

**Ю.О. Купитман**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОСТРОЕНИЕМ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

**Аннотация.** Одним из важных факторов, влияющих на социально-экономическое развитие страны, являются транспортные системы городов. Совершенствование транспортной сети повышает качество жизни горожан, увеличивает рост занятости, укрепляет бюджет города, развивает бизнес и привлекает инвестиции. Особенное внимание стоит уделить доле железнодорожного транспорта, в частности – электропоездам, курсирующим в пригородном направлении. Пассажирские перевозки пригородным железнодорожным транспортом считаются убыточными, и из-за этого множество направлений отменяются, а оставшиеся – группируются по часам пик, когда пассажиров больше всего. Нынешняя система оценки пассажиропотоков и решения задачи транспортного планирования, которой пользуется ОАО «РЖД» несовершенна и требует пересмотра. Одним из методов, который можно для этого применить, являются матрицы корреспонденций, уже зарекомендовавшие себя в задачах транспортного планирования городского автомобильного транспорта.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, матрицы корреспонденций, транспортные задачи.

**J.O. Kupitman**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## IMITATION MODELING WITH THE CONSTRUCTION OF CORRESPONDENCE MATRIXES

**Abstract.** Transport systems of cities are one of the important factors affecting the socio-economic development of the country. Improving the transport network improves the quality of life of citizens, increases employment growth, strengthens the city's budget, develops business and attracts investment. Special attention should be paid to the share of railway transport, in particular – electric trains running in the suburban line. Commuter rail passenger transport is considered unprofitable and because of this, many destinations are canceled, and the remaining ones are grouped by peak hours, when there are the most passengers. The current system for assessing passenger flows and system solving the problem of transport planning, which is used by "Russian Railways" is imperfect and requires revision. One of the methods that can be used for this purpose is the correspondence matrix, which has already proven itself in the problems of transport planning of urban road transport.

**Keywords:** imitation modeling, correspondence matrices, transport problem.

### Введение

Моделирование является общенаучным методом познания окружающего мира, который используется как на эмпирическом уровне, так и на теоретическом, то есть позволяет изучить объект не только визуально через наблюдения, эксперимент, измерение, но и через идеализацию и формализацию. Исследование сложных систем предполагает построение абстрактных математических моделей, представленных на языке математических отношений в терминах определенной математической теории. Изучение процессов, протекающих в данных системах, проводится в рамках теории массового обслуживания (ТМО) и теории случайных процессов. При этом многие модели реальных систем строятся на основе моделей массового обслуживания (ММО). Именно эта теория была выбрана изначально для построения процесса перевозок пригородным железнодорожным транспортом.

Однако в процессе уточнения модели было выявлено несколько проблем, не позволяющие отнести систему перевозок к классической системе массового обслуживания (СМО).

### Проблемы моделирования движения пригородных поездов

Классические СМО характеризуются следующими особенностями [1]:

- случайным временем поступления заявок;
- случайной длительностью их обслуживания;
- случайными задержками обслуживания;
- заданным числом обслуживающих каналов;
- поток событий стационарен, ординарен, не имеет последствия (простейший поток).

В результате реформы №384 от 18 мая 2001 года Российские железные дороги разделили сферы своей деятельности, образовав более сотни компаний (такие как «Федеральная пассажирская компания», «Федеральная грузовая компания», «Пригородные пассажирские компании»), каждая из которых выполняет возложенную на неё функцию. Вместе они работают в тесном сотрудничестве, выполняя те функции, которые раньше выполняла одна дирекция. На примере перевозки пассажиров пригородным железнодорожным транспортом ВСЖД это выглядит следующим образом. Перевозкой пассажиров в этом направлении занимаются две дочерние компании ОАО «РЖД» – Байкальская пригородная пассажирская компания (БППК) и Восточно-Сибирская дирекция моторвагонного подвижного состава (МВПС). БППК занимается обслуживанием пассажиров, когда те приходят на станцию, а как только пассажиры садятся в электропоезд, их обслуживание уже принимает на себя МВПС [5]. Взаимодействие данных структур выглядит как двухфазная СМО, в которой СМО первой фазы – станция, СМО второй фазы – поезд. Поток заявок являются пассажиры, каналами обслуживания первой фазы – свободные места на станции, каналами обслуживания второй фазы – свободные места в поезде. При этом:

