

study of fatigue resistance of pivot assembly of universal platform. Problems of improving the car structures and methods of their study]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1984, no. 53, pp. 63 – 72.

22. Iorsh E. T., Plotkin V. S., Radzikhovskiy A. A. *Issledovanie ustalostnoy prochnosti nadressornykh balok telezhok gruzovykh vagonov pri nagruzhении, imitiruyushchem bokovuyu perevalku kuzova* [The study of the fatigue strength of bolsters of freight car trucks at loading, simulating a lateral body handling]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1983, no. 49, pp. 27 – 33.

23. Radzikhovskiy A. A. et al. *Povyshenie nadezhnosti litykh detaley telezhok gruzovykh vagonov* [Improving the reliability of cast details of freight cars bogies]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1982, no. 46, pp. 91 – 97.

24. Kharitonov B. V. *Puti snizheniya povrezhdaemosti bokovykh ram telezhok gruzovykh vagonov na sortirovochnykh gorkakh*. Kand. tekhn. nauk. diss. Avtoref. [Ways to reduce the side frames damage to freight car bogies on hump yards. Cand. tech. sci. diss. Synopsis]. Moscow, VNIIZhT, RF Ministry of Railways, 1999. 25 p.

25. Iorsh E. T., Plotkin V. S., Radzikhovskiy A. A., Bondarev S. V., Miroshkin M. A., Ol'gard L. Sh., Trubachev Yu. A. *A device for loading by variable effort of jaw guide of pedestal opening of side bogie frame of a railway vehicle*. Author's certificate 1441229 (USSR). Statement 0206.86 № 4094042/27 – 11. Published on November 30, 1988. (in Russ.).

26. Orlova A. M. *Aprobatsiya rezhimov resursnykh ispytaniy bokovykh ram telezhki modeli 18-9855 na stende prostranstvennogo nagruzheniya* [The approbation of endurance test modes of side frames of 18-9855 model bogie on the spatial loading stand]. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2014, no. 4 (40), pp. 36 – 37.

27. *Methods of research and evaluation of fatigue strength of car structures and their components*. Moscow, SRI of Car-Building – Cent. Res. Inst. of Railway Transport of the RF Ministry of Railways, 1968. 35 p. (in Russ.).

28. Viznyak R. I., Lovskaya A. A. *Utochnenie velichin usilyi, kotorye deystvuyut na kuzova vagonov pri ikh perevozke zheleznodorozhnyimi paromami* [Refinement of forces acting on car bodies in the course of their transportation by ferry-boats]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 2, pp. 20 – 27.

29. *Construction rules and regulations 2.01.07 – 85. Pressures and impacts*. Moscow, The Central Institute of Standard Design of the USSR State Construction Committee, 1986. 36 p. (in Russ.).

30. Kazakevich M. I. *Aerodinamika mostov* [Aerodynamics of bridges]. Moscow, Transport Publ., 1987. 240 p.

УДК 656.2:338.47

Д-р экон. наук Е. А. МАКАРОВА, канд. техн. наук К. В. СУРЖИН, инженеры А. В. СОКОЛОВСКИЙ, С. Б. ЕЛИЗАРОВ, А. Г. ПИУНОВ

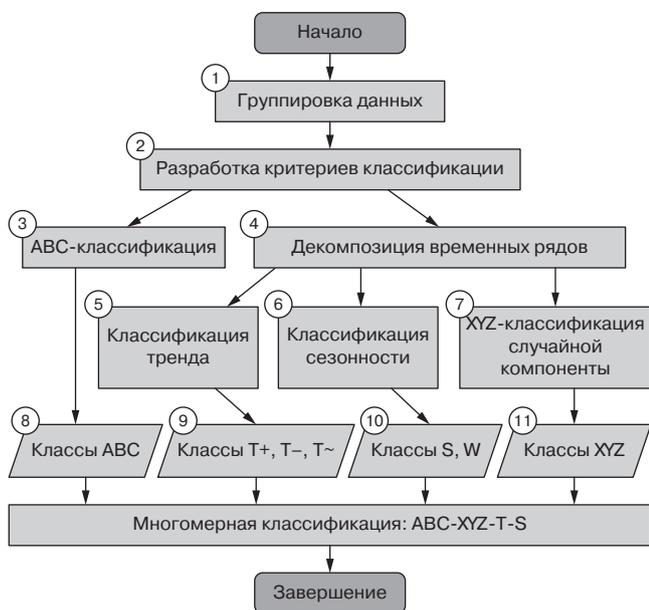
Методология исследований пассажирских транспортных потоков на сетевом и региональных уровнях управления перевозками

