

УДК 656.13:004.42

С. В. СКИРКОВСКИЙ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА МАРШРУТЕ

Предложен критерий выбора формы организации работы пассажирских транспортных средств (ПТС), отличающийся учетом затрат на эксплуатацию ПТС и потерями времени пассажиров. Установлена зависимость, позволяющая принять решение об организации работы ПТС на маршруте по интервалу или расписанию, повысить эффективность работы городского пассажирского маршрутизированного транспорта (ГПМТ) в межпиковый период за счет сокращения времени ожидания путем перехода от интервальной работы в часы "пик" на работу по расписанию в моменты спада пассажиропотока. На основании проведенных экспериментальных исследований получено численное значение интервала, при котором целесообразно организовать работу по расписанию.

Основной задачей организации движения ГПМТ является обеспечение высокого качества обслуживания пассажиров при минимальных издержках. Для повышения эффективности работы ГПМТ необходимо изменить форму организации работы ПТС на маршруте с целью сокращения затрат времени пассажиров на передвижение при сохранении достигнутого уровня качества их обслуживания [1]. Задача состоит в определении количества ПТС (интервала движения), необходимых для освоения сложившегося пассажиропотока, а также в выборе формы организации работы (по расписанию или интервалу). Такая задача решается при переходе от пиковых периодов к внепиковым и обратно.

Предлагается в качестве критерия определения момента изменения формы движения принять суммарные затраты, включающие транспортные потери от снижения пассажиропотока на маршрутной сети (МС), и потери пассажиров, связанных с ожиданием поездки и затрат перевозчика, обусловленных организацией процесса перевозки по различным формам работы ( $Z_p$  по расписанию и  $Z_n$  по интервалу).

Зависимость, позволяющая сделать выбор в пользу той или иной формы организации работы ПТС на линии, выглядит следующим образом:

$$Z_p \leq Z_n; \quad (1)$$

$$Z_p = Q_{п.ч.} t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{A_p l_o}{t_o} S_{км} + A_p S_{ч} + (A_m - A_p) S_{ч.пр}; \quad (2)$$

$$Z_n = Q_{п.ч.} t_{ож.и} C_{п.ч} + \frac{A_n l_o}{t_o} S_{км} + A_n S_{ч} + (A_m - A_n) S_{ч.пр}, \quad (3)$$

где  $Q_{п.ч.i}$  – часовый пассажиропоток на наиболее напряженном участке маршрута, пас.;  $t_{ож.р}$ ,  $t_{ож.и}$  – среднее время ожидания пассажиром посадки при работе по расписанию и интервалу, ч;  $C_{п.ч}$  – стоимость одного пассажиро-часа ожидания посадки, бел. руб.;  $A_p$  и  $A_n$  – количество ПТС, работающих по расписанию и интервалу;  $l_o$  – длина оборотного рейса, км;  $A_m$  – расчетное количество ПТС, для работы на маршруте с учетом резерва;  $t_o$  – время оборота на маршруте, ч;  $S_{км}$  – переменные затраты, приходящиеся на 1 км пробега ПТС при работе на маршруте, бел.руб./км;  $S_{ч}$  – постоянные затраты, приходящиеся на час работы

ПТС, бел. руб./ч;  $S_{ч.пр}$  – постоянные затраты, приходящиеся на час простоя ПТС без работы, бел.руб./ч;

Количество ПТС, необходимых для перевозки пассажиров, рассчитывается по формуле [1, 2]

$$A_m = \frac{Q_{п.ч} t_o}{q_{опт} \gamma} = \frac{t_o}{I}, \quad (4)$$

где  $q_{опт}$  – оптимальная вместимость ПТС;  $\gamma$  – коэффициент использования вместимости;  $I$  – интервал движения ПТС на маршруте.

Количество ПТС, работающих по интервалу, рассчитывается по формуле

$$A_p = A_m K_{рез}, \quad (5)$$

где  $K_{рез}$  – коэффициент резервирования ПТС для работы по расписанию, принимается в размере 3 %, от общего числа ПТС, работающих на маршруте [3].