- прибывающий на станцию поток пассажиров можно считать простейшим для первой фазы (в некотором интервале времени), но он не будет таковым для второй фазы, т.к. обслуживание второй фазой происходит по расписанию, а, значит, обладает для нее последствием (если пассажиры сели в поезд в момент времени  $t$ , в интервал времени  $(t, t')$  посадки не будет, где  $t'$  – время прибытия следующего поезда) и как следствие – немарковским;

- число каналов первой фазы может рассматриваться как неограниченное, а число каналов второй фазы как случайное;

- приходящие на станцию пассажиры одновременно являются потоком заявок для обеих фаз и состоянием для первой фазы – состояние  $S_0$ , если станция пуста, состояние  $S_n$ , если на станции находится  $n$  человек, – что делает сложным определение интенсивности обслуживания в первой фазе;

- пассажиры, стоящие на станции, обслуживаются первой фазой и одновременно стоят в очереди к обслуживанию во вторую фазу;

- для того, чтобы определить, с какой станции на какую движется пассажиропоток, необходимо оперировать множеством станций и множеством поездов, курсирующих между данными станциями, но в таком случае проблематично рационально составить расписание.

### Моделирование с помощью матриц корреспонденций

Более перспективным выглядит подход, рассматривающий систему как набор подсистем, осуществляющих перевозки со станции  $S_i$  на станцию  $S_j$  согласно матрице:

Станция	$S_1$	$S_2$	...	$S_n$
$S_1$	–	12	...	50
$S_2$	14	–	...	32
...	...	...	...	...
$S_n$	34	42	...	–

Число на пересечении строк и столбцов матрицы – количество пассажиров, ожидающих перевозки с  $S_i$  на  $S_j$ , которое можно преобразовать в поток заявок; состояние каждой

подсистемы – число едущих пассажиров с  $S_i$  на  $S_j$ . Причём числа под диагональю показывают перевозки, условно говоря, с Запада на Восток, а над диагональю – с Востока на Запад [1 наша предыдущая статья]. Такие матрицы носят название матрицы корреспонденций.

Матрицы пассажирских корреспонденций нашли своё место в задачах транспортного планирования и моделирования совсем недавно. Они используются для обоснования решений транспортного планирования (перепланировка существующего маршрута или создание нового), потому как являются наиболее удобным методом расчёта эффективности вариантов предлагаемых транспортных решений. В матрицах основой для расчёта эффекта используются усреднённые существующие или прогнозные количества передвижений граждан по транспортной системе между точками отправления и назначения.

Период упреждения прогноза и точность матрицы определяются характером задачи. Так как в вышеописанной задаче моделирования процесса пассажирских перевозок пригородным железнодорожным транспортом нет плана разработки нового маршрута или же обоснования схем развития транспортной инфраструктуры, но есть оптимизация маршрутной сети, прогноз на несколько лет вперёд не требуется либо же необходим в минимальной степени (краткосрочная экстраполяция наблюдаемых тенденций). При этом требуется высокая точность локализации мест отправления и назначения – желательно с точностью до каждого остановочного пункта.

Классическими методами получения матриц обычно являются натурные обследования, математические методы и автоматизированные методы [3]. У каждого из этих методов есть свои преимущества и недостатки, но нас больше интересует последний метод, потому как в пригородном сообщении с 2004 года на сети железных дорог внедрена Автоматизированная система сбыта, контроля и учета пассажиров электропоездов (АСОКУПЭ). Этот комплекс позволяет снизить потери ППК от нарушения пассажирами условий пользования их услугами. АСОКУПЭ обеспечивает проход пассажира на посадку или выход его с перрона только при наличии билета за счет специальных устройств (считыватели штрих-кодов и ридеры смарт-карт), установленных на турникетах. Также этот комплекс позволяет автоматизировать процесс сбора информации о работе пригородных касс вокзала, формировать в режиме реального времени статистическую и финансовую отчетность [4]. Данные этой системы могут стать хорошей основой для построения матрицы корреспонденций в пригородном направлении.

