

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

Ю. О. Купитман

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Российская Федерация*

Рассматривается проблема планирования транспортных решений по развитию и совершенствованию железнодорожных перевозок в пригородном направлении. Классический вариант теории систем массового обслуживания плохо применим к математическому моделированию процесса пассажирских перевозок из-за невозможности разделить и описать потоки заявок, а также определить состояния систем. Утверждается, что при данных условиях перспективным выглядит подход в моделировании с использованием матриц корреспонденций. Обосновывается идея применимости данной методики к пассажирским перевозкам железнодорожным транспортом. Описывается метод расчета времени обслуживания пассажиропотока электропоездом с наглядным примером расчетов времени сообщения между станциями «Иркутск-Пассажирский» – «о. п. Шелехов». Время обслуживания на каждой станции зависит от количества ожидающих на ней человек, время же следования между станциями можно считать постоянным. Приводится описание программного продукта, в алгоритме которого заложен данный метод. При дальнейшем развитии программы и внедрении ее в автоматизированную систему сбыта, контроля и учета пассажиров электропоездов можно будет рассчитывать загруженность каждой из веток железной дороги, отслеживать пассажиропоток и планировать под него подходящую по количеству вагонов электричку, что повысит эффективность работы пригородных поездов.

Ключевые слова: матрицы корреспонденций, имитационное моделирование, пассажирские перевозки, железнодорожный транспорт, станция, время, плотность пассажиропотока.

Для цитирования: Купитман Ю. О. Моделирование движения пригородных поездов на основе матрицы корреспонденций // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 2. С. 29–38. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-29-38.

Введение

В настоящее время эффективное управление транспортной отраслью опирается на использование разнообразных информационно-аналитических систем, в основе которых часто лежат методы математического и имитационного моделирования. Применение этих методов позволяет принимать решения без дорогостоящих и сложнореализуемых натурных исследований на основе соответствующих моделей. Подобное моделирование представляет собой эффективный инструмент оценки решений по развитию и совершенствованию транспортных систем, включая железнодорожный транспорт. Без научно обоснованных управленческих решений возникают сложности [1], преодолеть которые помогает моделирование соответствующих систем и процессов.

В Российской Федерации одним из основных видов транспорта до сих пор является железнодорожный. Важной составляющей его работы являются пригородные пассажирские перевозки, объем которых год за годом неуклонно снижается (рис. 1).

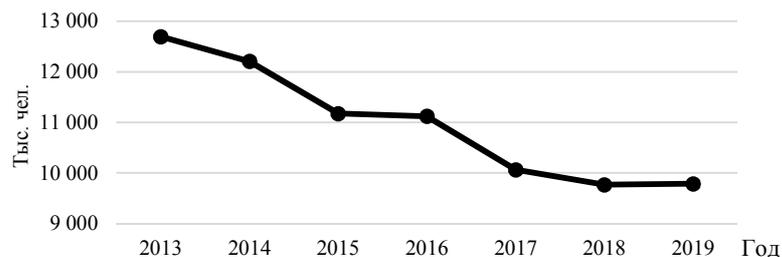


Рис. 1. Динамика пассажирских перевозок пригородным железнодорожным транспортом со станции «Иркутск-Пассажирский» с 2013 по 2019 гг.

Отчасти это можно объяснить увеличением количества личного транспорта, но возникают и организационные проблемы, решать которые можно на основе моделирования.

Проблемы моделирования пассажиропотока на Восточно-Сибирской железной дороге в пригородном направлении с помощью теории систем массового обслуживания

Популярными подходами к моделированию сложных систем, к которым относятся и транспортные, являются имитационное моделирование, теория случайных процессов, теория систем массового обслуживания (СМО), вероятностные модели и некоторые другие [2, 3]. Теория СМО является одним из наиболее популярных подходов, однако классический ее вариант плохо применим к рассматриваемой проблеме моделирования пассажирских перевозок. В первую очередь это обусловлено тем, что классические СМО характеризуются следующими особенностями [4]:

- поток событий должен обладать свойствами стационарности, ординарности, отсутствием последействия (простейший поток);
- задержки в обслуживании носят случайный характер;
- число каналов известно (задано);
- заявки поступают случайным образом;
- время их обслуживания также случайное.

К сожалению, эти требования не всегда применимы к пригородным железнодорожным перевозкам.