Оптимальное значение пассажироместимости единицы ПТС [4]

$$q_{опт} = \sqrt{\frac{2Q_{п.ч.ср} k_{пер} l_o a_{км1} + a_{ч1} (l_o / v_{то} + t_{ок})}{C_{пч} \eta_{см}}}. \quad (6)$$

Время ожидания при работе по интервалу

$$t_{ож.и} = \frac{I}{2}. \quad (7)$$

Время ожидания при работе ПТС по расписанию  $t_{ож.р}$  определяется на основе статистического анализа данных, полученных по результатам исследований.

Подставив формулы (5), (6) в выражения (2) и (3), получим

$$Z_p = Q_{п.ч.} \left( t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q_p \gamma_p} S_{км} + \frac{t_o}{q_p \gamma_p} S_{ч} \right) + \left( A_m K_{рез} - \frac{Q_{п.ч.} t_o}{q_p \gamma_p} \right) S_{ч.пр}, \quad (8)$$

$$Z_n = Q_{п.ч.} \left( \frac{I}{2} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q_n \gamma_n} S_{км} + \frac{t_o}{q_n \gamma_n} S_{ч} \right) + \left( A_m - \frac{Q_{п.ч.} t_o}{q_n \gamma_n} \right) S_{ч.пр}. \quad (9)$$

Выражение (8) показывает в стоимостном выражении сумму затрат пассажиров, связанных с ожиданием посадки, и затрат ПТП на организацию движения на маршруте по расписанию, а (9) – по интервалу. Если  $Z_p$  меньше либо равно  $Z_n$ , то целесообразна форма организации движения ПТС по расписанию, в противном случае эффективнее будет работа по интервалу. Таким образом,

получена система уравнений (8), (9), позволяющая принять решение об организации работы ПТС на маршруте по интервалу или расписанию. Графическая интерпретация зависимостей (8), (9) представлена на рисунке 1.

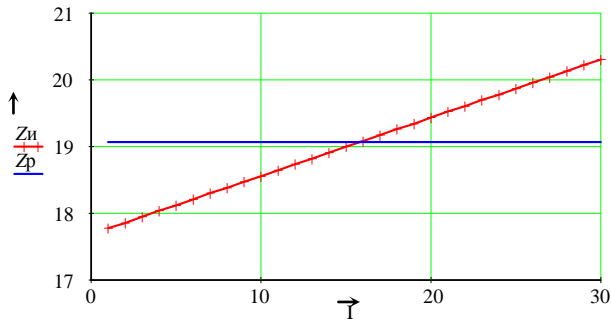


Рисунок 1 – Зависимость суммарных затрат при организации работы по расписанию  $Z_p$  и по интервалу  $Z_{и}$  от интервала движения ПТС на маршруте

Как видно из графиков зависимости суммарных затрат, включающих транспортные потери от снижения пассажиропотока на МС, потерь пассажиров, связанных с ожиданием поездки и затрат ПТП, обусловленных организацией процесса перевозки по расписанию [ $Z_p = f(I)$ ] или интервалу [ $Z_{и} = f(I)$ ], величина интервала, при котором целесообразно организовывать работу ПТС по расписанию, находится в интервале от 10 до 20 мин.

Для нахождения численного значения величины интервала, при котором необходимо переходить на работу по интервалу, преобразуем выражения (8) и (9) относительно  $I$ , полагая, что  $q_{р\Gamma} = q_{и\Gamma}$  и  $A_m = t_o / I$ , получим:

$$Z_p = Z_{и}; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Q_{п.ч} \left( t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q\gamma} S_{км} + \frac{t_o}{q\gamma} S_{ч} \right) + \left( \frac{t_o}{I} K_{рез} - \frac{Q_{п.ч} t_o}{q\gamma} \right) S_{ч.пр} = \\ = Q_{п.ч} \left( \frac{I}{2} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q\gamma} S_{км} + \frac{t_o}{q\gamma} S_{ч} \right) + \left( A_m - \frac{Q_{п.ч} t_o}{q\gamma} \right) S_{ч.пр}. \end{aligned} \quad (11)$$

