2ТЭ116УМ № 016 на Улан-Баторской железной дороге (Монголия). Результаты анализа показали, что турбокомпрессор не исчерпывает свой ресурс эксплуатации до очередного планово-предупредительного ремонта, так как из-за наступления такого явления, как помпаж, нарушается устойчивость его работы. Установлено, что основными причинами появления помпажа являются: срыв потока со стенок диффузора, и/или с лопаток направляющего аппарата, и/или с лопаток рабочего колеса. Эти отклонения от рабочего режима вызваны различными факторами, главным из которых является загрязнение воздушного фильтра. Выполнен анализ динамики наступления помпажа, проведения ревизии и замены воздушного фильтра. Получена эмпирическая зависимость расхода воздуха от степени повышения давления в турбокомпрессоре. Для дальнейшей автоматизации контроля безпомпажной работы турбокомпрессора при режиме функционирования тепловоза, задаваемого контроллером, исследованы зависимости помпажного пробега от температуры окружающей среды, степени повышения давления и давления на входе турбокомпрессора, зависящего от степени загрязнения воздушного фильтра. Были обработаны исходные данные с контроллера в пакете Statgraphics Plus и получены адекватные регрессионные уравнения для определения величины пробега до начала помпажа от каждого параметра в отдельности и от совокупного влияния всех параметров. Коэффициенты детерминации полученных регрессионных зависимостей составляют 92–99 %.*

Ключевые слова: *регрессионная модель, помпаж, турбокомпрессор, расход, пробег, степень повышения давления, воздушный фильтр, автоматизированный контроль.*

Abstract. *The article analyzes the literature sources and experience of four-year operation of the diesel locomotive of series 2TE116UM № 016 on the Ulan-Bator railway (Mongolia). The results of the analysis showed that the turbocharger does not exhaust its service life until regular preventive maintenance, because due to the onset of such a phenomenon as surging, stability of its operation is disrupted. It has been established that the main causes of surge appearance are: flow failure from the walls of the diffuser, and/or from the vane blades, and/or from the impeller blades and others. These deviations from the operating conditions are caused by various factors, the main one of which is the contamination of the air filter. The dynamics of the onset of surging, the revision and the replacement of the air filter are analyzed. An empirical dependence of the air flow on the degree of pressure increase in the turbocharger is obtained. In order to automate the control of the turbocharger's unattended operation in the diesel locomotive operation mode set by the controller, the dependence of the pumping distance on the ambient temperature, the degree of pressure increase and the pressure at the inlet of the turbocharger, depending on the degree of air filter contamination, was investigated. The source data from the controller was processed in the Statgraphics Plus package and adequate regression equations were obtained to determine the mileage before the surge from each parameter individually and from the combined effect of all parameters. The coefficients of determination of the regression dependencies obtained are 92–99%.*

Keywords: *regression model, surging, turbocharger, flow, mileage, degree of pressure increase, air filter, automated control.*

Введение

Огромное значение для разработки автоматизированных процессов управления функционированием сложных систем играет математический анализ экспериментальных данных с последующей их аппроксимацией. Проведение аппроксимации с одновременной статистической обработкой данных зачастую обеспечивается методами регрессионного анализа [1]. Из всего множества функций, зависящих от входных переменных и внешних воздействий, только функция регрессии имеет минимальную ошибку прогноза выходной переменной исследуемого объекта. Поэтому регрессионные модели широко применяются в