

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

### МЕТОДИКА РАСЧЁТА СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ ПОЕЗДКИ Пассажира НА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ ВЫБОРОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАССАЖИРОПОТОКА

Разработана методика расчёта средней дальности поездки пассажира городского пассажирского транспорта регулярного сообщения на основе выборочных обследований пассажиропотока, позволяющая сократить их объем, при условии сохранения заданной точности результатов.

**В**ведение. В условиях постоянного градостроительства, образования новых центров тяготения пассажирских потоков периодически происходит изменение длин маршрутов, пути их следования, а также образование новых маршрутов. Такие изменения оказывают непосредственное влияние на среднюю дальность поездки пассажира [1–2]. Средняя дальность поездки – расстояние, км, которое проехал в среднем один пассажир по транспортной сети (сетевая) или на одном маршруте (маршрутная). Определяется отношением транспортной работы к объему перевозок. Транспортная работа – общее количество пассажиро-километров, пас-км, выполненное за определенный промежуток времени (час, сутки, год и др.) транспортными средствами. Устанавливается произведением объема перевозок и средней дальности поездки пассажира или суммарной величиной двух сомножителей: протяженности отдельных участков транспортной сети (маршрута) и пассажиропотоков на них [8].

Согласно действующему в Республике Беларусь законодательству [7] среднее расстояние поездки принимается равным среднему расстоянию, фактически сложившемуся за год, предшествующий текущему, а в случае проведения организацией в текущем году обследования средней дальности поездки одного пассажира по данному городу – среднему расстоянию поездки, полученному по результатам такого обследования. Таким образом законодательство Республики Беларусь устанавливает необходимость ежегодного проведения обследований пассажиропотоков для определения средней дальности поездки пассажира.

Обследования подвижности, передвижений и поездок населения должны проводиться только выборочно, с использованием методов и приемов математической статистики ([8], п. 5.9). Они могут проводиться в один или несколько дней (различные дни недели или сезоны года) за весь период работы подвижного состава на линии или в отдельные часы суток и подразделяются на сплошные (по всей сети общественного транспорта одновременно с охватом всего количества подвижного состава) и выборочные (по отдельным маршрутам, участкам сети или остановочным пунктам с охватом части подвижного состава), на систематические и разовые ([8] п. 5.10).

**Методика расчёта средней дальности поездки пассажира.** Практическое применение методики осуществляется путем последовательной реализации следующих действий.

На первом этапе определяется размер выборки, который обеспечивает требуемую точность. Исходными данными для расчетов служит отчетно-статистическая информация предприятия пассажирского транспорта, осуществляющего перевозку пассажиров в рассматриваемом населенном пункте, а также данные предыдущего обследования пассажиропотоков на маршрутной сети: среднесуточный объем перевозок пассажиров на каждом из маршрутов, входящих в маршрутную сеть, протяженность этих маршрутов и средняя дальность поездки пассажиров [4]. Для определения размера выборки  $n$  при обследовании пассажиропотоков рекомендуется принимать следующее выражение [5–6]:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2 N}{N \Delta^2 + t^2 \sigma^2}, \quad (1)$$

где  $t$  – аргумент функции  $F(t)$  (является справочной величиной [5]);  $\sigma^2$  – дисперсия выборки;  $\Delta$  – предел ошибки выборки;  $N$  – объем генеральной совокупности.

Численность выборки определяется с вероятностью 0,95, обеспечивающей заданную точность ( $\Delta = 0,1$ ). Тогда, при  $F(t) = 0,95$ ,  $t = 1,96$  [5].

Дисперсия выборки определяется из выражения

$$\sigma_l^2 = \frac{\bar{l}_n^2}{k+1}, \quad (2)$$

где  $\bar{l}_n$  – средняя дальность поездки пассажира на основании предыдущих обследований, км;  $k$  – параметры распределения Эрланга.

Параметр  $k$  приближенно можно найти из выражения [4]:

$$k \approx \left( \frac{\bar{5l}_n}{l_{\max}} - 1 \right)^2, \quad (3)$$

где  $l_{\max}$  – протяженность самого длинного маршрута, км.

Значения  $k$  округляются до целого числа. По полученным значениям  $\sigma^2$  и  $k$  и с учетом суточного объема перевозок на каждом маршруте по формуле (1) определяется достаточный объем выборки (количество перевезенных пассажиров), подлежащий обследованию.