После реформы железнодорожного сообщения на Восточно-Сибирской железной дороге за пригородные пассажирские перевозки отвечают две компании, одна из которых обеспечивает инфраструктурную часть («Байкальская пригородная пассажирская компания»), вторая – собственно перевозки («Восточно-Сибирская дирекция мотор-вагонного подвижного состава»). Первая обслуживает пассажиров, прибывающих на станции и остановочные пункты, вторая перевозит. То есть фактически работают две СМО: одна обеспечивает условия для ожидания поезда, отвечая за соответствующую инфраструктуру, вторая осуществляет собственно перевозку. Это делает рассматриваемую СМО двухфазной: размещение пассажиров на станциях и остановочных пунктах (фаза 1), собственно перевозка (фаза 2). Поток заявок для первой фазы – прибывающие на станцию пассажиры. Этот поток, вообще говоря, случаен, хотя существует понятная привязка его интенсивности к расписанию. Число каналов обслуживания для первой фазы фактически неограниченное (места на станции), а время обслуживания (пребывания на станции) зависит от расписания.

Для второй фазы поток заявок – это ожидающие на станции пассажиры. Момент поступления заявки – посадка в вагоны – определяется расписанием, время ее обслуживания тоже. То есть здесь требование ординарности, стационарности и отсутствия последействия не выполняется в принципе. Случайно также число каналов обслуживания – свободных мест в поезде.

Важно отметить и то, что для определения направления пассажиропотока приходится учитывать все станции по маршруту, учитывать множество поездов и т. д., что создает дополнительные проблемы с составлением расписания [5], фактически – с управлением пассажироперевозками. Все это создает принципиальные трудности при применении теории СМО в ее классическом варианте и требует новых подходов к моделированию.

Моделирование на основе матриц корреспонденций

В силу перечисленных трудностей перспективным подходом выглядит моделирование с помощью матриц корреспонденций (МК). С их помощью можно определить общий объем транспортного потока, увидеть, какие из направлений являются наиболее востребованными, проанализировать другие проблемы. Матрица корреспонденций – это матрица, элементами которой являются значения количества передвижений между каждой парой транспортных узлов. Матрицы можно детализировать по видам транспорта, длительности анализируемого интервала времени и причинам поездки (слоям передвижений) [6]. Такие матрицы бывают как для грузовых корреспонденций, так и пассажирских. При таком подходе рассматриваемая транспортная сеть формализуется графом с вершинами – станциями и остановочными пунктами – и дугами – перемещениями (в нашем случае заявками) между ними. Вес дуги p_{ij} – число пассажиров, перемещающихся со станции S_i на станцию S_j [7].

Известны три основных подхода к построению подобных матриц: экстраполяция, вероятностные и реляционные. Наибольшее распространение получили вероятностные методы формирования. В этом случае корреспонденции рассчитываются исходя из численности населения в зоне станции (узла графа), наличия там предприятий, мест массового пребывания (например, загородных зон отдыха) и других аналогичных факторов. Сбор данных осуществляется с использованием средств транспортного мониторинга [8].

В основном построение МК используется при планировании маршрутов наземного и подземного общественного транспорта внутри городов – автобусов, маршрутных такси, а также метро. В случае с пригородными железнодорожными пассажирскими перевозками методы построения МК мало изучены и в основном носят малоинформативный характер. Однако и в этой области их использование может быть эффективным.

Построение матрицы для пассажирских перевозок на линии «Черемхово – Иркутск-Пассажирский» и «Иркутск-Пассажирский – Слюдянка»

Особенностью пригородных перевозок на данных линиях Восточно-Сибирской железной дороги является перевозка только в двух встречных направлениях: Восточном и Западном. Это маршруты «Черемхово – Иркутск-Пассажирский» и обратно, «Иркутск-Пассажирский – Слюдянка» и обратно и т. п. Примерно так же, т. е. в двух встречных направлениях, курсируют пригородные поезда в г. Братск, «Слюдянка – Порт Байкал» и т. п. Радиальных маршрутов нет, что облегчает моделирование.

