

Влияние характеристик пассажиропотоков на эффективность суточных планов интервалов движения городского транспорта



К. А. Паршакова,
ассистент кафедры
автомобильного
транспорта
Оренбургского
государственного
университета (ОГУ),



Н. Н. Якунин,
д-р техн. наук, заведующий
кафедрой автомобильного
транспорта ОГУ,



Н. В. Якунина,
д-р техн. наук, профессор
кафедры автомобильного
транспорта ОГУ

Работа пассажирского транспорта оказывает решающее влияние на общую жизнь современных городов, является важнейшим показателем их благополучия, во многом определяет необходимые условия деятельности предприятий и учреждений агломераций. В этой связи необходимо совершенствовать и оптимизировать методики расчета показателей транспортного процесса.

Увеличение доли удовлетворения потребности населения в перемещениях с использованием автомобильного транспорта общего пользования является важным положением Транспортной стратегии РФ на период до 2035 г. Возрастает значимость автобусных перевозок и ответственность за их эффективность, например, при определении размера выпадающих доходов перевозчиков при работе с использованием регулируемых тарифов в условиях брутто-модели [1].

Методики расчета показателей транспортного процесса традиционны и используются специалистами автомобильного транспорта. В результате рассчитывают количество транспортных средств на маршруте, их номинальную вместимость, интервалы движения, количество рейсов, расписание движения и другие показатели. Точное определение интервалов движения автобусов, их оптимальные суточные планы играют важную роль в обеспечении эффективности пассажирских перевозок. Вместе с тем, остается не изученным влияние характеристик пассажиропотоков на маршрутах на показатели транспортных процессов, таких как интервалы движения и номинальная вместимость транспортных средств, обеспечивающих наибольшую эффективность перевозок.

В этой связи актуальной становится оценка влияния характеристик пассажиропотоков на эффективность суточных планов интервалов движения городского

пассажирского транспорта. Цель работы состоит в удовлетворении сложившегося спроса населения на перевозки посредством выполнения минимально необходимой транспортной работы автобусами по городским регулярным маршрутам.

В данной области знаний проведено достаточное количество научных исследований, направленных на изучение основных показателей процесса перевозок, в том числе интервалов движения автобусов, которые для дальнейшего использования объединяют в периоды суток [2, 3].

В работе [2] проведен анализ существующих методик определения необходимого количества автобусов и интервалов движения городских регулярных маршрутов. Автор выделяет необходимость скорректированной методики, позволяющей рассчитать количество автобусов разных классов для одного городского маршрута.

В работе [4] представлен метод графоаналитического анализа определения фактического количества автобусов на городском маршруте и распределение их по сменности. Автором учитывается распределение числа машин по периодам суток и их минимальное количество, которое необходимо иметь на маршруте, исходя из максимально допустимого интервала движения в часы спада пассажиропотока с учетом коэффициента дефицита автобусов.

В трудах [5, 6] рассматривается методика определения оптимально-

го интервала движения маршрутных транспортных средств, базирующаяся на минимизации суммы затрат перевозчика и стоимости потерь времени пассажиров.

В исследовании [6] предложена модель определения оптимального интервала движения автотранспортных средств по маршрутам регулярных перевозок, исходя из минимизации суммарных общественных затрат, приходящихся на одного пассажира.

Вопросы определения динамического коэффициента использования вместимости автобусов находятся в центре внимания работ [7, 8]. В них рассмотрена задача определения нормативного значения коэффициента использования вместимости подвижного состава, обслуживающего регулярные маршруты, влияние на рассматриваемый показатель других параметров. Данный показатель, по мнению автора, непосредственно влияет на экономическую эффективность транспортной организации.

Зарубежный опыт отображен в работах [9–11]. В них рассматриваются модели, включающие в себя этапы планирования и установки интервалов движения, в которых могут быть заданы минимальный и/или максимальный интервалы движения транспортных средств. Данные этапы, по оценке авторов, в значительной мере определяют обслуживание пассажиров и эксплуатационные расходы.

