

УДК 656.11

М. Е. Елисеев¹, А. В. Липенков¹, М. Е. Сангалова²**О РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ МАТРИЦЫ ПАССАЖИРСКИХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ.**Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева¹,
Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского²

В статье сравниваются различные методики получения достоверной информации о пассажиропотоках. Рассматривается обратная задача – восстановление матрицы корреспонденций по информации о вошедших и вышедших на остановках. Приводится описание компьютерных программ, реализующих эту методику.

Ключевые слова: пассажиропоток, матрица корреспонденций, пассажирские перевозки, автобусные перевозки.

1. Анализ методик подсчета пассажиропотоков

При моделировании движения пассажирского транспорта [1, 3], а также для решения многих практических задач требуется знать матрицу пассажирских корреспонденций, то есть матрицу строки и столбцы которой – остановки, элементы – количество пассажиров едущих с одной остановки на другую. В действительности это не одна матрица, а несколько «слоев» матрицы – каждый «слой» соответствует определенному временному интервалу. При проведении обследований и последующем моделировании выяснилось, что наиболее удобно выделять временные интервалы длиной 2 часа: более мелкое деление вызывает сложности с отнесением корреспонденции к определенному интервалу, большая длина временных промежутков делает информацию неточной.

Казалось бы, оптимально провести такое обследование (использовать технологию), которое позволяет получить непосредственно матрицу корреспонденций, в действительности это не совсем так. Матрицу пассажирских корреспонденций можно получить при обследовании талонным методом: каждый пассажир, входя в автобус, получает талон, на котором указана соответствующая остановка. При выходе талон отдается кондуктору или специально выделенному для подсчета работнику (счетчику), который помещает его в отделение, помеченное названием остановки выхода. Затем талоны систематизируются и производится подсчет корреспонденций. Недостатки такого метода очевидны: большая трудоемкость (и соответственно стоимость) при проведении, высокие требования к счетчикам – в противном случае погрешность очень велика, трудоемкая обработка результатов.

Другой вариант непосредственного получения матрицы корреспонденций – использование электронных проездных документов (билетов и абонементов). Этот вариант лишен недостатков талонного метода, но его отличает высокая начальная стоимость внедрения (оборудование + программное обеспечение) и дополнительные задержки транспортных средств на остановках с большим пассажирообменом. Зато корреспонденции вычисляются многократно и поэтому точность метода высока.

Третий вариант – табличный метод, при котором обследователи-счетчики едут в автобусе (трамвае, троллейбусе) и считают входящих-выходящих пассажиров (ВВП) на каждой остановке. Он менее трудоемок, чем талонный метод и требования к обследователям не столь высоки – проводить обследование гораздо проще, легче и обрабатывать результаты [2]. Таким образом, при средней квалификации счетчиков (например, обученные студенты) имеет большую точность.

Четвертый метод – установка специальных устройств фиксирующих входящих-выходящих пассажиров. Результат подобен получаемому при табличном методе, но значительно дешевле и на практике оказывается точнее. Экономия происходит и при

проведении обследования (час работы аппаратуры дешевле часа работы счетчика) и при обработке информации – данные автоматически заносятся в базу при помощи соответствующих программ. Кроме того, обследование каждого маршрута (и графика на маршруте) происходит многократно, что повышает точность. К недостаткам надо отнести погрешность оборудования – от 5 до 15%, в зависимости от типа устройств. Основным аргументом в пользу этого метода является его дешевизна – по сравнению со вторым (наиболее близким) методом: разница в десятки раз (ориентировочно в 20-40 раз дешевле). Такая большая разница получается из-за того, что нет необходимости оборудовать датчиками все транспортные средства, достаточно нескольких экземпляров, которые последовательно обследуют все маршруты.

2. Формулировка обратной задачи

Серьезным ограничением использования третьего и четвертого методов является то, что при обследовании получается не матрица корреспонденций, а лишь информация о ВВП (входящих-выходящих пассажиров). Восстановление матрицы корреспонденций относится, к так называемым, обратным задачам: нетрудно подсчитать ВВП на каждой остановке, зная матрицу корреспонденций, гораздо сложнее наоборот, зная число ВВП получить матрицу корреспонденций.