Важнейшими задачами в транспортном планировании являются расчет времени, которое проводит электропоезд в пути между станциями, и времени, затрачиваемого на каждой станции при посадке и высадке пассажиров, и решение вопроса о подборе состава, который бы соответствовал пассажиропотоку. При расчете необходимо знать данные о пассажиропотоке по каждой станции, которые могут быть получены с помощью автоматизированной системы сбыта, контроля и учета пассажиров электропоездов, внедренной в 2004 г. Предположим, что данные по пассажиропотоку у нас есть и они включают в себя не только количество пассажиров по каждой станции в течение суток, но и сведения о том, на какие станции они отправляются.

Для приведенных веток это формирует матрицу

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

где S_1, S_2, \dots, S_n – станции и остановочные пункты. Числа на пересечении соответствующих строк и столбцов – количество пассажиров, едущих со станции S_i на станцию S_j . При этом числа p_{ij} и p_{ji} , находящиеся на пересечениях строк и столбцов, обозначают перевозки во встречных направлениях. Для Восточно-Сибирской железной дороги это с запада на восток и с востока на запад соответственно [9]. Их можно преобразовать в потоки заявок и состояния подсистем.

Расчет времени занятости электропоезда на маршруте

При расчете занятости электропоезда на маршруте используется следующая формула:

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{isl} + t_{ist}),$$

где t_{isl} – время следования между станциями, мин; t_{ist} – время пребывания на станции, мин.

Несмотря на то, что электропоезда двигаются по расписанию, время следования между станциями можно считать неизменным, а время пребывания на каждой станции варьируется в зависимости от числа ожидающих и выходящих пассажиров. Время посадки и высадки также зависит от конструктивных особенностей вагонов электропоездов. Это требует учета времени посадки и высадки, для чего можно воспользоваться приказом МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 [10]. В приложении 2 к приказу приведена методика расчета параметров движения людского потока в подобных случаях и даны расчетные формулы. Согласно методике участки движения пассажиров в пригородных вагонах можно разделить на следующие пять:

- 1) проход в вагоне между сидениями;
- 2) дверной проем в тамбур;

- 3) тамбур;
- 4) дверной проем на улицу;
- 5) лестничный марш.

Каждый участок k имеет свою длину L_k и ширину b_k . Исходные участки при выходе – проходы между сиденьями, при входе – часть платформы около входа в вагон.

Время движения t пассажиров, мин, на участке 1 определяется как

$$t_1 = L_1/V_1, \quad (1)$$

где L_1 – длина участка пути, м; V_1 – скорость движения людского потока на нем, м/мин.

Скорость определяется в зависимости от относительной плотности людского потока D , м²/м², выражаемой величиной [10]

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{L_1 \cdot b_1}, \quad (2)$$

где N_1 – количество человек на первом участке; f – условная площадь горизонтальной проекции человека м²/чел.; L_1 и b_1 – длина и ширина участка пути, м (размерность согласно [10]).

Время прохода через дверные проемы вычисляется по формуле

$$t_{d1} = \frac{N_1 \cdot f}{q_{d1} \cdot b_1},$$

где q_{d1} – значения интенсивности движения людского потока в м/мин [10].

Для расчетов пассажиропоток делится на две составляющие: входящий и выходящий. В зависимости от типа потока расчеты будут меняться. Входной пассажиропоток проходит следующие участки пути: лестницу вверх, дверной проем, тамбур, дверной проем в вагон и проход в вагоне. У выходного пассажиропотока будет все то же самое, только в обратном порядке, и лестница вниз. По формуле (2) определяем плотность людского потока. Зная плотность движения, легко найти скорость и интенсивность движения людского потока, далее можно приступить к расчету времени движения пассажиров по формуле (1) на каждом участке пути, чтобы затем его сложить и получить общее время, необходимое пассажиропотоку для того, чтобы зайти и выйти. Именно это и будет временем, которое электропоезд тратит на каждой станции.

Предположим, данные по пассажиропотоку на участке «Иркутск-Пассажирский – Шелехов» позволили построить следующую МК:

Станция	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
S_1	0	16	11	1	2	2	8	2
S_2	15	0	9	2	2	3	18	1
S_3	6	7	0	1	2	4	17	2
S_4	15	7	8	0	2	3	21	1
S_5	9	7	8	1	0	2	14	2
S_6	13	14	5	1	1	0	8	2
S_7	17	8	10	2	1	5	0	1
S_8	16	8	6	1	1	3	8	0

На основе МК мы можем узнать, сколько человек собирается на каждой станции и до какой станции сколько следует. Например, со станции S_1 , которой является «Иркутск-Пассажирский», в сторону Шелехова на разные станции следует $16 + 11 + 1 + 2 + 2 + 8 + 2 = 42$ человека. То есть на первой станции электропоезд ожидает $N_1 = 42$ человека – это первый участок перед лестницей вверх в тамбур. Как уже говорилось, скорость людского потока зависит от плотности скопления людей D на каждом из участков. Средняя площадь горизонтальной проекции человека f (табл. 1) приведена в приложении к [10].