Второй этап реализации методики предполагает определение количества рейсов для обследования пассажиропотоков на каждом маршруте ( $N_{poi}$ ) по формуле

$$N_{poi} = N_{pi} \frac{n_i}{n_{сутi}}, \quad (4)$$

где  $i$  – номер маршрута;  $N_{pi}$  – число рейсов за сутки на маршруте;  $n_i$  – достаточный объем выборки на  $i$ -м маршруте (формула (1));  $n_{сутi}$  – суточный объем перевозки пассажиров на  $i$ -м маршруте (принимается по данным учета автомобильного перевозчика).

Третий этап методики заключается в подготовке выборочного обследования. В соответствии с рассчитанным количеством рейсов, необходимых для обследования, и расписанием движения автобусов составляется график проведения обследования.

При составлении графика проведения обследований соблюдаются следующие основные принципы [3]:

- обследования должны охватить весь период работы автобусов на маршруте, включая рейсы в часы пик, межпиковый период и во время дежурного движения. Кроме того, исследования проводятся как в будние, так и в выходные дни;

- частота исследуемых рейсов должна соответствовать интенсивности движения автобусов в зависимости от времени суток (в пиковые периоды совершается большее количество рейсов, следовательно, должна быть больше доля обследуемых рейсов).

Все участники обследования разбиты на бригады. Каждая бригада имеет свой график работы. Обследования пассажиропотоков проводятся в автобусах. При этом учетчики располагаются в транспортном средстве таким образом, чтобы без труда видеть количество выходящих и входящих пассажиров. Если обследования проводились в трехдверном автобусе, то обследование проводилось тремя учетчиками, каждый из которых располагался у своей двери. Схемы расположения учетчиков в автобусе приведены на рисунках 1, 2.

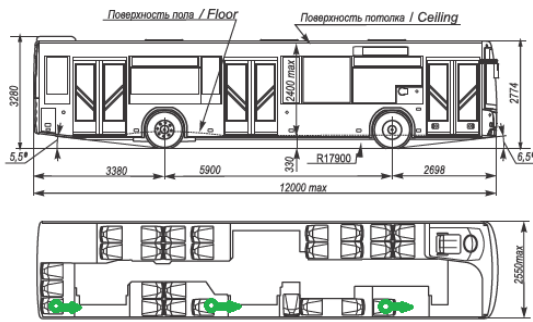


Рисунок 1 – Схема расположения учетчиков в трехдверных автобусах

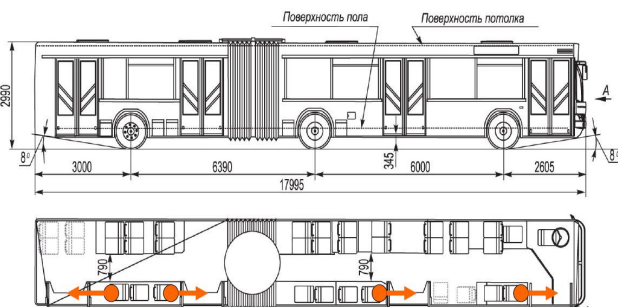


Рисунок 2 – Схема расположения учетчиков в сочлененных автобусах

На четвертом этапе выполняется обработка материалов обследования с целью определить значение величины средней дальности поездки пассажира на маршрутной сети, обслуживаемой рассматриваемым транспортным предприятием. Средняя дальность поездки на каждом маршруте и в общем на всей маршрутной сети в соответствии с действующим законодательством определяется по формуле

$$\bar{l}_n = \frac{\sum NL}{\sum N}, \quad (5)$$

где  $\sum NL$  – пассажирооборот на перегоне, пас-км;  $\sum N$  – суммарное количество проехавших за оборот пассажиров, пас.