После преобразований будем иметь

$$t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{t_o}{I} S_{пр} (K_{рез} - 1) - I \frac{C_{п.ч}}{2} = 0, \quad (12)$$

или

$$I t_{ож.р} C_{п.ч} + t_o S_{пр} (K_{рез} - 1) - I^2 \frac{C_{п.ч}}{2} = 0. \quad (13)$$

Таким образом, решив полученное выражение относительно  $I$ , получим

$$I = \frac{\sqrt{(t_{ож.р} C_{п.ч})^2 + 2C_{п.ч} t_o S_{пр} (K_{рез} - 1) + t_{ож.р} C_{п.ч}}}{C_{п.ч}}; \quad (14)$$

$$I = \sqrt{t_{ож.р} + \frac{2t_o S_{пр} (K_{рез} - 1)}{C_{п.ч}}} + t_{ож.р}. \quad (15)$$

Необходимо отметить, что соотношение  $S_{пр}/C_{п.ч}$  является устойчивым в условиях инфляционных процессов, поскольку значение в числителе и знаменателе увеличивается практически пропорционально и равно 3,39 [5]. С учетом оплаты за вынужденный простой в размере 2/3 от тарифного оклада (ст. 71 ТК РФ) [6] соотношение  $S_{пр}/C_{п.ч} = 2,54$ . Произведем необходимые замены и

получим

$$I = \sqrt{t_{ож.р} + 91,44} + t_{ож.р}. \quad (16)$$

С целью определения величины времени ожидания пассажиром посадки в ПТС по расписанию  $t_{ож.р}$  проведены экспериментальные исследования на МС г. Гомеля. Для того чтобы по данным выборки можно было уверенно судить об интересующем признаке генеральной совокупности, необходимо, чтобы объекты выборки правильно его представляли. Выборка должна правильно представлять пропорции генеральной совокупности, т.е. она должна быть репрезентативной (представительной).

Согласно закону больших чисел можно утверждать, что выборка будет репрезентативной, если каждый объект выборки отобран случайно из генеральной совокупности и все объекты имеют одинаковую вероятность попасть в выборку. Если объем выборки велик, а выборка составляет незначительную часть совокупности, то различие между повторной и бесповторной выборками стирается. Суммарное количество возможных значений ограничено численностью населения города. На начало 2015 г. численность населения составляла более 526,9 тыс. человек, из них трудоспособного возраста – 330 тыс. человек; ежедневно ГПМТ перевозит более 250 тыс. пассажиров [7]. Учитывая значительный объем генеральной выборки, необходимо определить достаточный ее объем. Размер выборки для бесповторного отбора может быть определен по формуле [8]

$$n \geq \frac{t^2 \delta^2 N_r}{\varepsilon^2 N_r + t^2 \delta^2}, \quad (17)$$

где  $t$  – значение нормированного отклонения при гарантированном уровне вероятности (при  $P = 0,95$   $t = 1,96$  [8]);  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение;  $N_r$  – размер генеральной совокупности;  $\varepsilon$  – предельно допустимая ошибка (рекомендуется принимать 0,05 [8]).

Размер выборки для повторного отбора может быть определен как

$$n \geq \frac{t^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}. \quad (18)$$

Так как до момента исследований нет представления о величине времени ожидания, математическом ожидании начальной выборки и среднее квадратическое отклонение начальной выборки, необходимо провести предварительный сбор данных для оценки параметров.

После обработки данных исследований на ОП, обслуживаемом маршрутом ГПМТ, на котором работа ПТС организована по расписанию, в течение суток в программе «Statistica» [9, 10] установлено, что величина времени ожидания подчиняется нормальному закону распределения. Графическое представление полученной закономерности представлено на рисунке 2.