В настоящей работе применены общенаучные методы: анализ, синтез, математическая статистика, функциональный анализ. Применены положения теории транспортных процессов, использованы общедоступные программные продукты. Рассматриваются три методики определения плана интервалов и количества автобусов на маршруте:

- исходя из суммарного часового пассажиропотока;
- с учетом максимального пассажиропотока в одном из наиболее загруженных направлений;
- с использованием показателя средней дальности поездки и часового коэффициента неравномерности пассажиропотоков.

Важным технологическим показателем городских пассажирских перевозок является интервал движения I , который зависит от пассажиропотока и заданной пассажировместимости транспортных средств. Для определения интервалов движения по методикам 1 и 2 применяя формулы:

$$I_i = \frac{q60}{Q_{\text{чи}}};$$

$$I_i = \frac{q60}{Q_{\text{max } i}},$$

где I_i — интервал движения по i -му часу, мин;

q — пассажировместимость транспортного средства, пас.;

$Q_{\text{чи}}$ — суммарный часовой пассажиропоток по i -му часу, пас.;

Q_{max} — максимальный часовой пассажиропоток в одном из наиболее загруженных направлений по i -му часу, пас.

В случае, если известна средняя дальность поездки пассажиров, интервал движения можно рассчитать, используя методику 3:

$$I_i = \frac{qv_{\text{э}}t_{\text{об}}60\gamma_{\text{дi}}}{Q_i l_{\text{en}}^{\text{cp}} \eta_{\text{н}}},$$

где $v_{\text{э}}$ — эксплуатационная скорость транспортного средства на маршруте, км/ч;

$\gamma_{\text{дi}}$ — динамический коэффициент использования вместимости (при расчете интервалов принимается);

$\eta_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности пассажиропотоков;

$l_{\text{en}}^{\text{cp}}$ — средняя дальность поездки пассажиров, км.

Коэффициент неравномерности пассажиропотоков:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{max } i}}{Q_{\text{срi}}},$$

где $Q_{\text{срi}}$ — средний часовой пассажиропоток по i -му часу, пас.

Количество транспортных средств при известном интервале движения определяется по формуле

$$A_{\text{mi}} = \frac{t_{\text{об}}60}{I_i},$$

где I_i — интервал движения по i -му часу, мин;

$t_{\text{об}}$ — время оборота на маршруте, ч.

С учетом требований нормативов качества обслуживания рассчитанный интервал I_i движения может быть изменен организатором перевозок, т. е. подвергнут корректировке. В этом случае значения интервалов корректируют и, в соответствии с ними, пересчитывают показатели перевозок. Тогда максимальное и минимальное количество автобусов на маршруте определяют по зависимостям:

$$A_{\text{max}} = \frac{t_{\text{об}}60}{I_{\text{min}}};$$

$$A_{\text{min}} = \frac{t_{\text{об}}60}{I_{\text{max}}},$$

где I_{max} и I_{min} — максимальное и минимальное значение интервалов движения в различные периоды суток, мин.

Объединение количества автобусов по периодам суток вызывает увеличение количества используемых машин $A_{\text{кор}}$ в каждом часе, значение которого состоит из двух слагаемых. Первое — количество автобусов $A_{\text{расч}}$, определенное, исходя из результатов расчета в соответствии с определенным пассажиропотоком. Второе — количество автобусов $A_{\text{доп}}$, дополняющее $A_{\text{расч}}$ для обеспечения постоянного значения показателя $A_{\text{кор}}$ в пределах периода суток. В каждом часе расчетные значения количества автобусов $A_{\text{расч}}$ разные, поэтому для обеспечения постоянства показателя $A_{\text{кор}}$ количество дополнительных автобусов $A_{\text{доп}}$ в час также отличается:

$$A_{\text{доп}} = A_{\text{кор}} - A_{\text{расч}} = \Delta A.$$

Суммирование значений $A_{\text{доп}}$ на протяжении суток позволит определить условную величину количества привлеченных дополнительных автобусов $A_{\text{доп}}$ за сутки. Процесс перевозок организован эффективно при условии, заданном целевой функцией:

$$\sum \Delta A \rightarrow \min.$$

На целевую функцию необходимо наложить ограничения по условию удовлетворения транспортного спроса, которое может быть сформулировано в виде динамического коэффициента γ_i использования вместимости транспортного средства в каждом часе суток, значение которого не может превышать нормативное $\gamma_{\text{норм}}$ значение, установленное стандартом качества перевозок.