Прежде всего, заметим, что решение прямой задачи однозначно – достаточно сложить элементы в строках и столбцах. Рассмотрим простой пример для 4 остановок и «прямого» направления.

	Ост.1	Ост.2	Ост.3	Ост.4	Вошли
Ост.1		3	2	4	9
Ост.2			1	3	4
Ост.3				1	1
Ост.4					
Вышли		3	3	8	

Решение обратной задачи неоднозначно. В примере 2 приводится еще одна матрица корреспонденций с таким же числом ВВП.

	Ост.1	Ост.2	Ост.3	Ост.4	Вошли
Ост.1		3	1	5	9
Ост.2			2	2	4
Ост.3				1	1
Ост.4					
Вышли		3	3	8	

Таким образом, решение обратной задачи разбивается на две подзадачи:

1) нахождение какого-либо решения;

2) нахождение решения наиболее точно воспроизводящего матрицу корреспонденций.

В данной работе будет рассмотрен алгоритм для нахождения некоторого решения, удовлетворяющего ряду критериев. Для решения задачи 2 необходимо проведение экспериментов: обследований автобусных (троллейбусных, трамвайных) маршрутов талонным методом.

3. Решение частного случая обратной задачи

Итак, пусть даны матрицы-строки ВВП, требуется восстановить матрицу корреспонденций. Заметим, что наиболее простое решение следующее: «высаживать» пассажиров вошедших первыми. Так сначала выходят пассажиры, севшие на первой

остановке, затем севшие на второй и так далее. В программировании этот подход называется очередь. Ниже показано восстановление матрицы корреспонденций, в соответствии с этим принципом, для разобранным ранее примера.

	Ост.1	Ост.2	Ост.3	Ост.4	Вошли
Ост.1		3	3	3	9
Ост.2			0	4	4
Ост.3				1	1
Ост.4					
Вышли		3	3	8	

Недостаток данного решения очевиден: при таком решении длина поездки минимизируется, в то время как она является неизвестной величиной. Более реалистичным является следующий подход: среди находящихся в настоящий момент в автобусе (так для краткости будем далее называть транспортное средство) пассажиров, каждый имеет определенную вероятность выйти на ближайшей остановке. В простейшем случае эти вероятности можно считать равными, пока нет дополнительной информации, которую может дать только обследование.

Приведем строгое решения для случая 4 остановок, которое несложно распространить на общий случай.

	Вошли		Вышли
1	x_1	2	y_2
2	x_2	3	y_3
3	x_3	4	y_4

Сразу заметим, что вошедшие на $(n-1)$ остановке выходят на последней, а вышедшие на 2-й ехали с первой.

Матрица корр. примет (промежуточный) вид:

	1	2	3	4
1		y_2		
2				
3				x_3
4				

Вошедшие и вышедшие преобразуются так:

	В авт.		Надо выйти
1	$x_1 - y_2$	2	0
2	x_2	3	y_3
3	0	4	$y_4 - x_3$

На остановке 3 выходят равновероятно как едущие с ост. 1, так и с остановки 2 (более общо – с предыдущих остановок).

Пусть $[\sim \frac{x}{y}]$ ($x < y$) – случайное число из отрезка $[0, \frac{x}{y}]$, тогда едущих с первой

остановки вышло – целая часть числа $[\sim \frac{x_1 y_2}{x_1 y_2 + x_2} y_3]$ (не более $x_1 - y_2$), обозначим ее a_{13} .

Едущих со второй вышло $y_3 - a_{13}$.

Матрица корр. примет (промежуточный) вид:

	1	2	3	4
1		y_2	a_{13}	
2			$y_3 - a_{13}$	
3				x_3
4				

Вошедшие-вышедшие преобразуются так:

	В авт.		Надо выйти
1	$x_1 - y_2 - a_{13}$	2	0
2	$x_2 - y_3 + a_{13}$	3	0
3	0	4	$y_4 - x_3$

Оставшиеся в автобусе выходят на последней остановке.

Матрица корреспонденций примет (окончательный) вид:

	1	2	3	4
1		y_2	a_{13}	$x_1 - y_2 - a_{13}$
2			$y_3 - a_{13}$	$x_2 - y_3 + a_{13}$
3				x_3
4				

Нетрудно убедиться в правильности решения вычислив сумму элементов в строках и столбцах.

