

УДК 656.025.2

**С.В. Скирко** старший преподаватель кафедры организации дорожного движения, Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»  
e-mail: Sergej-ski3359@yandex.ru

**В.Н. Седюкевич**, исполняющий обязанности заведующего кафедрой организации перевозок и дорожного движения, Белорусский национальный технический университет (БНТУ)  
e-mail: Sedziukevich@tut.by

**П.А. Пегин**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПб ГАСУ)  
e-mail: ppravel.khv@gmail.com

### МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПассажиРОВ ГОРОДСКИМ МАРШРУТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ

*Актуальность исследуемой проблемы обусловлена социальной значимостью городских пассажирских перевозок, необходимостью, с одной стороны, повысить самоокупаемость и соответственно сократить размеры субсидий на городские перевозки пассажиров, а с другой стороны, требований повышения качества обслуживания пассажиров.*

*Цель статьи заключается в обосновании и разработке методов управления, направленных на повышение самоокупаемости и качества перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом на основе оптимизации вместимости и распределения транспортных средств по маршрутам на основе минимизации удельных затрат, вызванных неоптимальным их использованием.*

*Ведущим методом в исследовании данной проблемы является математическое моделирование процессов перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом, позволяющее выявить резервы сокращения затрат на организацию и выполнение перевозок и повышения качества предоставляемых услуг.*

*На основе ранее проведенных исследований получена зависимость для определения оптимального значения пассажироместимости единицы пассажирского транспортного средства  $q_{opt}$  с учетом суточной изменчивости пассажиропотока. Исходя из критерия минимума потерь, вызванных работой на маршрутах ТС неоптимальной вместимости для конкретного периода времени (час, смена, день), на маршруте предложена методика определения оптимального типоразмера и марки ТС для работы на маршрутах и формирования на их основе оптимальной структуры парка транспортных средств транспортного предприятия. Методика также позволяет выполнить распределение парка технически исправных ТС, имеющихся у перевозчика для работы на маршрутах, обеспечивающих минимальные потери из-за неоптимального их количества и структуры.*

*Материалы статьи могут быть полезны для решения многих задач по организации и управлению городскими перевозками пассажиров маршрутизированным транспортом, их использование в практической деятельности позволяет получать оптимальные значения пассажироместимости, необходимого количества по маркам и моделям транспортных средств, а также интервалов их движения на маршрутах.*

**Ключевые слова:** оптимальная вместимость транспортных средств, эффективность перевозок пассажиров, коэффициент наполняемости, потери времени пассажиров, распределение парка транспортных средств.

#### Введение

Вопросами эффективности работы пассажирского городского транспорта в разное время занимались Гудков В.А. и другие [3, 5], Аррак А.О. [2], Власов Ю.Л. [4], Липенков А.В. [8], Кравченко Е.Е. [7], Рассоха В.И. [10], Славина Ю.А. [16], Хайнц В. [18], Якунин Н.Н. [17] и другие. Анализ публикаций позволил сделать вывод о том, что эффективность процесса перевозки пассажиров следует оценивать в экономическом и социальном аспектах и их согласовании. Факторы экономической и социальной эффективности изменяются различными

темпами и зачастую в различном направлении, иначе говоря, эффективные решения в экономическом смысле могут отрицательно сказаться на социальных аспектах, а именно повышении транспортной усталости, снижении качества перевозок.

Перед предприятиями, осуществляющими городские пассажирские перевозки, всегда встает задача оптимизации перевозочной деятельности, чтобы спрос на перевозки совпадал с предложением при минимальных транспортных издержках. Достичь такого равновесия практически невозможно. На сегодняшний день реально только при помощи

комплексного решения задач по оптимизации процессов перевозки и управления производством приблизится к этому состоянию [14, 16].

Повысить эффективность работы городской пассажирской транспортной системы можно путем оптимизации отдельных параметров ее функционирования, особенно в периоды спада пассажиропотоков [9, 15]. Таким образом, разработка методики повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом, основанной на математической модели функционирования системы городского пассажирского маршрутизированного транспорта, ее исследовании и оптимизации параметров, является актуальной.

**Постановка задачи.** На основе анализа взаимосвязи управляемых и неуправляемых факторов и их влияния на систему городских пассажирских перевозок определены выходные параметры, необходимые для оценки их влияния на критерий эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом.