Аннотация. В статье изложены методические подходы к определению тенденций развития спроса по магистральным направлениям сети ОАО «РЖД» и принципов классификации линий в зависимости от динамики объемов перевозок в дальнем сообщении. Методика классификации включает алгоритмы проведения аналитических исследований о пассажиропотоках с использованием современных методов математической статистики и маркетингового анализа, критерии и порядок классификации направлений сети ОАО «РЖД» для определения приоритетов и необходимости развития инфраструктуры. В качестве критериев многомерной (многокритериальной) классификации железнодорожных линий приняты объемы пассажирских перевозок дальнего сообщения, стабильность и тенденции развития спроса (прогноз), сезонные факторы, уровень конкурентоспособности направлений пассажиропотоков. Объектами классификации, формирующими направления, являются отдельные станции и группы станций, входящие в железнодорожные узлы, города, субъекты РФ, железные дороги, а также территориальные кластеры станций, входящие в города-мегаполисы, курортные зоны, районы тяготения аэропортов. Аналитическая база разработана на основе сбора и систематизации исходной информации о реальных пассажиропотоках на направлениях сети ОАО «РЖД» (период 2006 – 2014 гг.) и фактических данных о конкурентном транспортном рынке (авиаперевозчики). Разработанная авторами данной статьи методика выступает в качестве аналити-

ческой базы, она обеспечивает процессы рационализации системы пассажирских железнодорожных сообщений и построения маршрутной сети на основе реальных корреспонденций пассажирских транспортных потоков и тенденций их изменения на перспективу.

Ключевые слова: пассажирские перевозки; дальнейшее сообщение; классификация железнодорожных направлений; критерии классификации пассажиропотоков

Пассажирские транспортные потоки неравномерно распределены по полигонам сети, что обуславливает различную загрузку железнодорожных линий и станций. Обоснование приоритетов и необходимости развития инфраструктуры ОАО «РЖД» для пассажирского движения требует создания и внедрения в практику новых инновационных подходов к процессам исследования структуры и характера пассажиропотоков, особенностей их формирования по сегментам транспортного рынка, построению моделей прогноза спроса на перспективу. Впервые с использованием современных экономико-математических методов и ресурсов аналитической базы данных по пассажирским перевозкам [1] разработаны методические подходы



Обобщенный алгоритм классификации железнодорожных направлений:

классы ABC — распределение на классы А, В и С в соответствии с методом ABC-анализа; классы Т+, Т- и Т~ — распределение на классы в соответствии с тенденцией развития спроса; классы S и W — распределение на классы в соответствии с подверженностью влияния спроса сезонным факторам; классы XYZ — распределение на классы X, Y и Z в соответствии с методом XYZ-анализа

к определению тенденций развития спроса по магистральным направлениям сети ОАО «РЖД» и принципов классификации линий в зависимости от динамики объемов перевозок в дальнейшем сообщении [2]. Методическая база разработана на основе сбора и систематизации исходной информации о реальных пассажиропотоках на направлениях сети ОАО «РЖД» и фактических данных о конкурентном транспортном рынке.

Методология исследования объединяет следующие комплексы задач:

- разработку алгоритма проведения аналитических исследований о пассажиропотоках с использованием современных методов математической статистики и маркетингового анализа;
- выработку критериев классификации направлений;
- порядок классификации магистральных направлений сети ОАО «РЖД» для определения приоритетов и необходимости развития инфраструктуры.

Объектами классификации, формирующими направления, являются отдельные станции и группы станций, входящие в железнодорожные узлы, города, субъекты РФ, железные дороги, а также территориальные кластеры станций, входящие в города-мегаполисы, курортные зоны, районы тяготения аэропортов.