Таблица 1 – Основные статистические характеристики распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Число наблюдений	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднее квадратическое отклонение
300	4,76	0,50	8,00	1,53

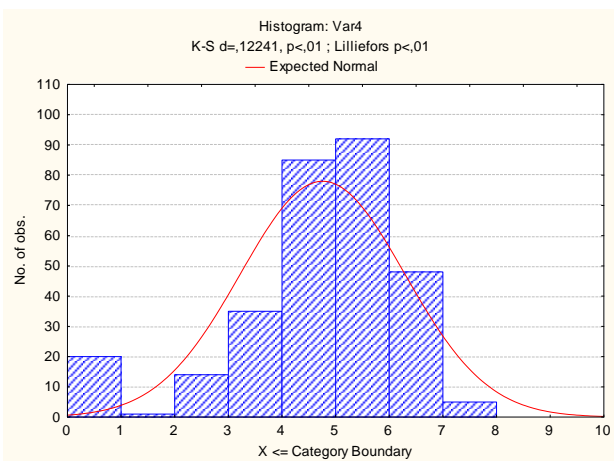


Рисунок 2 – Графическое представление закона распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Тогда, подставив полученные результаты в выражение (17), выборочная совокупность для повторного отбора составит

$$n \geq \frac{1,96^2 \cdot 1,53^2}{0,05^2} = 3614 \text{ пас.}$$

Таким образом, для проведения требуемого анализа величины времени ожидания посадки при работе по расписанию необходимо получить выборочную совокупность из более чем 3614 значений. Полученные при проведении исследования данные были обработаны с помощью пакета «Statistica». Статистической обработкой определены законы распределения случайных величин времени ожидания посадки. Установлено, что они подчиняются нормальному закону распределения. Основные статистики, рассчитанные также с помощью программы «Statistica», приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Число наблюдений	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадратическое отклонение	Стандартная ошибка
4562	5,19	0,10	10,20	1,50	0,02

Графическое представление полученной закономерности представлено на рисунке 3.

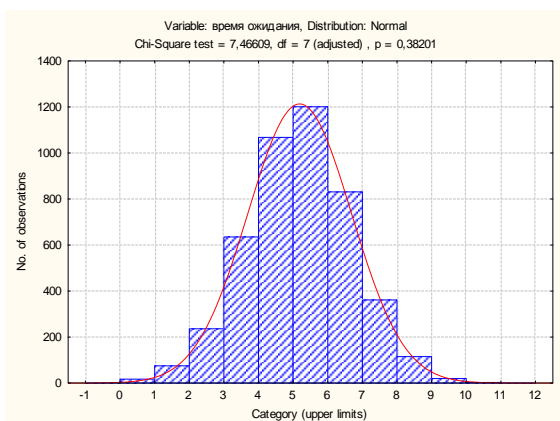


Рисунок 3 – Графический результат анализа, выполненного в модуле DistributionFitting

В целом распределение значений анализируемого признака на рисунке совпадает с нормальным. Это за-

ключение, основанное на визуальном анализе распределения, имеет и более строгое подтверждение в виде результатов теста  $\chi^2$ -квadrat (Chi-square test, см. в верхней части графика). Данный тест проверяет нулевую гипотезу о том, что наблюдаемое распределение признака не отличается от теоретически ожидаемого нормального распределения. Поскольку вероятность справедливости этой гипотезы  $P$  оказалась больше 0,05 (0,38201) и табличное значение  $\chi^2_{0,05;8} = 15,51$  (где 8 – число степеней свободы, равное разности количества интервалов разбиения и числа исчисленных статистических характеристик [11]) больше расчетного, то можно сделать вывод о том, что гипотеза о нормальности распределения верна.

Однако следует отметить, что мощность теста  $\chi^2$  при проверке нормальности распределения относительно невысока. Поэтому лучше воспользоваться другими тестами [12].

Наиболее предпочтительным является использование  $W$ -критерия Шапиро – Уилка (рисунок 4), поскольку он обладает наибольшей мощностью в сравнении со всеми перечисленными критериями (т.е. чаще выявляет различия между распределениями в тех случаях, когда они действительно есть) [11, 12].