Исходя из критерия оптимальности  $Z_n$ , выраженного в минимизации суммы затрат  $S_n$ , возникающих при выполнении перевозок, и потерь пассажиров  $P_n$  от ожидания транспортных средств на остановочных пунктах за определенный период времени, получена зависимость для определения оптимального значения пассажироместности единицы пассажирского транспортного средства  $q_{\text{опт}}$  с учетом суточной изменчивости пассажиропотока  $Q_{\text{пч}}$  [11]. С целью обеспечения более высокого уровня качества обслуживания пассажиров, минимизации потерь, вызванных работой парка пассажирских транспортных средств неоптимальной структуры, разработана методика оптимального распределения по маршрутам [7–12]. Установлена зависимость, позволяющая принять решение об организации работы транспортных средств на маршруте по интервалу или расписанию, позволяющая повысить эффективность работы пассажирской транспортной системы в межпиковый период за счет сокращения времени ожидания посадки в транспортное средство путем перехода от интервальной работы в часы «пик» на работу по расписанию в моменты спада пассажиропотока [12, 1].

Ставится задача разработать методику повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом, основанную на математической модели работы системы городского пассажирского автомобильного транспорта, ее исследовании и оптимизации параметров функционирования в выполненных ранее работах [3–14].

Предложенная методика может быть применена в следующих случаях:

1) оптимизация работы пассажирских транспортных средств на существующих маршрутах; 2) организация работы пассажирских транспортных

средств на маршрутах в случае изменения маршрутной сети города, изменения величины пассажиропотоков, перераспределения их по маршрутам, времени, направлениям и участкам; 3) определение рациональной структуры парка транспортных средств для перевозки пассажиров на городских маршрутах.

Практическое применение методики осуществляется путем последовательной реализации процедур, показанных на рисунке 1.

Источником исходных данных являются результаты обследований маршрутной сети и статистическая отчетность пассажирских транспортных предприятий (таблица 1).

По методике, описанной в работах [3] и [5], получены данные о пассажирообмене на остановочных пунктах маршрутной сети города Гомеля, обработка которых позволила получить сведения о величине общечасовых объемов перевозок и основных показателях работы транспортных средств на маршрутах (таблица 2). По данным работы перевозчика (по состоянию на январь 2016 года) корреляционно-регрессионным анализом устанавливаются значения параметров зависимости затрат на 1 км пробега  $акм1$  и 1 ч работы  $ач1$  транспортных средств:  $акм1 = 2578,3$ ;  $ач1 = 81517$ . Значение  $C_{\text{пч}}$  принимается на основе часовой минимальной заработной платы, установленной в Республике Беларусь, в размере 12800 руб./ч [3]. При этом можно принять, что 50 % поездок являются производственными [5]. Тогда  $C_{\text{пч}} = 12800 * 50 / 100 = 6400$  руб.

Если расписание движения ТС на маршруте доводится до пассажиров, время ожидания посадки в транспортное средство составляет в среднем  $t_{\text{ож.р}} 5,2$  мин. [1, 2, 14], иначе определяется как половина интервала движения транспортных средств на маршруте [1, 12, 14].

$$t_{\text{ож.и}} = I / 2. \quad (1)$$

Длина оборота транспортных средств на маршруте  $l_0$  и длительность периода оборота на маршруте  $t_0$  принимается на основании плана-заказа на выполнение транспортной работы по перевозке пассажиров в будние и выходные дни. Коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока  $k_{\text{вн}}$  определяется по данным исследования маршрутной сети, при отсутствии данных принимается равный 1,25 [14]. Коэффициент сменности пассажиров за один рейс пассажирского транспортного средства на маршруте  $\eta_{\text{см}}$  определяется по формуле

$$\eta_{\text{см}} = l_{\text{м}} / l_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $l_{\text{ср}}$  – среднее расстояние поездки пассажира;  $l_{\text{м}}$  – длина маршрута, км.

После формирования массива исходных данных производится расчет значения оптимальной пассажироместности транспортного средства, определяется по формулам:

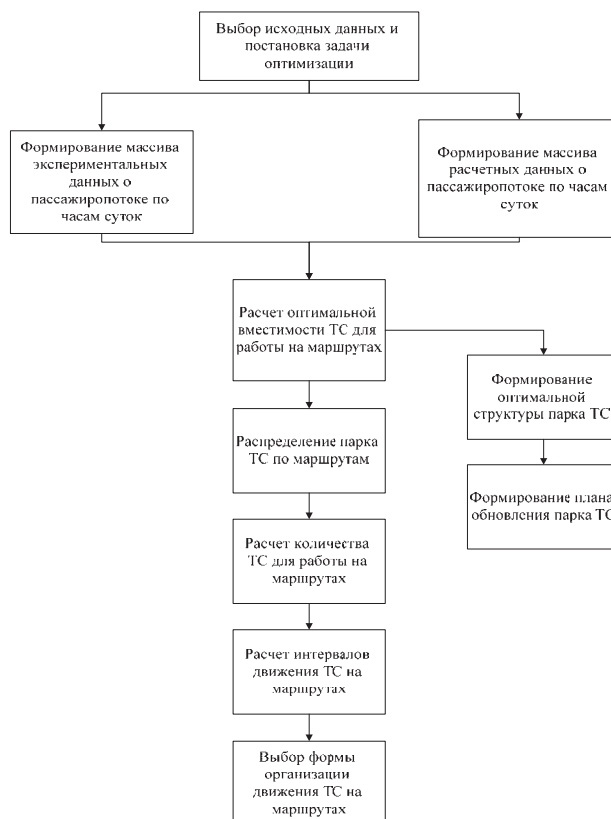


Рисунок 1. Алгоритм реализации разработанной методики

в случае если известно значение максимального часового пассажиропотока по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении  $Q_{пч}$ :

$$q_{опт} = \sqrt{\frac{Q_{пч} \cdot k_{нер} \cdot (l_o a_{км1} + a_{ч1} t_o)}{C_{пч} \cdot \eta_{см}}}; \quad (3);$$

если известно значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте  $Q_{общ.ч}$ :

$$q_{опт} = \frac{k_{нер}}{\eta_{см}} \sqrt{\frac{Q_{общ.ч} K_{ин} \cdot (l_o a_{км1} + a_{ч1} t_o)}{2C_{пч}}}. \quad (4).$$

Пример расчета оптимальной пассажироемкости транспортных средств для работы на маршрутах с учетом изменчивости пассажиропотока по часам суток при известном значении общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте  $Q_{общ.ч}$  представлен ниже (таблицы 1–3).

Данные о величине часовых пассажиропотоков на маршрутах приведены в таблице 2.

Полученные значения оптимальной вместимости (таблица 3) являются исходными данными для формирования оптимальной структуры парка пас-

Таблица 1. Исходные данные для расчета оптимальной вместимости

| Маршрут | $l_o$ , км | $l_{ср}$ , км | $\eta_{см}$ | $k_{нер}$ | $K_{ин}$ | $t_o$ , ч |
|---------|------------|---------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 1       | 14,6       | 3,51          | 2,08        | 1,89      | 1,25     | 1,15      |
| 4       | 21,2       | 5,69          | 1,86        | 1,51      | 1,25     | 1,37      |
| 5       | 23,6       | 3,23          | 3,65        | 1,69      | 1,25     | 1,47      |
| 12      | 32,2       | 3,73          | 4,32        | 1,40      | 1,25     | 2,06      |
| 16      | 24,2       | 3,96          | 3,06        | 1,90      | 1,25     | 1,65      |
| 25      | 25         | 4,27          | 2,93        | 1,76      | 1,25     | 1,65      |

Таблица 2. Величина часовых пассажиропотоков на маршрутах

| Время суток | Величина пассажиропотока $Q_{общ.ч}$ , пасс/ч на маршрутах |      |      |      |      |      |
|-------------|--|------|------|------|------|------|
|             | 1  | 4    | 5    | 12   | 16   | 25   |
| 7-8         | 2540   | 1600 | 1598 | 1729 | 2517 | 1920 |

сажирского транспортного предприятия или оптимального распределения имеющегося парка ТС по маршрутам.

Определение оптимального типоразмера и марки ТС для работы на маршрутах. Критерием оптимизации в данном случае выступает минимум

Таблица 3. Оптимальная вместимость ТС для работы на маршрутах по периодам суток

| Время суток | Оптимальная вместимость ТС по маршрутам |     |    |    |     |     |
|-------------|---|-----|----|----|-----|-----|
|             | 1                                       | 4   | 5  | 12 | 16  | 25  |
| 7-8         | 165                                     | 132 | 78 | 67 | 137 | 117 |

потерь, вызванных работой на маршрутах ТС неоптимальной вместимости для конкретного периода времени (час, смена, день) на маршруте по методике, разработанной в работе [11] за счет применения транспортных средств пассажировместимости близкой к оптимальной.