**Пример реализации методики расчёта средней дальности поездки пассажира.**

1-й этап. Для расчета величины выборки необходимо по формуле (3) определить параметр  $k$ , принимая на основании предыдущих обследований следующие исходные данные: средняя дальность поездки 4,31 км, максимальная длина маршрута 13,3 км.

$$k = \left( \frac{5 \cdot 4,31}{13,3} - 1 \right)^2 = 1.$$

Далее по формуле (2) значение дисперсии

$$\sigma_i^2 = \frac{4,31^2}{1+1} = \frac{18,58}{2} = 9,29.$$

Подставляя в выражение (1) приведенные рассчитанные выше значения, а также величину пассажиропотока на маршруте, равную 3600 пас. (по данным автомобильного перевозчика), можно получить величину выборки для одного маршрута:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 9,29^2 \cdot 3600}{3600^2 + 1,96^2 \cdot 9,29^2} = 1792 \text{ пас.}$$

Результаты расчетов для остальных маршрутов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение численности выборки

Маршрут	Суточный объем перевозок, пас.	Величина выборки, пас.	Минимальный размер выборки, %
2	3600	1792	50
3	673	566	84
4	11273	2710	40
5	3400	1741	51
6	2240	1376	61
7	650	550	85
8	2160	1345	62
9	117	113	97
9А	117	113	97
11	230	216	94
12	70	69	98
14	10553	2667	40
15	95	93	97
16	7197	2385	40
17	267	248	97

Окончание таблицы 1

Маршрут	Суточный объем перевозок, пас.	Величина выборки, пас.	Минимальный размер выборки, %
18	2973	1622	55
19	4423	1975	45
19А	14	14	100
20	2357	1419	60
21	3740	1826	49
22	6560	2311	40
23	5317	2135	40
24	1537	1074	70
24А	133	129	96
Итого	69696	28489	41

2-й этап. По формуле (4) и с учетом данных таблицы 1 можно получить для маршрута № 2:

$$N_{ро2} = 92 \cdot \frac{1792}{3600} = 50 \%$$

То есть, на маршруте № 2 достаточно произвести обследования на 50 % рейсов. Результаты расчета для остальных маршрутов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение числа рейсов для обследования

Маршрут	Число рейсов в сутки	Процент выборки на обследование	Число рейсов для обследования
2	92	50	45
3	42	84	35
4	78	40	31
5	128	51	65
6	110	61	67
7	58	85	49
8	55	62	34
9	28	97	27
9А	32	97	30
11	28	94	26
12	24	98	23
14	79	40	31
15	1	97	1
16	140	40	56
17	10	97	9
18	51	55	27
19	48	45	21
19А	2	100	2
20	48	60	28
21	70	49	34
22	88	40	35
23	46	40	18
24	10	70	6
24А	8	100	8
Итого	1276	41	708,00

3-й этап. Подготовлено и проведено обследование пассажиропотоков на всех маршрутах с учетом достаточного числа рейсов, которые подлежат обследованию, приведенных в таблице 2.

4-й этап. По формуле (5) с учетом данных проведенного обследования пассажиропотоков рассчитываются значения средней дальности поездки пассажира на каждом маршруте (таблица 3).

Таблица 3 – Определение средней дальности поездки пассажиров на маршрутах

Маршрут	Пассажирооборот, пас-км	Объем перевозок, пас.	Средняя дальность поездки ( $\bar{l}_n$ ), км
2	2392	13290,6	5,56
3	899	2555,7	2,84
4	2567	13358,3	5,20
5	2521	7686,3	3,05
6	2843	14809,4	5,21
7	1044	2603,2	2,49
8	2202	9810,9	4,46
9	1010	4397,6	4,35
9А	680	2159,6	3,18
11	420	1754,1	4,18
12	219	512,8	2,34
14	2641	14229,9	5,39
15	122	681,1	5,58
16	1986	8204,4	4,13
17	645	3735,3	5,79
18	1789	9697,6	5,42
19	1780	8019,9	4,51
19А	105	442,3	4,21
20	1767	7824,8	4,43
21	1967	6919,2	3,52
22	2674	12049,6	4,51
23	2103	10561	5,02
24	1935	10163,3	5,25
24А	897	4229,9	4,72

Для определения средней дальности поездки пассажира на всей маршрутной сети необходимо в формулу (5) подставить значения пассажирооборота на всех перергонах для всех маршрутов и суммарное значение перевезенных пассажиров за сутки (с учетом доли выполненного объема перевозок пассажиров):

$$\bar{l}_n = \frac{13290,6/0,5 + 2555,7/0,84 + \dots + 4229,9/1,0}{2392/0,5 + 899/0,84 + \dots + 897/1,0} = 4,62 \text{ км.}$$

Таким образом, средняя дальность поездки пассажиров на маршрутной сети, обслуживаемой перевозчиком, составляет 4,62 км.