Для автоматизации построения матрицы корреспонденций пригородного направления ВСЖД было решено построить программу на языке Java, названную «Train Matrix» (рис.1). В ней учтено разделение пригородного сообщения ВСЖД на два направления – Западное и Восточное, которое определяется исходя из порядка выбранных станций отправления и назначения. Выбрав станции, пользователь нажимает на кнопку «Press for result», и появляется та самая матрица корреспонденций, показывающая, сколько людей находится в электропоезде на каждой станции (рис.2). Используя данную матрицу, можно узнать пассажиропоток на каждой станции, сколько человек садится и сходит на каждой станции и сколько находится в электропоезде, и на основе этих данных подбирать соответствующий пассажиропотоку поезд (рис.3). Также по полученной матрице благодаря точности определения мест посадки можно провести статистический анализ существующих пассажиропотоков, вывести устойчивые закономерности передвижений пассажиров и определить спрос на железнодорожный транспорт в пригородном направлении для дальнейшего планирования маршрутов. На основе этих данных можно определить новые зонные станции и максимально эффективно использовать электроподвижной состав.

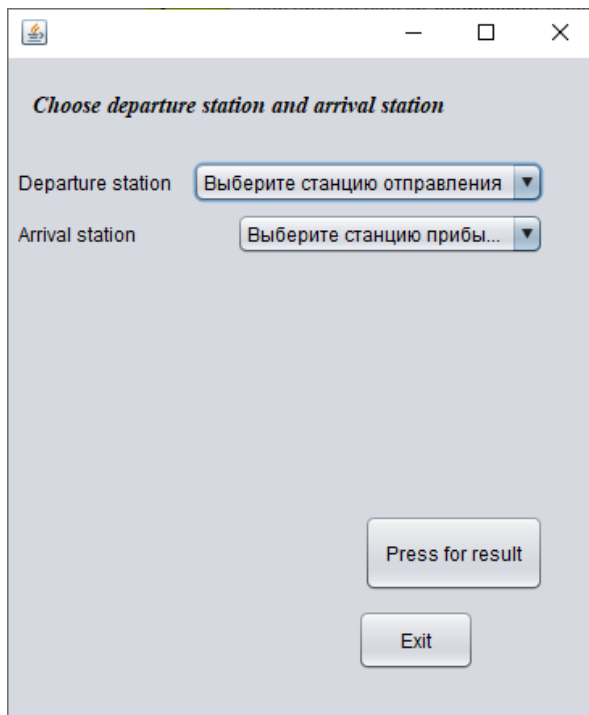


Рис.1. Главное окно программы Train Matrix

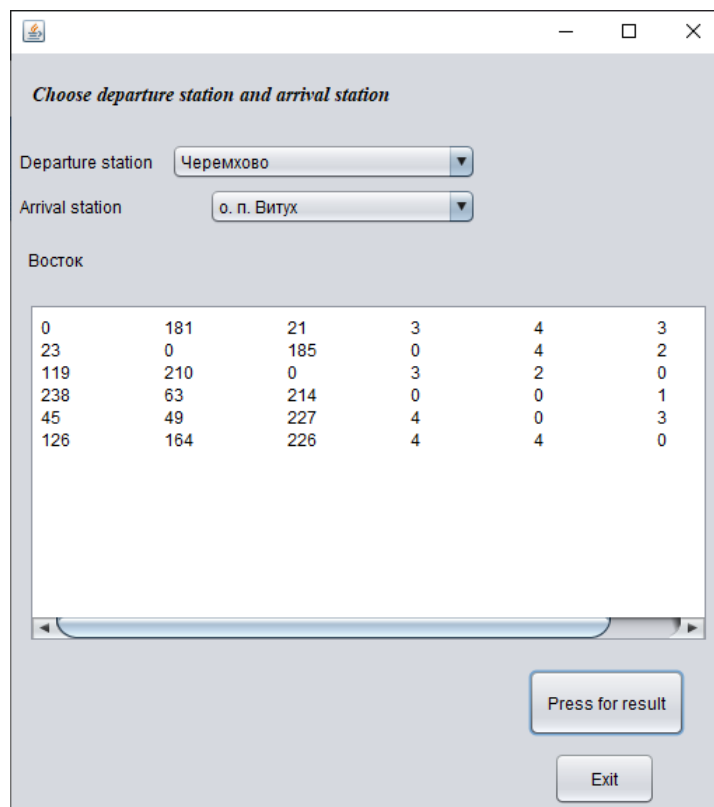


Рис.2. Матрица корреспонденций, соответствующая пути от станции Черемхово до остановочного пункта Витух