Задача ставится в следующем виде:

1) имеются ресурсы к распределению в виде общей пассажировместимости  $Q_{общ}$  различных  $i$ -х типоразмеров общим числом  $m$  ( $i = \overline{1, m}$ ). Значение  $Q_{общ}$  определяются как произведение числа списочных транспортных средств  $i$ -х типоразмера на соответствующую пассажировместимость одного ТС;

2) имеется потребность в ресурсах на  $j$ -х маршрутах в виде оптимальной пассажировместимости транспортных средств  $q_{оптj}$  ( $j = \overline{1, m}$ ) для работы на маршрутах. Общее число маршрутов  $n$ ;

3) В качестве стоимости  $C_{kj}$  ( $k = \overline{1, r}; j = \overline{1, n}$ ) для решения задачи устанавливается удельное значение затрат, определенных на основе целевой функции [11, 15] в части, зависимой от пассажировместимости транспортного средства, в отношении к требуемой на маршруте пассажировместимости  $Q_{оптj}$ .

Целевая функция для оптимизации имеет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n (Q_{амikj} C_{kj}) \rightarrow \min \quad (5),$$

где  $Q_{амikj}$  – общая вместимость ТС  $k$ -го типоразмера на  $j$ -м маршруте в  $i$ -й час суток;

$C_{kj}$  – удельные затраты при работе ТС  $k$ -й вместимости на  $j$ -м маршруте в  $i$ -й час суток.

Поскольку значение  $Q_{амik}$  изменяется в течение суток, целесообразно в качестве расчетного периода

для оптимизации принять период изменения требуемой пассажировместимости, то есть один 1 час. С учетом последнего, решение должно приниматься по минимуму значения целевой функции

$$Z = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n (Q_{амikj} C_{kj}) \rightarrow \min \quad (6),$$

где  $Q_{амikj}$  – общая вместимость ТС  $k$ -го типоразмера на  $j$ -м маршруте;

$C_{kj}$  – удельные затраты при работе ТС  $k$ -й вместимости на  $j$ -м маршруте.

При этом необходимо учитывать, что количество ТС  $k$ -й вместимости работающих на  $j$ -м маршруте в  $i$ -й час суток ( $A_{ikj}$ ) не должно превышать число технически исправных ТС  $k$ -й вместимости, имеющих в распоряжении транспортного предприятия

$$\sum_{j=1}^n A_{ikj} \leq \alpha_r \sum_{k=1}^r A_k \quad (7),$$

где  $A_k$  – число транспортных средств  $k$ -й вместимости;

$A_{ikj}$  – количество ТС  $k$ -й вместимости работающих на  $j$ -м маршруте в  $i$ -й час суток;

$\alpha_r$  – коэффициент технической готовности.

Вместимость ТС  $i$ -х типоразмеров, назначаемых на  $j$ -й маршрут, определяется в соответствии с оптимальным значением  $q_{оптj}$  с учетом целочисленности работающих на маршруте ТС и их общего числа по маркам и моделям.

Для решения задачи определения оптимального типоразмера и марки ТС для работы на маршруте их число принимается на основании данных перевозчика о количестве списочного количества ТС по маркам и моделям (таблица 4).

Таблица 4. Характеристика парка ТС для работы на маршрутах

| Марка ТС | Количество ТС | Вместимость одного ТС | Общая вместимость ТС |
|----------|---------------|-----------------------|----------------------|
| МАЗ-103  | 12            | 90                    | 1080                 |
| МАЗ-105  | 25            | 175                   | 4375                 |
| АО-9212  | 5             | 45                    | 225                  |
| МАЗ-206  | 13            | 72                    | 936                  |
| МАЗ-107  | 25            | 145                   | 3190                 |

Для решения задачи производится расчет стоимостей  $C_{kj}$ , определенных на основе целевой функции по следующей формуле (таблица 5).

$$C_{kj} = \frac{l_{oj}}{t_{oj}} \left( \frac{a_{км1k}}{q_k} + \frac{C_{пч} q_k \eta_{см}}{2 k_{внj} k_{нерj} l_{пнj} Q_{общ,ч}} \right) \quad (8),$$

где  $Q_{общ,ч}$  – общий часовый объем перевозок пассажиров на маршруте, пасс/ч;

$a_{км1k}$  – параметры зависимости затрат на 1 км пробега ТС  $k$ -го типоразмера, руб/км;

$q_k$  – вместимость ТС  $k$ -го типоразмера, пасс;

$C_{пч}$  – стоимость потерь пассажира за 1 ч ожида-

ния транспорта, руб./ч;

$l_{oj}$  – длина оборота транспортных средств на  $j$ -том маршруте, км;

$t_{oj}$  – длительность периода оборота на  $j$ -том маршруте, ч;

$l_{пнj}$  – среднее расстояние поездки пассажира на  $j$ -том маршрутах, км,;

$k_{нерj}$  – коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам  $j$ -того маршрута за оборот пассажирского транспортного средства;

$k_{внj}$  – коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока.