С учетом ограничений выражение преобразовано в критерий для объединения технологических показателей процесса перевозок пассажиров в периоды суток.

$$\begin{cases} \sum \Delta A_i = \min \\ \gamma_i \leq 1 \end{cases}.$$

Динамический коэффициент использования вместимости определяют по формуле

$$\gamma_i = \frac{\sum Q_j l_j t_o}{q l_o A_{\text{м}} T_i},$$

где Q_j — количество пассажиров, перевезенных на расстояние l_j , пас;

l_j — расстояние поездки пассажира, км;

l_o — протяженность оборота маршрута, км;

T_i — рассматриваемый период (1 ч), ч;

t_o — время оборота на маршруте, ч.

Таблица 1. Результаты расчетов показателей транспортного процесса

Часы суток	Q прямое направление, пас.	Q обратное направление, пас.	Метод 1					Метод 2					Метод 3				
			I _{расч} , мин	A _{расч} , ед.	I _{корр} , мин	A _{корр} , ед.	γ	I _{расч} , мин	A _{расч} , ед.	I _{корр} , мин	A _{корр} , ед.	γ	I _{расч} , мин	A _{расч} , ед.	I _{корр} , мин	A _{корр} , ед.	γ
6:00–7:00	76	90	6	15	5	18	0,36	12	8	5	18	0,36	38	3	20	5	0,44
7:00–8:00	225	208	2	45	2	45	0,37	5	18	5	18	0,95	16	6	15	6	0,95
8:00–9:00	218	184	2	45	2	45	0,35	5	18	5	18	0,88	16	6	15	6	0,88
9:00–10:00	192	198	2	45	2	45	0,34	5	18	5	18	0,86	18	5	15	6	0,86
10:00–11:00	189	201	2	45	2	45	0,34	5	18	5	18	0,86	18	5	15	6	0,86
11:00–12:00	100	115	5	18	5	18	0,47	9	10	5	18	0,47	30	3	20	5	0,57
12:00–13:00	92	121	5	18	5	18	0,46	9	10	5	18	0,47	29	4	20	5	0,56
13:00–14:00	111	71	6	15	5	18	0,39	10	9	5	18	0,40	31	3	20	5	0,48
14:00–15:00	102	75	6	15	5	18	0,38	11	9	5	18	0,39	34	3	20	5	0,47
15:00–16:00	265	200	2	45	2	45	0,40	4	23	3	30	0,61	13	7	12	8	0,76
16:00–17:00	288	192	2	45	2	45	0,42	3	30	3	30	0,63	12	8	12	8	0,79
17:00–18:00	250	246	2	45	2	45	0,43	4	23	3	30	0,65	14	7	12	8	0,82
18:00–19:00	278	201	2	45	2	45	0,42	4	23	3	30	0,63	13	7	12	8	0,79
19:00–20:00	152	214	3	30	2	45	0,32	5	18	5	18	0,80	16	6	15	6	0,80
20:00–21:00	89	80	6	15	5	18	0,37	12	8	5	18	0,37	39	3	20	5	0,44
21:00–22:00	42	38	14	7	5	18	0,17	27	4	20	5	0,63	82	2	20	5	0,21
22:00–23:00	29	27	20	5	20	5	0,44	39	3	20	5	0,44	118	1	20	5	0,15
23:00–24:00	3	4	162	1	20	5	0,05	285	1	20	5	0,06	855	1	20	5	0,02
Итого	2701	2465	Итого				0,36	Итого				0,58	Итого				0,60