Таблица 1

Площадь проекции человека

Характеристика движущегося человека	Значение, м ² /чел.
Взрослый человек в домашней одежде	0,1
Взрослый человек в зимней одежде	0,125
Взрослый с ребенком на руках	0,26
Взрослый с сумкой	0,16
Взрослый с чемоданом	0,35
Подросток	0,07

Для примера возьмем величину $0,16 \text{ м}^2/\text{чел.}$ – человек с сумкой. Если длину и ширину лестницы принять за $0,9 \text{ м}$ и $1,2 \text{ м}$ соответственно, плотность людского потока на этом участке, $\text{м}^2/\text{м}^2$, составляет

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{L_1 \cdot b_1} = \frac{42 \cdot 0,16}{0,9 \cdot 1,2} = 6,2,$$

где L_1 и b_1 – длина и ширина участка пути.

Второй участок пути – тамбур перед входом в вагон. Количество людей и горизонтальная проекция на одного человека те же, изменятся L_2 и b_2 – $1,5$ и $0,85 \text{ м}$ соответственно. Тогда плотность людского потока в тамбуре, $\text{м}^2/\text{м}^2$, составит

$$D_2 = \frac{N_1 \cdot f}{L_2 \cdot b_2} = \frac{42 \cdot 0,16}{0,85 \cdot 1,5} = 5,3.$$

И, наконец, третий участок пути – проход в вагон, здесь L_3 и b_3 принимают значения 9 и $0,85 \text{ м}$ соответственно. Соответственно, плотность людского потока, $\text{м}^2/\text{м}^2$, в проходе вагона составит

$$D_3 = \frac{N_1 \cdot f}{L_3 \cdot b_3} = \frac{42 \cdot 0,16}{0,85 \cdot 9} = 0,9.$$

В свою очередь, скорость людского потока выбирается согласно табл. 2 [10].

Таблица 2

Зависимость скорости и интенсивности движения людского потока от его плотности

Плотность потока $D, \text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	$V, \text{м/мин}$	$q, \text{м/мин}$	$q, \text{м/мин}$	$V, \text{м/мин}$	$q, \text{м/мин}$	$V, \text{м/мин}$	$q, \text{м/мин}$
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,1	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,3	47	14,1	15,6	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,6	27	16,2	19,0	24	14,4	18	10,6
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	10	10,0
0,9 и более	15	13,5	8,5*	10	7,2	8	9,9

*Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока $0,9$ и более, равно $8,5 \text{ м/мин}$, установлено для дверного проема шириной $1,6 \text{ м}$ и более.

Как видно из таблицы, нашему случаю отвечает последняя строка. Соответственно, расчет времени по ней, например для посадки пассажиров, дает следующее.

На первом участке – время движения по лестнице вверх, мин:

$$t_1 = L_1/V_1 = 0,9/8 = 0,11 \text{ мин.}$$

На втором участке – время движения в тамбуре, мин:

$$t_2 = L_2/V_2 = 1,5/8 = 0,19.$$

На третьем участке – время прохода по вагону, мин:

$$t_3 = L_3/V_3 = 9/8 = 1/13.$$

Длину дверных проемов считаем нулевой.

Наибольшую возможную интенсивность движения в проемах в нормальных условиях примем как $g_{mffic} = 19,6 \text{ м/мин}$.

Интенсивность движения с улицы в тамбур, м/мин , рассчитывается по формуле

$$q_{d1} = 2,5 + 3,75 \cdot b_{\tau} = 2,5 + 3,75 \cdot 1,2 = 7,$$

где $b_{\tau} = 1,2$ – ширина тамбура, м.

В свою очередь, интенсивность движения из тамбура в вагон, м/мин, равна

$$q_{d2} = 2,5 + 3,75 \cdot b_{п} = 2,5 + 3,75 \cdot 0,9 = 5,88,$$

где $b_{п} = 0,9$ – ширина прохода между сидениями, м.