## ТРАНСПОРТ

Таблица 5. Расчет стоимостей  $C_{kj}$  в период времени с 7:00 до 8:00

| Номер маршрута $j$ | Часовой пассажиропоток $Q_{общ\ j}$ , пасс/ч | Длина оборота $l_{oj}$ , км | Время оборота $l_{oj}$ , мин | Коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам маршрута за оборот $k_{нер}$ | Среднее расстояние поездки пассажиров $l_{п\ j}$ , км | Пассажировместимость транспортного средства, пасс | Стоимость $C_{kj}$ , руб/пасс-ч |
|--------------------|--|-----------------------------|------------------------------|--|---|---|---------------------------------|
| 1                  | 2540   | 14,6                        | 58                           | 1,89   | 3,51  | 45  | 948                             |
| 4                  | 1600   | 21,2                        | 70                           | 1,51   | 5,69  | 45  | 1163                            |
| 5                  | 1598   | 23,6                        | 78                           | 1,69   | 3,23  | 45  | 1232                            |
| 12                 | 1729   | 32,2                        | 115                          | 1,4  | 3,73  | 45  | 1135                            |
| 16                 | 2517   | 24,2                        | 88                           | 1,9  | 3,96  | 45  | 1026                            |
| 25                 | 1920   | 25                          | 88                           | 1,76   | 4,27  | 45  | 1086                            |

Используя результаты расчетов стоимостей (таблица 5) и оптимальной пассажировместимости транспортных средств (таблицы 3), составим таблицу исходных данных для решения задачи определения оптимального типоразмера и марки ТС (таблица 6).

Таблица 6. Исходная таблица для определения оптимального типоразмера и марки ТС по маршрутам в период времени с 7:00 до 8:00 часов

| Номер маршрута $j$                | Оптимальная вместимость транспортных средств, пасс | Распределение общей пассажировместимости ТС $Q_{вм\ j}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пасс |              |              |               |               |
|-----------------------------------|--|--|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                   |  | АО-9212 (45)   | МАЗ-206 (72) | МАЗ-103 (90) | МАЗ-107 (145) | МАЗ-105 (175) |
| 1                                 | 165  | 948  | 674          | 598          | 535           | 544           |
| 4                                 | 132  | 1163   | 846          | 765          | 716           | 742           |
| 5                                 | 78   | 1232   | 957          | 904          | 941           | 1014          |
| 12                                | 67   | 1135   | 876          | 825          | 852           | 915           |
| 16                                | 137  | 1026   | 720          | 634          | 553           | 556           |
| 25                                | 117  | 1086   | 785          | 707          | 654           | 675           |
| Общая вместимость (количество) ТС |  | 225(5)   | 936(13)      | 1080(12)     | 3190(25)      | 4375(25)      |

Пример определения оптимального типоразмера и марки ТС в будний день по предложенным маршрутам перевозок пассажиров для периода времени с 7-00 до 8-00 часов на основе решения транспортной задачи линейного программирования приведен в таблице 7.

Исходя из распределения общей пассажировместимости транспортных средств по маршрутам, для периода времени принимаются следующие значения необходимой пассажировместимости ТС в период времени с 7-00 до 8-00 (таблица 8).

Таблица 7. Определение оптимального типоразмера и марки ТС по маршрутам для периода времени с 7-00 до 8-00 часов

| Номер маршрута $j$                | Оптимальная вместимость транспортных средств, пасс | Распределение общей пассажировместимости ТС $Q_{вм\ j}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пасс |              |              |               |               |
|-----------------------------------|--|--|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                   |  | АО-9212 (45)   | МАЗ-206 (72) | МАЗ-103 (90) | МАЗ-107 (145) | МАЗ-105 (175) |
| 1                                 | 165  |  |              |              |               | 175           |
| 4                                 | 132  |  |              |              | 145           |               |
| 5                                 | 78   |  |              | 90           |               |               |
| 12                                | 67   |  | 72           |              |               |               |
| 16                                | 137  |  |              |              | 145           |               |
| 25                                | 117  |  |              |              | 145           |               |
| Общая вместимость (количество) ТС |  | 225(5)   | 936(13)      | 1080(12)     | 3190(25)      | 4375(25)      |