Аналитическая работа включает сплошной расчет единичных струй корреспонденций по всем станциям, открытым для пассажирских операций, определение степени устойчивости во времени тенденций

формирования пассажиропотоков, изучение динамики спроса по периодам года, оценку влияния конкурентной среды. На основе выполненных исследований выработаны критерии разбиения железнодорожных направлений на классы в соответствии с объемами пассажирской работы.

Первый критерий разбиения железнодорожных направлений на классы — объемы пассажирских перевозок и их вклад в совокупный результат освоения перевозок на всей сети (далее следование).

В качестве **второго** критерия выделения классов железнодорожных направлений используется тренд пассажиропотока, т. е. основная тенденция изменения временного ряда объемов перевозок в течение исследуемого периода.

Третьим критерием отнесения направлений к конкретным классам выступает сезонность. Этот критерий является индикатором для выделения направлений с преобладанием сезонного характера спроса исходя из значения коэффициента неравномерности спроса.

Четвертый признак классификации — разбиение исследуемых объектов по группам в зависимости от характера развития спроса и уровней точности построения прогноза в рамках каждой выделенной совокупности.

В общем виде задача классификации объектов состоит в разделении исходного множества объектов X , представленных в виде матрицы $X_{m \times n}$, на заранее известное число классов k . Дано:

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$ — множество n объектов.

$Y = \{y_1, \dots, y_k\}$ — множество k классов.

$P = \{p_1, \dots, p_m\}$ — множество m признаков объекта.

Каждый объект рассматривается как точка в m -мерном пространстве признаков $I^m(X)$. Тогда исходные данные могут быть представлены в виде матрицы «объект — свойство»:

$$X_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_1^1 & \dots & x_n^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^m & \dots & x_n^m \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Таким образом, i -й столбец этой матрицы $X_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m)$ полностью характеризует объект.

Существует неизвестная *целевая зависимость* — отображение $y^* : X_i \rightarrow Y$. Требуется построить алгоритм $\alpha : X_i \rightarrow Y$, способный классифицировать произвольный объект [3].

Так как имеется значительное количество исходных объектов, на первом этапе классификации можно объединить похожие объекты в кластеры. В этом случае множество $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ представляет собой множество кластеров. Дано:

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$ — множество объектов.

$P = \{p_1, \dots, p_m\}$ — множество m признаков объекта.

$Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ — множество номеров кластеров.

$f(x, x')$ — функция расстояния между объектами в пространстве признаков $I^m(X)$ [4, 5].

Требуется разбить множество объектов на непересекающиеся подмножества, называемые *кластерами*, так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике f , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту $x_i \in X$ приписывается номер кластера $y_i \in Y$.

Построение системы классификации железнодорожных направлений (рисунок) включает несколько блоков вычислений.

Блок 1 — группировка данных. Выполняется сбор и систематизация исходной информации о реальных пассажиропотоках на направлениях сети ОАО «РЖД». Данная информация должна содержать конкретные маршруты следования пассажиров и учитывать вынужденные пересадки в пути следования при отсутствии прямых поездов между пунктами отправления и назначения пассажира. В данной методике исследование реальных пассажиропотоков на железнодорожном транспорте базируется на учете поездок каждого пассажира, а не на итоговых данных статистики перевозок. Механизм сбора и обработки этой информации реализуется посредством привязки уникального идентификатора каждому пассажиру, на основе которого отслеживаются поездки с вынужденной пересадкой. С учетом приведенных условий

корреспонденции реальных пассажиропотоков изучаются на предмет их «замыкания» в крупных транспортных узлах и объемов транзитных перевозок. Для получения характеристик транспортной подвижности между кластерами станций формируются итоговые аналитические таблицы и рассчитываются агрегированные данные [6].

Для полноты аналитической работы при решении задачи классификации привлекаются фактические данные об авиарейсах по направлениям и проводится сравнительный анализ показателей перевозок пассажиров с железнодорожным транспортом.