**Экономическая эффективность применения методики.** Экономический эффект применения предлагаемой методики заключается в снижении затрат на проведение обследований пассажиропотоков с сохранением допустимой точности полученных результатов. В приведенном примере для проведения сплошного обследования необходимо 1276 рейсов (см. таблицу 2), общее время на обследование – 2055 чел-ч, количество учетчиков 102 чел. При реализации выборочного обследования по предложенной методике на обследование 708 рейсов потребуется привлечь 42 человека при суммарном времени 843 чел-ч. Учитывая, что учетчикам необходимо для оплаты выполненной работы 4028 руб. при сплошном и 1652 руб. при выборочном обследовании исходя из минимального размера оплаты труда, экономия составит 2376 руб. При более высоком уровне оплаты труда учетчиков экономическая эффективность увеличивается пропорционально росту уровня оплаты труда [2].

**Заключение.** Городские пассажирские перевозки в регулярном сообщении являются социально значимым видом услуг, оказываемых населению. Их стоимость влияет на потребительскую способность, а порядок ее расчета регламентируется законодательством Республики Беларусь. Одним из основных трудоемких и дорогостоящих этапов является проведение обследований пассажиропотоков. В данной статье дается методика проведения таких обследований, позволяющая сократить их объем, при условии сохранения заданной точности результатов. Приведен пример ее применения. Расчет экономического эффекта в рамках одного перевозчика показал, что применение предлагаемой методики позволяет снизить затраты на проведение обследований на 2300 рублей. Методика прошла широкую апробацию и запатентована в УП «Белпатентсервис» Белорусской торгово-промышленной палаты [9].

#### Список литературы

- 1 **Аземша, С. А.** Оценка средней дальности поездки пассажиров на городских автобусных маршрутах, обслуживаемых ОАО «Автобусный парк № 2 г. Мозыря»: отчет о НИР. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 52 с.
- 2 **Аземша, С. А.** Социально-экономическая оценка временных потерь пассажиров маршрутных транспортных средств в городском регулярном сообщении / С. А. Аземша, С. В. Скиркоцкий, В. Н. Стукачев // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и

грузов : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 23–24 окт. 2009. – Минск : БНТУ, 2010. – С. 64–69.

3 **Скиркоцкий, С. В.** Организация перевозок пассажиров с обоснованием параметров городского маршрутизированного транспорта. В 2 т. : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. В. Скиркоцкий. – Минск : 2018. – 346 л.

4 **Скиркоцкий, С. В.** Исследование влияния факторов на результативность работы городского пассажирского маршрутизированного транспорта / С. В. Скиркоцкий // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1(34). – С. 30–35.

5 **Харин, Ю. С.** Теория вероятностей, математическая и прикладная статистика : учеб. / Ю. С. Харин, Н. М. Зуев, Е. Е. Жук. – Минск : БГУ, 2011. – 464 с.

6 Statistica 13.3: Computer program. – Serial number JRR709H998119TE-A.

7 Указания по заполнению формы государственной статистической отчетности 12-тр (авто): отчет о наличии и использовании автомобильного транспорта : утв. постановлением Нац. стат. комитета Респ. Беларусь 23.05.2018 № 22.

8 Проектирование сетей городского пассажирского транспорта. ПЗ-01 к СНБ 3.03.02–97. Изд. офиц. : утв. приказом М-ва archit. и стр-ва Респ. Беларусь 29 октября 2001 г. № 547; зарегистрировано Главным управлением строительной науки и нормативов Минстройархитектуры Респ. Беларусь 29 октября 2001 г. № 171. – Минск, 2002.

9 Методика расчета средней дальности поездки пассажира на маршрутной сети общественного транспорта регулярного сообщения на основании выборочных исследований пассажиропотока : пат. сер. V-АП № 2019-002.

Получено 15.10.2019

**S. U. Skirkouski, S. A. Azemsha.** The method of calculating the average travel distance of a passenger on the route network of public transport regular messages on the basis of sample studies of passenger traffic.

The method of calculating the average distance of passenger trips of public passenger transport regular reports based on sample surveys of traffic flow, which allows to reduce their volume, while maintaining the desired accuracy of results.