Таблица 2. Оценка эффективности применения суточных планов интервалов

Показатель	Метод 1	Метод 2	Метод 3
Общий пробег в будние дни $I_{бд}$, км	3097380	1904760	613470
Общий пробег в субботные дни $L_{сб}$, км	465036	223080	102960
Общий пробег в воскресные дни $L_{вс}$, км	465036	223080	102960
Общее количество автомобиле-часов в будние дни $AЧ_{общ,бд}$, ед.-ч	140660	86580	27820
Общее количество автомобиле-часов в субботные дни $AЧ_{общ,сб}$, ед.-ч	21112	10140	4680
Общее количество автомобиле-часов в воскресные дни $AЧ_{общ,вс}$, ед.-ч	21112	10140	4680
Общий годовой пробег, км	4027452	2350920	819390
Общее годовое количество автомобиле-часов в $AЧ_{общ}$, ед.-ч	182884	106860	37180
Себестоимость 1 км пробега по маршруту, руб.	53,39	56,56	57,05
Общие годовые затраты, руб.	215033554,8	132960136,7	46744460,66
Годовой доход от перевозки пассажиров, руб.	56499456	56499456	56499456
Эффективность использования, руб.	-158534098,8	-76460680,73	9754995,335

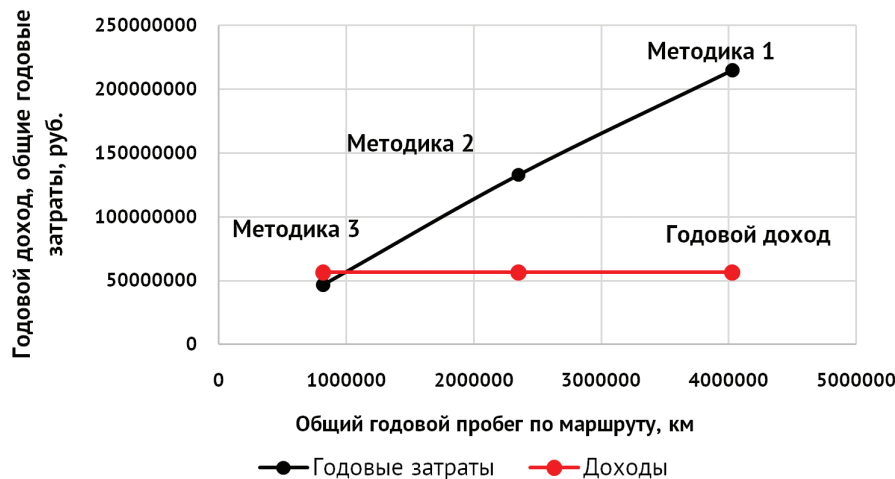
С учетом критерия разработаны правила корректировки интервалов движения по периодам суток с использованием метода перебора. Принцип назначения скорректированного интервала движения:

$$\begin{aligned}
 &\text{Если } I_{расчij} \geq I_{\max}, \text{ тогда } I_{коррj} = I_{\max}. \\
 &I_{\text{меж.пикij}} \leq I_{расчij} < I_{\max} \text{ тогда } I_{коррj} = I_{\text{меж.пикij}}. \\
 &\text{Если } I_{\text{меж.пикij}} > I_{расчij} \text{ тогда } I_{коррj} = I_{\min}. \\
 &\text{Если } I_{расчij} > I_{\min}, \text{ тогда } I_{коррj} = I_{\min}.
 \end{aligned}$$

Поскольку имеется несколько вариантов определения интервалов движения по маршруту и количества транспортных средств, то необходимо провести технико-экономическую оценку транспортного процесса по разработанным суточным планам интервалов движения с использованием положений, отраженных в распоряжении Минтранса России от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р «О введении в действие методических рекомендаций по расчету

экономически обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования». Оценки эффективности применения суточных планов интервалов движения городского пассажирского транспорта по регулярным маршрутам:

$$Z_{\text{год}} - D_{\text{год}} = \Delta_i,$$



Оценка эффективности применения суточных планов интервалов

где $Z_{\text{год}}$ — общие годовые затраты, руб.;

$D_{\text{год}}$ — годовой доход от перевозки пассажиров, руб.;

Ξ_i — эффективность применения суточных планов интервалов движения городского пассажирского транспорта по регулярным маршрутам, руб.