Блок 2 — разработка критериев классификации. Критерий является признаком, обеспечивающим оценку объектов (пассажиропотоки между станциями или кластерами станций) и возможность их дальнейшего объединения в однородные группы (классы). В рамках данной методики выработка критериев заключается в реализации задачи объединения железнодорожных направлений по объемам перевозок, тенденциям развития спроса, сезонности и неравномерности пассажиропотоков, а также обеспечения построения модели прогноза с высокой степенью точности. Одно из главных условий выдвижения критерия — возможность подтвердить его эмпирически, т. е. опытно в реальных условиях эксплуатации.

Блок 3 — классификация с использованием метода ABC-анализа. Использование метода позволяет ранжировать объекты по степени важности и доли

Математический аппарат методики классификации

№ п/п	Критерии классификации	Адаптируемые для классификации математические методы	Принципы разбиения на классы
1	Классификация по объему перевозок	Метод ABC-анализа	Класс «А» — крупнейшие направления, обеспечивающие 80% совокупного пассажиропотока на сети; класс «В» — направления, охватывающие 15% из оставшейся величины совокупного пассажиропотока на сети; класс «С» — все остальные направления, на которые приходится 5% объемов перевозок на сети
2	Классификация в соответствии с тенденцией развития спроса	Математически формализованные тесты: MannKendall, SeasonalMannKendall, метод средних, фазочастотный критерий знаков первой разности, критерий Кокса Стюарта и метод серий	Группировка направлений: «Т+» — возрастающий спрос; «Т-» — убывающий спрос; «Т~» — условно-неизменная динамика спроса
3	Классификация в соответствии с влиянием сезонных факторов на спрос	Построение графиков автокорреляционной функции и функции частичной автокорреляции	Группировка направлений: «S» — направления с ярко выраженным влиянием сезонных факторов на спрос; «W» — направления с низким влиянием сезонных факторов на динамику спроса
4	Классификация по характеру развития спроса и уровням возможной точности прогноза	Метод XYZ-анализа	Класс «X» — стабильная величина спроса и высокая точность прогноза; класс «Y» — прослеживается неярко выраженная тенденция изменения спроса и средние возможности прогнозирования; класс «Z» — спрос нерегулярный, какие-либо тенденции отсутствуют, точность прогнозирования низкая или вообще отсутствует

их вклада в совокупный результат деятельности [7]. Применительно к рассматриваемому методическому подходу ABC-анализ обеспечивает разбиение направлений по их вкладу в освоение сетевого объема перевозок и позволяет выявить сообщения, вносящие как наибольший, так и незначительный вклад в итоговый результат деятельности пассажирского комплекса.

Блок 4—декомпозиция временных рядов. Данные, отражающие изменения пассажиропотоков по годам в рамках заданного железнодорожного направления, должны быть представлены в виде рядов динамики (временных рядов). Временной ряд — это совокупность значений показателя «объемы перевозок» за несколько последовательных периодов времени. Каждое железнодорожное направление имеет свой уникальный временной ряд, характеризующий динамику объемов фактически реализованного спроса. В настоящей методике временные ряды используются для построения классификации и дальнейшей разработки моделей прогноза. Основной задачей анализа временных рядов является их разложение (декомпозиция) на составные компоненты.

Блоки 5, 6, 7—исследование компонентов рядов динамики. Временной ряд формируется под воздействием четырех составляющих: трендовая, циклическая, сезонная, случайная компоненты. Необходимо исследовать влияние каждой компоненты на результат и определить их совокупное влияние. В общем виде совокупное воздействие на результат может быть представлено через аддитивную и мультипликативную модели.

Блок 8—выделение классов на основе первого критерия. Определяются с помощью ABC-анализа перечни направлений, удовлетворяющих требованиям:

- крупнейшие, обеспечивающие 80% пассажиропотока на сети (класс «А»);
- осваивающие 15% совокупного спроса (класс «В»);
- направления с незначительными объемами перевозок (класс «С»).

За весь статистический период исследования выделяется «ядро» корреспонденций пассажиропотоков и определяется степень устойчивости характера распределения фактического спроса по локальным сегментам транспортного рынка.