Таблица 8. Необходимое распределение общей пассажироместимости ТС по маршрутам для периода времени с 7-00 до 8-00 часов

| Номер маршрута $j$ | Оптимальная вместимость транспортных средств, пасс | Распределение общей пассажироместимости ТС $Q_{вмij}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пасс |              |              |               |               | Необходимая пассажиро-вместимость, пасс | Средняя пассажиро-вместимость, $q_c$ |
|--------------------|--|--|--------------|--------------|---------------|---------------|---|--------------------------------------|
|                    |  | АО-9212 (45)   | МАЗ-206 (72) | МАЗ-103 (90) | МАЗ-107 (145) | МАЗ-105 (175) |   |                                      |
| 1                  | 165  |  |              |              |               | 175(1)        | 175                                     | 175                                  |
| 4                  | 132  |  |              |              | 145(1)        |               | 145                                     | 145                                  |
| 5                  | 78   |  |              | 90(1)        |               |               | 90                                      | 90                                   |
| 12                 | 67   |  | 72(1)        |              |               |               | 72                                      | 72                                   |
| 16                 | 137  |  |              |              | 145(1)        |               | 145                                     | 145                                  |
| 25                 | 117  |  |              |              | 145(1)        |               | 145                                     | 145                                  |
| Итого              |  |  |              |              |               |               |   |                                      |

Аналогично выполняется расчет для других периодов суток. Таким образом, получено значение необходимой пассажироместимости ТС  $q_{пр}$ , близкое к оптимальному по маршрутам для всех периодов времени, а также марка (модель) ТС.

Количество транспортных средств для работы на маршруте для конкретного периода времени в случае, когда известно значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте  $Q_{общ.ч}$ , определяется по формуле [7, 13]:

$$A = \frac{Q_{общ.ч} k_{пер} k_{от} t_o}{2q_{пр} \eta_{см}}, \quad (9)$$

или если известно значение максимального часового пассажиропотока по участкам маршрута

в наиболее напряженном направлении  $Q_{пч}$ , по следующей формуле [13, 14]:

$$A = \frac{Q_{пч} t_o}{q_{пр} \eta_{см}} \quad (10).$$

После определения количества транспортных средств для работы на маршрутах определяется интервал движения транспортных средств [1, 14].

$$I = \frac{t_o}{A} \quad (11).$$

Расчет количества транспортных средств необходимой пассажироместимости для работы на маршрутах и их интервалов движения в период времени с 7 до 8 часов, выполненный по формуле (9), приведен в таблице 9.

Таблица 9. Расчет количества транспортных средств необходимой пассажироместимости и их интервалов движения

| Номер маршрута $j$         | Часовой пассажиропоток $Q_{общ.ч}$ , пасс/ч | Марка, модель (количество типовых размеров) ТС | Средняя необходимая пассажироместимость, $q_c$ | Время оборота на маршруте | Количество ТС необходимой вместимости | Интервал движения транспортных средств, мин |
|----------------------------|---|--|--|---------------------------|---------------------------------------|---|
| Период времени (7-00–8-00) |   |  |  |                           |                                       |   |
| 1                          | 2540  | МАЗ-105, 175 (1);                              | 175  | 58                        | 10                                    | 6   |
| 4                          | 1600  | МАЗ-107 -145 (1);                              | 145  | 70                        | 8                                     | 9   |
| 5                          | 1598  | МАЗ-103 -90 (1);                               | 90   | 78                        | 8                                     | 10  |
| 12                         | 1729  | МАЗ-206 -72 (1);                               | 72   | 115                       | 11                                    | 10  |
| 16                         | 2517  | МАЗ-107 -145 (1);                              | 145  | 88                        | 12                                    | 7   |
| 25                         | 1920  | МАЗ-107 -145 (1);                              | 145  | 88                        | 9                                     | 10  |

Расчеты количества ТС необходимой пассажироместимости и их интервалов движения в остальные периоды суток выполняются аналогично.

Данные таблицы 9 служат основанием для формирования оптимальной структуры парка транспортных средств для освоения сложившегося пассажиропотока с учетом его изменения по часам суток или распределения технически исправных пассажирских транспортных средств из числа списочного парка, состоящих на балансе

транспортного предприятия, для работы на маршрутах.