4. Вычисление полной матрицы корреспонденций

План реализации этой задачи следующий:

- 1) подсчитываются ВВП по всем маршрутам;
- 2) по каждому маршруту восстанавливается матрица корреспонденций в соответствии с пунктом 3;
- 3) полученные матрицы сохраняются в формате excel и группируются по маршрутам и временным интервалам;
- 4) формируем «большую» матрицу строками и столбцами которой являются определенным образом упорядоченные остановки и «суммируем» файлы маршрутов по каждому из временных интервалов.

Получаем 9 матриц корреспонденций: $A_{5-7}, A_{7-9}, \dots, A_{21-23}$, где нижние индексы соответствуют временным интервалам.

Разрабатывается программный пакет реализующий указанный алгоритм и табличный метод обследования пассажиропотоков. Он состоит (пока) из двух программ:

- 1) программа для занесения данных с листов обследования в excel-файлы (из пункта 3);
- 2) программа для формирования матриц корреспонденций $A_{5-7}, A_{7-9}, \dots, A_{21-23}$.

На рис. 1 и 2 приводятся листинги бета-версий программ.

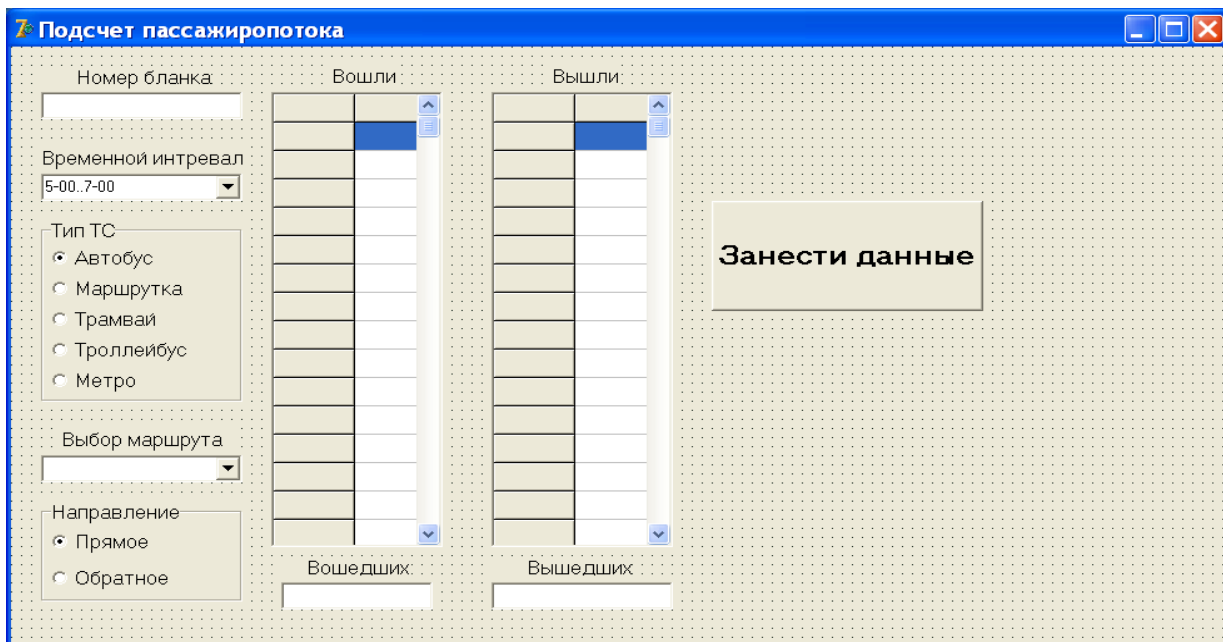


Рис. 1

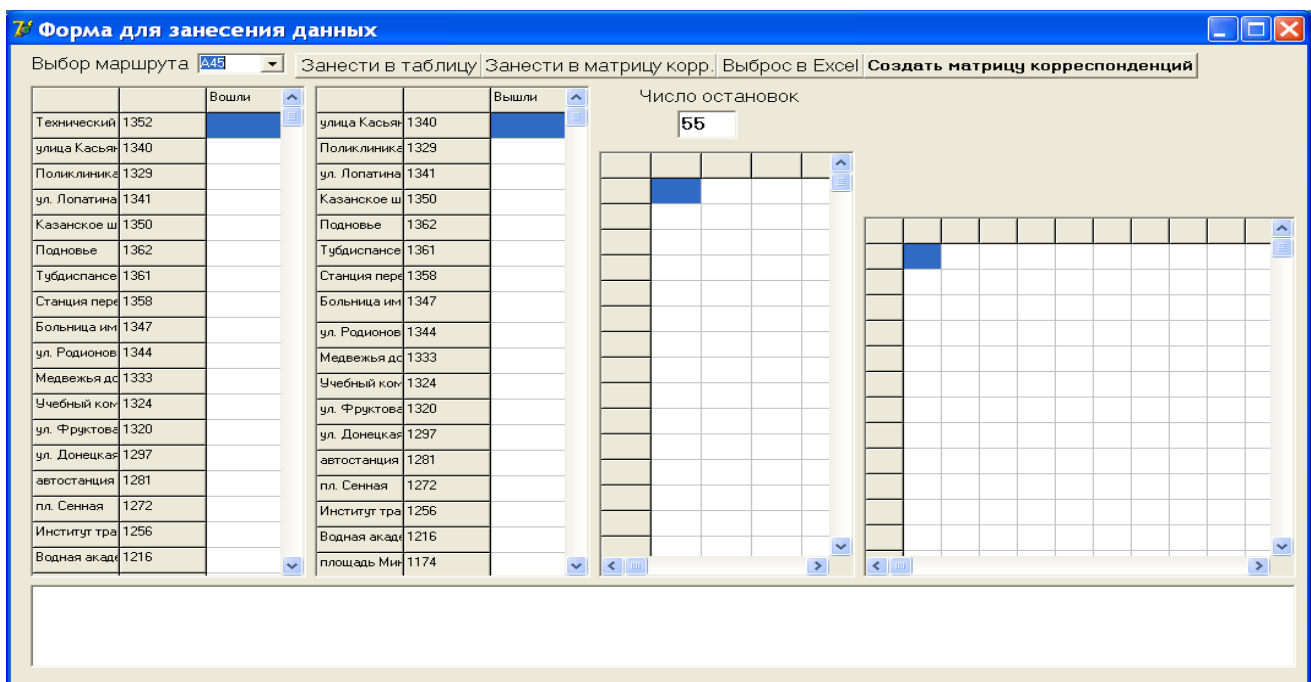


Рис. 2

В дальнейшем программный пакет планируется дополнить функциями (программами) обработки данных о ВПП при подсчете с использованием датчиков и отметок навигаторов, оптимизировать программу для получения excel-файлов в формате требуемом для имитационной модели, созданной в среде AnyLogic [1].

5. Границы применимости методики

Экспериментальные данные [2] и виртуальный эксперимент на модели автобусного маршрута [1] позволяют сделать предварительный вывод о достаточно высокой точности рассмотренного в работе метода. Для получения количественных данных о точности необходимо проведение сравнительных экспериментов.