Расчеты выполнены на примере одного из существующих регулярных маршрутов. Параметры маршрута, принятые для расчета: время оборота 1,5 ч, расстояние поездки пассажира, используемое в методике 3, равно 5,5 км, наибольший интервал движения принят 20 мин, минимальный интервал для каждого метода рассчитан индивидуально. Транспортные средства, принятые для расчетов: ГАЗель City, номинальная пассажироместимость — 19 пас. Результаты расчетов суточного плана интервалов будних дней представлены в табл. 1.

Разработанные суточные планы интервалов в будние дни соответствуют установленным ограничениям по динамическому коэффициенту использования вместимости. Аналогичным образом рассчитываются субботние и воскресные дни. По полученным данным суточных планов интервалов в будние и выходные дни определяется эффективность использования подвижного состава. (табл. 2, рисунок).

Таким образом, разработана методика оценки эффективности применения суточных планов интервалов движения автотранспортных средств по городским регулярным маршрутам с учетом методик определения интервалов движения при удовлетворении спроса на перемещение пассажиров посредством выполнения минималь-

но необходимой транспортной работы. Теоретическим базисом для такой организации перевозок стал суточный план интервалов движения. Анализ трех методик определения интервалов движения свидетельствует о том, что на суточный план влияют характеристики пассажиропотоков на маршрутах: суммарный часовой пассажиропоток; наибольший пассажиропоток в одном из наиболее загруженных направлений; пассажиропоток с использованием показателя средней дальности поездки пассажиров и часового коэффициента неравномерности.

В зависимости от использования показателей пассажиропотоков эффективность перевозок пассажиров значительно изменяется. Наибольшая эффективность транспортного процесса может быть достигнута при определении интервалов движения с использованием показателя средней дальности поездки пассажиров и часового коэффициента неравномерности, позволяющая обеспечить безубыточный процесс перевозок. Эти результаты являются новыми.

Полученный результат вносит заметный вклад в развитие технологии транспортных процессов в части оценки влияния интервалов движения автобусов на эффективность перевозок. Практическая значимость работы состоит в возможности оценки эффективности применения разработанных суточных планов интервалов движения автотранспортных средств по городским регулярным маршрутам с учетом методов определения интервалов движения при удовлетворении спроса на перемещение пассажиров.

Источники

- Любимов И. И., Якунин Н. Н., Якунина Н. В. Анализ моделей взаимодействия субъектов пассажирских автомобильных перевозок // Вестник СибАД И. 2022. № 6. С. 878–889.
- Яценко С. А. Анализ методик расчета потребности автобусов для городских маршрутов // Вестник ИрГТУ. 2016. № 5(112). С. 193–202.
- Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам: монография. Оренбург: Университет, 2015. 262 с.
- Рябов И. М., Кашманов Р. Я. Совершенствование организации обслуживания пассажиров на маршруте путем использования автобусов разной вместимости // Вестник СибАД И. 2019. № 16(3). С. 264–275.
- Аземша С. А., Старовойтов А. Н., Скирковский С. В. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2013. № 2 (27). С. 52–57.
- Якунин Н. Н., Паршакова К. А., Якунина Н. В. Моделирование оптимального интервала движения пассажирских автотранспортных средств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2018. № 3. С. 84–89.
- Фадеев А. И., Ковалев В. А., Фомин Е. В. Нормирование параметров системы пассажирского транспорта общего пользования // Вестник ИрГТУ. 2014. № 12(95). С. 179–183.
- Фадеев А. И., Фомин Е. В., Алхусейни С. Определение предельно допустимого коэффициента использования вместимости городского пассажирского транспорта // Вестник СибАД И. 2019. Т. 16. № 3. С. 290–301.
- López-Ramos F. Integrating network design and frequency setting in public transportation networks: a survey // SORT. 2014. Vol. 38. Iss. 2. Pp. 181–214.
- Van Nes R., Hamerslag R., Immers B. H. Design of public transport networks // Transportation Research Record. 1988. Pp. 74–83.
- Noor M. A., Shaymaa F. B. Study the characteristics of public bus routes in al kut city // Journal of Engineering and Sustainable Development. 2021. № 25(Special). Pp. 186–194.