Для распределения парка технически исправных ТС по маршрутам необходимо сформировать исходные данные на основании расчетов, выполненных ранее. Задача распределения ставится в следующем виде:

1) имеются ресурсы к распределению в виде пассажироместимости  $Q_{ai}$  различных  $i$ -х типоразмеров общим числом  $m$  ( $i = 1, m$ ). Значение  $Q_{ai}$  определяется как произведение числа технически исправных

транспортных средств  $i$ -х типоразмера на соответствующую пассажироместимость одного ТС;

2) имеется потребность в ресурсах на  $j$ -х маршрутах в виде необходимой пассажироместимости транспортных средств  $Q_{вмij}$  ( $j = \overline{1, m}$ ). Общее число маршрутов  $n$ . Значения  $Q_{вмij}$  определяются как произведение средней необходимой пассажироместимости  $q_c$  на количество ТС необходимой вместимости (таблица 9). Число ТС  $i$ -х типоразмеров, назначаемых на  $j$ -й маршрут, определяется в соответствии с оптимальным значением  $Q_{rij}$  с учетом целочисленности работающих на маршруте ТС и их общего числа по маркам и моделям.

Для работы на городских маршрутах распре-

деляются: 13 ТС марки МА3-206 с пассажироместимостью каждого 72 пасс (общая пассажироместимость 936 пасс); 12 ТС марки МА3-103 с пассажироместимостью каждого 90 пасс (общая пассажироместимость 1080 пасс); 25 ТС марки МА3-107 вместимостью каждого 145 пасс (общая пассажироместимость 3190 пасс); 25 ТС марки МА3-105 с пассажироместимостью каждого 175 пасс (общая пассажироместимость 4375 пасс). 5 ТС марки АО-9212 с вместимостью каждого 45 пасс (общая пассажироместимость 225 пасс).

Исходные данные для распределения ТС по маршрутам в период времени с 7 до 8 ч представлены в таблице 10.

Таблица 10. Исходные данные для распределения ТС по маршрутам в период времени с 7 до 8 ч

| Номер маршрута $j$ | Необходимая общая вместимость транспортных средств, пасс | Распределение необходимой пассажироместимости ТС $Q_{вмij}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пасс (единицах) |              |              |               |               | Необходимая вместимость, $q_{пр}$ пасс | Необходимое кол ТС, пасс |
|--------------------|--|---|--------------|--------------|---------------|---------------|--|--------------------------|
|                    |  | АО-9212 (45)  | МА3-206 (72) | МА3-103 (90) | МА3-107 (145) | МА3-105 (175) |  |                          |
| 1                  | 1750   | 948   | 674          | 598          | 535           | 544           | 175                                    | 10                       |
| 4                  | 1160   | 1163  | 846          | 765          | 716           | 742           | 145                                    | 8                        |
| 5                  | 720  | 1232  | 957          | 904          | 941           | 1014          | 90                                     | 8                        |
| 12                 | 792  | 1135  | 876          | 825          | 852           | 915           | 72                                     | 11                       |
| 16                 | 1740   | 1026  | 720          | 634          | 553           | 556           | 145                                    | 12                       |
| 25                 | 1305   | 1086  | 785          | 707          | 654           | 675           | 145                                    | 9                        |
| Итого              |  | 225   | 936          | 1080         | 3190          | 4375          |  |                          |

Такая постановка задачи распределения ТС по маршрутам является транспортной задачей линейного программирования. Задача решается

с применением одного из существующих алгоритмов [13]. Результат расчета представлен в таблице 11.

Таблица 11. Результат распределения ТС по маршрутам с 7 до 8 ч

| Номер маршрута $j$ | Необходимая общая вместимость транспортных средств, пасс | Распределение общей пассажироместимости автобусов $Q_{вмij}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пасс (единиц) |              |              |               |               | Принятое количество технически исправных ТС, ед |
|--------------------|--|--|--------------|--------------|---------------|---------------|---|
|                    |  | АО-9212 (45)   | МА3-206 (72) | МА3-103 (90) | МА3-107 (145) | МА3-105 (175) |   |
| 1                  | 1750   | 948  | 674          | 598          | 535 [2x145]   | 544 [9x175]   | 11  |
| 4                  | 1160   | 1163   | 846          | 765          | 716 [8x145]   | 742           | 8   |
| 5                  | 720  | 1232   | 957          | 904 [8x90]   | 941           | 1014          | 8   |
| 12                 | 792  | 1135   | 876          | 825 [4x90]   | 852 [3x145]   | 915           | 7   |
| 16                 | 1740   | 1026   | 720          | 634          | 553           | 556 [10x175]  | 10  |
| 25                 | 1305   | 1086   | 785          | 707          | 654 [9x145]   | 675           | 9   |
| Итого              |  | 225  | 936          | 1080         | 3190          | 4375          |   |

Далее на основании принятого количества ТС по формуле 4.3 рассчитываются интервалы движения ТС на маршрутах (таблица 12).