Осталось определить время движения в проемах. Согласно формуле (1) получается:

– для проема в тамбур время движения, мин, составляет

$$t_{d1} = \frac{N_1 \cdot f}{q_{d1} \cdot b_1} = \frac{42 \cdot 0,16}{7 \cdot 1,2} = 0,8;$$

– для проема из тамбура в вагон время движения, мин, составляет

$$t_{d2} = \frac{N_1 \cdot f}{q_{d2} \cdot b_2} = \frac{42 \cdot 0,16}{5,88 \cdot 0,9} = 1,27.$$

Складываем полученные значения:

$$T_{пос} = 0,11 + 0,8 + 0,19 + 1,27 + 1,13 = 3,5.$$

Это и будет общее время посадки.

Таким образом, чтобы посадить 42 человека в электричку, нужно 3,5 минуты. Однако у электропоезда не один вход, а по два на вагон, поэтому в зависимости от количества вагонов будет варьироваться количество входов. Например, для четырехвагонной электрички время посадки на первой станции будет составлять $3,5/8 = 0,44$ мин. Для электропоезда с большим количеством вагонов это время будет меньше.

На первой станции нет выходящего пассажиропотока, но он добавляется ко времени на следующих станциях и считается так же, как и время на вход, за исключением другого расчета для лестницы вниз.

Кроме того, ко времени, в течение которого электропоезд находится на станции, обслуживая входящий и выходящий пассажиропоток, для нахождения полного времени его занятости на маршруте необходимо добавить время следования между станциями. К примеру, на движение от «Иркутск-Пассажи́рского» до «Академи́ческой» вместе с посадкой на первой станции пассажиров электропоезд затратит $T = 0,44 + 4 = 4,44$ мин. Так считается по каждой станции от «Иркутск-Пассажи́рский» до «о. п. Шелехов» и затем суммируется.

Программная реализация

Для решения вышеописанных задач построения МК с заявками пассажиров на поездку с одной станции до другой и расчета времени занятости электропоезда на маршруте был создан программный продукт «Информационная система планирования пригородных железнодорожных поездок и составности электропоезда» на языке программирования JAVA (рис. 2).

Рис. 2. Главное окно информационной системы планирования пригородных железнодорожных поездок и составности электропоезда

Главное окно программы содержит следующие пункты:

1. Departure station – выбор станции отправления, в выпадающем списке перечислены все станции от «Черемхово» до «Слюдянки-2».
2. Arrival station – выбор станции назначения, в выпадающем списке так же, как и в станции отправления, перечислены все станции от «Черемхово» до «Слюдянки-2».
3. Time of day – время суток, выбирается для подсчета количества пассажиров на станциях.
4. Show travel time – кнопка для начала расчета. При выбранных предыдущих параметрах можно рассчитать, сколько будет в пути поезд от станции отправления до станции назначения и обратно в зависимости от времени суток.
5. Exit – кнопка закрытия программы.

Как только пользователем выбраны станции отправления и назначения и время суток, заполняется МК (рис. 3).

Матрица заявок на поездку

0	12	11	1	2	2	11	1
16	0	10	1	2	5	19	2
9	6	0	1	1	4	16	1
6	17	4	0	1	5	15	1
14	13	6	2	0	4	11	2
11	9	4	1	2	0	14	2
16	13	6	1	2	3	0	1
12	12	10	1	1	5	11	0

Рис. 3. Вывод построенной матрицы корреспонденций

При построении используются такие критерии, как численность живущих около станции людей и время суток. В зависимости от выбранного времени – утро/вечер, дневные часы будних дней, – количество людей, желающих совершить поездку, будет разным. Также учитывается и станция назначения: в крупные узлы отправляется больше пассажиров и, наоборот, уезжает больше людей с тех станций, где населения больше.

По построенной матрице программа высчитывает количество корреспонденций по каждой паре станций отправления-назначения, рассчитывает наполняемость вагонов (рис. 4, 5) и выдает предложение по составности электропоезда, подходящего под пассажиропоток (рис. 6), а также указывает, на какой станции пассажиропоток будет максимальным.

Вывод заявок в сторону востока

1	40
2	39
3	23
4	22
5	17
6	16
7	1
0	0

Рис. 4. Вывод заявок с каждой станции
(с первой станции хотят отправиться 40 человек, со второй – 39 и т. д.)