Блок 9—классификация в соответствии с тенденцией развития спроса. Основная тенденция развития транспортного процесса описывается с помощью построения тренда [8]. Тренд позволяет получить характер «поведения» показателей временного ряда в части роста, убывания, стабильности за исследуемый статистический период. Классификация обеспечивает выделение направлений, имеющих тенденцию возрастания спроса (класс Т+), убывания (класс Т-) и группы направлений с условно-неизменной динамикой спроса (Т~).

Блок 10—классификация по влиянию на спрос сезонных факторов. Объемы перевозок неравномерно распределены в течение года. Это оказывает существенное воздействие на размеры движения и схемы составов. Сезонность спроса обуславливает проведение регулировочных мероприятий по вводу факультативных вагонов и введению маркетинговых акций, позволяющих повысить уровень продажи услуг. Учет влияния фактора сезонности в процессе классификации направлений должен обеспечить их дифференциацию по группам. Первая группа объединяет направления, где фактор сезонности имеет большое влияние на объемы спроса. Вторая группа — влияние имеет сглаженный характер.

Блок 11—классификация по уровню стабильности спроса. На основе математико-статистического метода XYZ-анализа железнодорожные направления объединяются в три группы в зависимости от уровней стабильности спроса [9]. Распределение по группам осуществляется на основе расчетных значений коэффициента вариации объемов перевозок за исследуемый период. Цикличность процесса формирования пассажирских транспортных потоков в рамках заданного направления определяется графическим способом. В отдельных случаях, если нельзя идентифицировать наличие тренда во временном ряду, используются специальные математические методы-тесты для нахождения тренда на отдельных участках динамического ряда. Итогом вычислительного процесса является объединение направлений в следующие группы: направления, имеющие высокую степень прогнозируемости объемов перевозок; направления, имеющие средние возможности по прогнозу; направления, для которых достоверный прогноз построить практически невозможно.

Блок 12—многомерная (многокритериальная) классификация. На заключительном этапе (см. таблицу) осуществляется классификация направлений на основе совокупности принятых критериев (объемы перевозок, тенденции развития спроса, влияние фактора сезонности, точность и достоверность прогноза) [10]. В первую группу включают магистрали с большим объемом перевозок, имеющие лидирующее значение в освоении спроса, стабильный или незначительно убывающий тренд пассажиропотока, высокий уровень конкурентоспособности, незначительное влияние фактора сезонности и возможность построить прогноз объемов отправок с высокой степенью точности. Во вторую группу объединяют направления, которые в совокупности обеспечивают не более 15% общесетевого объема перевозок, характеризуются убывающей тенденцией спроса, имеют ярко выраженную сезонность, средний уровень конкурентоспособности и невысокую точность прогноза. Третья группа включает линии, имеющие

незначительный спрос, тенденцию к неуклонному снижению, низкий уровень конкурентоспособности. Построить достоверный прогноз не представляется возможным.

Выводы. 1. Разработана методология исследования пассажирских транспортных потоков, позволяющая работникам пассажирского комплекса на основе данных о реальных пассажиропотоках проводить классификацию железнодорожных направлений в соответствии со следующими критериями: по вкладу направлений в совокупный результат объемов перевозок на всей сети ОАО «РЖД»; по характеру тенденций изменения временного ряда объемов отправок в течение исследуемого периода; по фактору сезонности; в зависимости от развития спроса и связанных с ним уровней возможной точности построения прогноза в рамках каждого класса.

2. Предложенная система классификации обеспечивает группировку железнодорожных направлений для получения однородных совокупностей с одинаковыми характеристиками развития пассажирских транспортных потоков и дает возможность оценки степени загруженности магистральных линий на перспективу. Полученный результат является средством информационной поддержки принятия решений по бизнес-процессам планирования размеров движения и схем составов поездов, обоснования инвестиций для развития инфраструктуры, управления парком пассажирских вагонов.