Разработанная методика имеет, по мнению авторов, большую практическую ценность, так как позволяет получить информацию о матрице корреспонденций значительно дешевле (в разы и десятки раз в зависимости от метода) чем другие методики.

Библиографический список

1. **Елисеев, М. Е.** О модели городского пассажирского транспорта: моделирование логики пассажира // М. Е. Елисеев, А.В. Липенков, Е.М. Елисеев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород. 2011. № 3. С. 347–352.
2. **Елисеев, М. Е.** О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, О.А. Маслова // Автотранспортное предприятие. – М., 2012. №1.
3. **Липенков, А.В.** О разработке имитационной модели городских пассажирских перевозок в Нижнем Новгороде / А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин, О.А. Маслова // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: мат. международной научно-практической конференции. – Орел, 2011. Т. 2. С. 50-54.

*Дата поступления
в редакцию 16.04.2013*

M.E. Eliseev, A.V. Lipenkov, M.E. Sangalova

ON THE SOLUTION OF INVERSE PROBLEMS IN THE CALCULATION OF MATRIX OF THE PASSENGER CORRESPONDENCE

In this paper different methods for the obtaining of reliable information about the passenger traffic are compared. The inverse problem - the reconstruction of the correspondence matrix – is considered. The description of some computer programs is given.

Key words: passenger, a matrix of correspondence, passenger transport, bus transport.