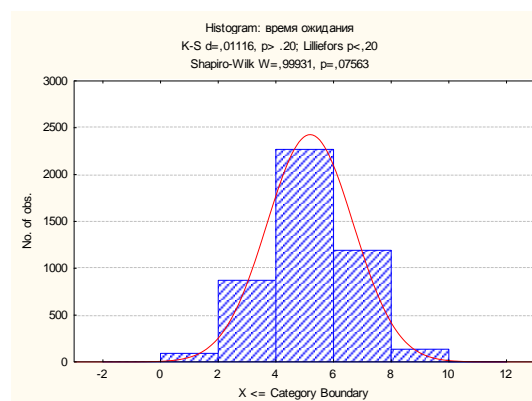


Рисунок 4 – Результат проверки нормальности распределения данных, выполненной при помощи модуля DescriptiveStatistics

Как и ранее, при  $P > 0,05$  следует вывод о том, что анализируемое распределение не отличается от нормального. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при работе по расписанию среднее значение времени ожидания составляет 5,2 мин. Подставив полученные значения в формулу (16), получим

$$I = \sqrt{5,2 + 91,44} + 5,2 = 15,0 \text{ мин.}$$

Следовательно, численное значение интервала, при котором целесообразно организовать работу по расписанию, определенное на основе исследования, составляет 15 мин.

#### Список литературы

- 1 Скиркоцкий, С. В. Повышение эффективности городских перевозок пассажиров автобусами / С. В. Скиркоцкий // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп.: Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2. – С. 97–101.
- 2 Скиркоцкий, С. В. Совершенствование системы управления городским пассажирским транспортом / С. В. Скиркоцкий // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1 / под общ. ред.

Б. М. Хрусталева, В. Л. Соломахо. – Минск : Технопринт, 2003. – С. 261–265.

3 **Спирин, И. В.** Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учеб. для студ. учреждений среднего проф. образования / И. В. Спирин. – М. : Изд. центр «Академия», 2010. – 400 с.

4 **Скирко́вский, С. В.** Совершенствование структуры парка подвижного состава пассажирского автопредприятия / С. В. Скирко́вский // Уральский научный вестник. – 2007. – № 2 (3). – Белгород : ООО «Руснаучкнига», 2007. – С. 26–32.

5 Об утверждении Методических рекомендаций по применению гибких систем оплаты труда в коммерческих организациях : постановление Минтруда и соцзащиты Респ. Беларусь от 30.09.2010 № 131 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.

6 Трудовой кодекс Республики Беларусь. – 2-е изд., с изм. и доп. – Минск : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2007. – 256 с.

7 Основные итоги переписи населения. Национальный состав, численность населения [Электронный ресурс]. – Режим

доступа : <http://census.belstat.gov.by/Intro.aspx>. – Дата доступа : 01.12.2015.

8 **Айвазян, С. А.** Прикладная статистика: Исследование зависимостей : справ. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин ; отв. ред. С. А. Айвазян. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.

9 **Боровиков, В.** STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. Боровиков. – СПб : Питер, 2001. – 656 с.

10 **Скирко́вский, С. В.** Исследование закономерностей движения автобусов и времени ожидания поездки / С. В. Скирко́вский // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. «Коммунальное хозяйство городов». – Киев : Техника. – 2006. – № 69. – С. 254–257.

11 **Корчагин, В. А.** Научные основы эксперимента на транспорте : учеб. пособие для вузов / В. А. Корчагин, И. В. Жилин. – Липецк : ЛГТУ, 2003. – 176 с.

12 **Суворов, В. А.** Математическая статистика. Ч. 2. Исследование зависимостей : учеб. пособие / В. А. Суворов. – Липецк : ЛЭГИ, 1999. – 80 с.

Получено 25.05.2017

**S. U. Skirkouski.** Justification of the choice of form of organization of passenger vehicles on the route.

Justified the choice of the form of organization of passenger vehicles (PV), characterized by cost accounting for the operation of PV and loss of time of passengers. The dependence, which allows to make a decision about the organization of the work of PV on the route through the interval, or schedule, which allows to increase the efficiency of urban passenger transport routed in magpily period by reducing the waiting time by switching from interval work in rush hours, for work scheduled in the moments of decline in passenger numbers. On the basis of the conducted experimental research the numerical value of the interval in which it is expedient to organize the work on schedule.