Вывод приехавших в восточном направлении

0	0
1	12
2	21
3	3
4	6
5	20
6	86
7	10

Рис. 5. Вывод количества людей, приехавших на нужную станцию
(на второй станции вышли 12 человек, на третьей – 21 и т. д.)

Занятость электропоезда в восточном направлении
 Для всех пассажиров будет достаточно поезда с четырьмя вагонами,
 так как самое большое количество пассажиров 99 на станции Черёмушки

Рис. 6. Подсчет занятости поезда на каждой станции и предложение составности электрички на маршруте

Также с помощью модели высчитывается время, которое электричка проводит между станциями и на самой станции (рис. 7, 8).

Время между станциями = 24
 Время на станции = 2.6998810632518846
 Общее время в пути = 26,699881

Рис. 7. Вывод общего времени в пути от станции «Иркутск-Пассажирский» до «о. п. Шелехов»

Рис. 8. Вывод программы при заданных условиях от станции «Иркутск-Пассажирский» до «о.п. Шелехов» и обратно

Время, которое проводит электропоезд на станции, в первую очередь зависит от количества людей: чем дольше поезд тратит время, ожидая высадки-посадки пассажиров на данной станции, тем вероятнее, что данная станция – одна из крупных узловых.

Программа развивается, но уже сейчас позволяет рассчитать занятость электропоезда на выбранном маршруте для дальнейшего эффективного планирования работы пригородных поездов.

Заключение

Матрицы корреспонденций – один из перспективных методов имитационного моделирования. Он уже хорошо зарекомендовал себя в моделировании транспортных потоков автомобильного транспорта, однако в вопросе железнодорожного транспорта данный метод недостаточно изучен, но также хорошо применим. Используя его, возможно отследить изменения пассажиропотока по времени, увидеть, какие направления наиболее востребованы, подобрать под количество пассажиров составность электропоезда и т. п., а значит, составлять более сбалансированное расписание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витрина статистических данных. URL: <https://showdata.gks.ru/report/277180/> (дата обращения: 11.02.2021).
2. Козлов П. И., Власов Д. Н. Оценка параметров качества обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах // Вестн. МГСУ. 2017. Т. 12. № 5 (104). С. 529–536.
3. Аршинский Л. В., Бутырина Ю. О., Тирских В. В. Проблемы и моделирование пригородного железнодорожного сообщения на основе теории систем массового обслуживания // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 17. С. 28–33.
4. Венцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. М.: ЮСТИЦИЯ, 2018. 658 с.
5. Купитман Ю. О. Имитационное моделирование с построением матриц // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2020. № 3 (9). URL: <http://mnv.irgups.ru/toma/39-2020> (дата обращения: 11.02.2021).

6. *Методические* рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения. М., 2017. 72 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734705.pdf> (дата обращения: 13.02.2021).

7. *Хабаров В. И.* Планирование экспериментов для оценки матрицы транспортных корреспонденций // Докл. АН ВШ РФ. 2015. Т. 3. № 28. С. 109–116.

8. *Селиверстов Я. А., Селиверстов С. А.* Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций // Науч.-техн. вед. Санкт-Петерб. гос. политехн. ун-та. Информатика, телекоммуникации и управление. 2015. № 2-3. С. 217–222. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-modeli-postroeniya-matrits-transportnyh-korrespondentsiy> (дата обращения: 13.02.2021).

9. *Купитман Ю. О.* Проблемы математического моделирования процесса пригородных пассажирских перевозок // Транспортная инфраструктура сибирского региона: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. 2019. Т. 1. С. 314–319.

10. *Об утверждении* методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/668> (дата обращения: 13.02.2021).

Статья поступила в редакцию 16.03.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Юлия Олеговна Купитман – аспирант кафедры информационных систем и защиты информации; Иркутский государственный университет путей сообщения; Россия, 664074, Иркутск; kupitman_uo@irgups.ru.