3. Работоспособность методического аппарата подтверждена контрольными расчетами на основе реальных данных о пассажиропотоках за период 2006–2014 гг. Дальнейшее развитие проблематики направлено на автоматизацию процесса классификации магистральных линий по объемам пассажирской работы для условий текущей эксплуатации и на долгосрочную перспективу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Макарова Е. А. Принципы построения аналитической отчетности для пассажирского комплекса ОАО «РЖД» на базе АСУ «Экспресс» // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сборник трудов к 70-летию аспирантуры / под ред. Б. М. Лапидуса, Г. В. Гогричани. М.: ВМГ-Принт, 2014. С. 29–35.
- Классификация пассажиропотоков на базе АСУ «Экспресс» для определения транспортной подвижности между регионами Российской Федерации / Макарова Е. А. [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 3. С. 42–47.
- Jajuga, K., Walesiak, M. (2000), Standardisation of data set under different measurement scales, In: R. Decker, W. Gaul (Eds.), Classification and information processing at the turn of the millennium, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 105–112.

- Амелькин С. А., Захаров А. В., Хачумов В. М. Обобщенное расстояние Евклида — Махаланобиса и его свойства // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 4. С. 40–44.
- Хачумов М. В. Расстояния, метрики и кластерный анализ // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 1. С. 81–89.
- Суржин К. В., Муктепавел С. В. Оценка влияния фактора численности населения на объем пассажирских перевозок // Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 4. С. 59–64.
- Сборник методов поиска новых идей и решений управления качеством / сост. В. В. Ефимов. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 194 с.
- Макарова Е. А., Елизаров С. Б., Муктепавел С. В. Автоматизированная система прогнозирования пассажирских транспортных потоков на базе АСУ «Экспресс» // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 4. С. 21–27.
- Buliński J., Waszkiewicz C. and Buraczewski P. (2013) Utilization of ABC/XYZ analysis in stock planning in the enterprise. Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW Agriculture, 2013, No. 61, pp. 89–96.
- Gatnar, E., Walesiak, M. (Eds.) (2004), Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych [Multivariate statistical analysis methods in marketing research], Wydawnictwo AE, Wrocław, pp. 35–38.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАКАРОВА Елена Алексеевна,

зам. заведующего лабораторией «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы», ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (499) 260-41-71.
E-mail: makarova.elena@vniizht.ru

СУРЖИН Константин Вадимович,

старший научный сотрудник лаборатории «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы», ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (495) 602-82-91.
E-mail: express@vniizht.ru

СОКОЛОВСКИЙ Андрей Владимирович,

младший научный сотрудник лаборатории «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы», ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (495) 602-82-91.
E-mail: express@vniizht.ru

ЕЛИЗАРОВ Сергей Борисович,

главный технолог лаборатории «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы», ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (495) 602-82-91.
E-mail: express@vniizht.ru

ПИУНОВ Алексей Георгиевич,

главный технолог лаборатории «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы», ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (495) 602-82-91.
E-mail: express@vniizht.ru

Method Used to Study Passenger Traffic Flows at the Network-Wide and Regional Levels of the Railway Traffic Management Complex

Elena A. Makarova, Dr. of Economics, Deputy Chief of Laboratory for Operation and Maintenance of Passenger Car Fleet and Marketing Processes, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604171. E-mail: makarova.elena@vniizht.ru ✉

Konstantin V. Surzhin, Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Laboratory for Operation and Maintenance of Passenger Car Fleet and Marketing Processes, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028291. E-mail: surzhin.konstantin@vniizht.ru

Andrey V. Sokolovskiy, Junior Researcher, Laboratory for Operation and Maintenance of Passenger Car Fleet and Marketing Processes, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028291. E-mail: sokolovskiy.andrey@vniizht.ru

Sergey B. Elizarov, Chief Process Engineer, Laboratory for Operation and Maintenance of Passenger Car Fleet and Marketing Processes, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028291. E-mail: express@vniizht.ru

Alexey G. Piunov, Chief Process Engineer, Laboratory for Operation and Maintenance of Passenger Car Fleet and Marketing Processes, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028291. E-mail: piunov.alexey@vniizht.ru