Занятость электропоезда в восточном направлении

487 467 20 18 7 0

Для всех пассажиров будет достаточно поезда с четырьмя вагонами, так как самое большое количество пассажиров 487 на станции Черемхово

Рис.3. Вывод программы о занятости электропоезда пассажирами на каждой станции и предложение электропоезда с количеством вагонов

## **Заключение**

Программа, реализующая описанный метод, на данный момент совершенствуется, дорабатывается возможность добавления данных о пассажиропотоке в виде файла \*.doc или \*.xml. С помощью данной программы пассажирские компании смогут отслеживать динамику пассажиропотока во времени, чтобы выпущенные на пути электропоезда своей составностью полностью удовлетворяли требованиям пассажиров. Также она сможет в будущем выступать как удобный инструмент для планирования расписания и связь между двумя дочерними компаниями ОАО «РЖД» - МВПС и ППК.

В заключение стоит сказать, что отслеживание пассажиропотока по матрицам корреспонденций и планирование транспортных маршрутов по ним один из самых перспективных методов, проблема которого остаётся только в методе сбора первичной информации для построения матриц. Однако если интегрировать систему расчёта матриц в АСОКУПЭ, данные автоматически будут обрабатываться без участия человека для выдачи наиболее эффективного решения.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. 12-е изд., стер. Москва: ЮСТИЦИЯ, 2018. 658 с.
2. Купитман Ю.О. Проблемы математического моделирования процесса пригородных пассажирских перевозок // Материалы Десятой Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура сибирского региона». – 2019. – Т.1. – С.315-319.
3. Морозов А.С., Черников А.А. Построение матрицы пассажирских корреспонденций по данным о валидациях билетов и навигационным отметкам // Транспортное планирование и моделирование. Цифровое будущее управления транспортом. – 2018. – С. 96-108.
4. [ИНФОРМАЦИЯ ИЗ ИНТЕРНЕТ] Основы организации пассажирских перевозок. – URL: [https://studref.com/467132/tehnika/osnovy\\_organizatsii\\_passazhirskih\\_perevozok](https://studref.com/467132/tehnika/osnovy_organizatsii_passazhirskih_perevozok) (дата обращения 09.05.2020).

## **REFERENCES**

1. Wentzel E.S. Teoria veroyatnostey [Probability Theory: textbook] 12th ed., Moscow: JUSTICIA, 2018. 658 p.
2. Kupitman J.O. Problemy matematicheskogo modelirovaniya processa prigorodnyh passazhirskih perevozok [Problems of mathematical modeling of suburban passenger transport]// Materialy Desyatoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Transportnaya infrastruktura sibirskogo regiona» [Materials of the Tenth International scientific and practical conference "Transport infrastructure of the Siberian region"]. – 2019. – T.1. – p.315-319.
3. Morozov A.S., Chernikov A.A. Postroenie matricy passazhirskih korrespondencij po dannym o validaciyah biletov i navigacionnym otmetkam [Building a matrix of passenger correspondence based on ticket validation data and navigation marks] // Transportnoe planirovanie i modelirovanie. Cifrovoe budushchee upravleniya transportom [Transport planning and modeling. Digital future of transport management] – 2018. – p. 96-108.
4. [INTERNET] Osnovy organizatsii passazhirskih perevozok [Basis for the organization of passenger transportation]. – URL: [https://studref.com/467132/tehnika/osnovy\\_organizatsii\\_passazhirskih\\_perevozok](https://studref.com/467132/tehnika/osnovy_organizatsii_passazhirskih_perevozok) (дата обращения 09.05.2020).

### **Информация об авторе**

*Купитман Юлия Олеговна* - аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kupitman\_uo@irgups.ru

### **Author**

*Kupitman Julia Olegovna* - graduate student of the Department «Information Technology and protect information», Irkutsk State Transport University, s. Irkutsk, e-mail: kupitman\_uo@irgups.ru

### **Для цитирования**

Купитман Ю.О. Имитационное моделирование с построением матриц корреспонденций [Электронный ресурс] / Ю.О. Купитман // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №2(8). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 14.07.2020)

### **For citation**

*Kupitman Ju.O. Imitatsionnoye modelirovaniye s postroyeniyem matritys korrespondentsiy* [Imitation Modeling with the Construction of Correspondence Matrixes]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 2(8). [Accessed 14/07/20] (in Russian)