MODELLING COMMUTER TRAINS USING CORRESPONDENCE MATRIX

J. O. Kupitman

*Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. The article considers the problem of planning transport solutions for development and improvement of railway transport in the suburban direction because of impossibility to separate and to describe the flows of requests, as well as to determine the system states. It has been stated that under such conditions the approach using correspondence matrices in modeling looks promising. The applicability of the methods to passenger transportation by railway is being considered. The method of calculating service time of passenger traffic by electric train is described in the case of calculating the service time between the railway stations Irkutsk-Passenger-Shelekhov. Train downtime at each station depends on the number of people waiting, and travel time between stations is stated as constant. There is given a description of a software product, whose algorithm includes this method. With further development of the software and its introduction into internal automated system of Russian Railways it will be possible to calculate the workload of each railway line, to track passenger traffic and to plan an electric train with a suitable number of cars. This will help to increase the efficiency of commuter trains.

Key word: correspondence matrices, simulation modeling, suburban passenger transportation, railway transport, station, time, passenger traffic density.

For citation: Kupitman J. O. Modelling commuter trains using correspondence matrix. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2021;2:29-38. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-29-38.

REFERENCES

1. *Vitrina statisticheskikh dannykh* [Statistics showcase]. Available at: <https://showdata.gks.ru/report/277180/> (accessed: 11.02.2021).
2. Kozlov P. I., Vlasov D. N. Otsenka parametrov kachestva obsluzhivaniia passazhirov v transportno-peresadochnykh uzlakh [Assessment of parameters of passenger service quality in transport hubs]. *Vestnik MGSU*, 2017, vol. 12, no. 5 (104), pp. 529-536.
3. Arshinskii L. V., Butyrina Iu. O., Tirskikh V. V. Problemy i modelirovanie prigorodnogo zheleznodorozhnogo soobshcheniia na osnove teorii sistem massovogo obsluzhivaniia [Problems and modeling suburban railway communication usin theory of queuing systems]. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniia slozhnykh sistem*, 2016, no. 17, pp. 28-33.
4. Venttsel' E. S. *Teoriia veroiatnostei: uchebnik* [Theory of robability: textbook]. Moscow, IuSTITsIIa Publ., 2018. 658 p.
5. Kupitman Iu. O. Imitatsionnoe modelirovanie s postroeniem matrits [Simulation with construction of matrices]. *Molodaia nauka Sibiri: elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2020, no. 3 (9). Available at: <http://mnv.irgups.ru/toma/39-2020> (accessed: 11.02.2021).
6. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i realizatsii meropriatii po organizatsii dorozhnogo dvizheniia. Ispol'zovanie programmnykh produktov matematicheskogo modelirovaniia transportnykh potokov pri otsenke effektivnosti proektnykh reshenii v sfere organizatsii dorozhnogo dvizheniia* [Guidelines for development and implementation of measures to organize traffic: guidelines]. Moscow, 2017. 72 p. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734705.pdf> (accessed: 13.02.2021).
7. Khabarov V. I. Planirovanie eksperimentov dlia otsenki matritsy transportnykh korrespondentsii [Planning of experiments for evaluating matrix of transport correspondences]. *Doklady AN VSh RF*, 2015, vol. 3, no. 28, pp. 109-116.
8. Seliverstov Ia. A, Seliverstov S. A. Metody i modeli postroeniia matrits transportnykh korrespondentsii [Methods and models for constructing matrices of transport correspondence]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika, telekommunikatsii i upravlenie*, 2015, no. 2-3, pp. 217-222. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-modeli-postroeniya-matrits-transportnyh-korrespondentsiy> (accessed: 13.02.2021).
9. Kupitman Iu. O. Problemy matematicheskogo modelirovaniia protsessa prigorodnykh passazhirskikh perevozok [Problems of mathematical modeling of suburban passenger transportation process]. *Transportnaia infrastruktura sibirskogo regiona: materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2019, vol. 1, pp. 314-319.
10. *Ob utverzhdenii metodiki opredeleniia raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniiax, sooruzheniiax i stroeniiax razlichnykh klassov funktsional'noi pozharnoi opasnosti: prikaz MChS Rossii ot 30 iyunia 2009 g. № 382* [On approval of methodology for determining calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard: order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated June 30, 2009 No. 382]. Available at: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovyye-akty-mchs-rossii/668> (accessed: 13.02.2021).

The article submitted to the editors 16.03.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Julia O. Kupitman – Postgraduate Student of the Department of Information Systems and Information Security; Irkutsk State Transport University; Russia, 664074, Irkutsk; kupitman_uo@irgups.ru.