Abstract. The paper tackles methodological approaches to determination of traffic demand development trends on the main routes of the JSC RZD network as well as principles of railway lines classification on the basis of long-distance traffic volume dynamics. The classification procedure employs algorithms of analytic passenger traffic flow investigations based on the up-to-date techniques of mathematical statistics and marketing analysis, as well as criteria and order of the JSC RZD network routes classification supporting their prioritization in the context of infrastructure development. Long-distance passenger traffic volumes, forecasted continuity of traffic demand evolution, seasonal factors and competitiveness degree of passenger traffic flow routes were adopted as criteria of railway lines' multidimensional classification. Objects of classification involved in route formation are individual stations and groups of stations entering railway junctions, urban communities, constituent territories of the Russian Federation and individual railways as well as territorial station clusters entering megacities, resort areas and airport adjacent territories.

Analytic base has been developed relying on collection and systematization of actual passenger traffic flow data of individual JSC RZD network routes for the years 2006–2014 and corresponding actual data related to competitive air transport. Methodical ware developed by the authors serves as analytic base, supporting rationalization processes dealing with the system of railway passenger services and generation of route network on the basis of actual passenger correspondences and long-term variation trends.

Keywords: passenger traffic; long-distance service; classification of railway routes; classification criteria of passenger traffic flows

References

1. Makarova E. A. *Printsipy postroeniya analiticheskoy otchetnosti dlya passazhirskogo kompleksa OAO "RZhD" na baze ASU "Ekspress"* [Principles of analytical reporting for passenger complex JSC "Russian Railways" on the basis of ACS "Express"]. *Zheleznodorozhnyy transport na sovremennom etape razvitiya: sb. tr. uchenykh k 70-letiyu aspirantury* [Railway transport at the present stage of development: Coll. pap. of scientists for the 70th anniversary of the postgraduate school]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, pp. 29–35.
2. Makarova E. A., Surzhin K. V., Piunov A. G., Sokolovskiy A. V. *Klassifikatsiya passazhiropotokov na baze ASU "Ekspress"*

dlya opredeleniya transportnoy podvizhnosti mezhdru regionami Rossiyskoy Federatsii [MIS "Express" based passenger flows classification aimed at determination of interregional travel behavior in the Russian Federation]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2015, no. 3, pp. 42–47.

3. Jajuga K., Walesiak M. *Standardisation of data set under different measurement scales*. Decker R., Gaul W., eds. *Classification and information processing at the turn of the millennium*. Berlin, Heidelberg; Springer-Verlag Publ., 2000, pp. 105–112.

4. Amel'kin S. A., Zakharov A. V., Khachumov V. M. *Obobshchennoe rasstoyanie Evklida — Makhalanobisa i ego svoystva* [Generalized Euclidean — Mahalanobis distance and its properties]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2006, no. 4, pp. 40–44.

5. Khachumov M. V. *Rasstoyaniya, metriki i klasternyy analiz* [Distances, metrics and cluster analysis]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*, 2012, no. 1, pp. 81–89.

6. Surzhin K. V., Muktepavel S. V. *Otsenka vliyaniya faktora chislennosti naseleniya na ob'em passazhirskikh perevozok* [Appraisal of the population factor influence on the passenger traffic volume]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2015, no. 4, pp. 59–64.

7. *Sbornik metodov poiska novykh idey i resheniy upravleniya kachestvom* [Collection of methods to search for new ideas and solutions of quality management]. Ul'yanovsk, UISTU Publ., 2011. 194 p.

8. Makarova E. A., Elizarov S. B., Muktepavel S. V. *Avtomatizirovannaya sistema prognozirovaniya passazhirskikh transportnykh potokov na baze ASU "Ekspress"* [Automatized system of forecasting passenger transport flows based on ACS Express]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2011, no. 4, pp. 21–27.

9. Buliński J., Waszkiewicz C., Buraczewski P. *Utilization of ABC/XYZ analysis in stock planning in the enterprise*. *Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW Agriculture*, 2013, no. 61, pp. 89–96.

10. Gatnar E., Walesiak M., eds. *Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych* [Multivariate statistical analysis methods in marketing research], Wroclaw, Wydawnictwo AE, 2004, pp. 35–38.