В зависимости от величины интервала принимается решение о выборе формы организации работы транспортных средств на маршрутах. Численное значение интервала, при котором целесообразно организовать работу по расписанию, определено на основе исследований, выполненных

ранее [14, 15, 16], и составляет 15 минут. В случае если расчетное значение интервала менее 15 минут, работа должна быть организована по интервалу, если более – по расписанию, доведенному до пассажира.

**Вывод.** Таким образом, разработанная методика применима для решения многих задач по организации и управлению городскими перевозками пассажиров маршрутизированным транспортом,

Таблица 12. Принятое количество ТС, вместимость, марка (модель) и их интервалы движения с 7 до 8 ч на маршрутах

| Номер маршрута $j$ | Часовой пассажиропоток $Q_{общ.ч}$ , пасс/ч | Марка модель (количество) ТС       | Средняя пассажироместимость, $q_c$ | Время оборота на маршруте | Принятое количество ТС | Принятый интервал движения транспортных средств, мин |
|--------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------|--|
| 1                  | 2540  | МАЗ-105-175 (2)<br>МАЗ-107-145 (9) | 175                                | 58                        | 11                     | 5  |
| 4                  | 1600  | МАЗ-107 -145 (8)                   | 145                                | 70                        | 8                      | 9  |
| 5                  | 1598  | МАЗ-103 -90 (8)                    | 90                                 | 78                        | 8                      | 10   |
| 12                 | 1729  | МАЗ-103 -72 (4)<br>МАЗ-107 -45 (3) | 72                                 | 115                       | 7                      | 16   |
| 16                 | 2517  | МАЗ-105 -175 (10)                  | 145                                | 88                        | 10                     | 9  |
| 25                 | 1920  | МАЗ-107 -145 (9)                   | 145                                | 88                        | 9                      | 10   |

позволяет получать оптимальные значения пассажироместимости, необходимого количества по маркам и моделям транспортных средств, а также интервалов их движения на маршрутах в зависимости от изменения часового пассажиропотока по часам суток.

#### Литература

1. Аземша, С.А. Автомобильные перевозки пассажиров и грузов / Аземша С.А. и др. – Гомель: УО «БелГУТ», 2012. – 205 с.
2. Аррак, А.О. Развитие и эффективность пассажирских перевозок. Таллин, 1981. – 150 с.
3. Вельможин, А.В. и др. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, А.В. Куликов, А.А. Сериков. – Волгоград, 2002. – 246 с.
4. Власов, Ю.Л. Моделирование спроса на различные типы пассажирских транспортных средств / Ю.Л. Власов, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 6. – С. 205–211.
5. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев; отв. ред. В.А. Гудков. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.
6. Капский, Д.В. Разработка методики прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон в конфликте «поворотный транспорт-пешеход» на основе моделей движения на регулируемом перекрестке / Д.В. Капский, П.А. Пегин, А.И. Рябчинский // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – № 4 (35). – 2014. – С. 112–123.
7. Кравченко, Е.Е. Повышение качества обслуживания населения за счёт использования служебного автобусного транспорта на муниципальной маршрутной сети. Автореферат дис. канд. техн. наук. Волгоград 2006. – 19 с.
8. Липенков, А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов Автореферат дис. канд. техн. наук. Орел. 2015. – 16 с.
9. Пегин, П.А. Повышение средней скорости движения транспортных средств на опасных участках дороги / П.А. Пегин // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – № 1 (20). – 2011. – С. 132–131.
10. Рассоха, В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами. Схема и сценарии управления городским пассажирским транспортом / В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 142–146.
11. Скирковский, С.В. Выбор вместимости транспортных средств для городских перевозок пассажиров в регулярном сообщении. «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния» / Материалы XI международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2005. – С. 199–203.
12. Скирковский, С.В. Исследование закономерностей движения автобусов и времени ожидания поездки. «Коммунальное хозяйство городов». // Научно-технический сборник. Выпуск 69. Серия: Технические науки и архитектура. – Киев: «Техника», 2006. – С. 254–257.
13. Скирковский, С.В. Оценка экономической эффективности предложений по совершенствованию автобусных перевозок / С.В. Скирковский, В.Н. Седюкевич // «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния» // Материалы XX международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2014. – С. 154–158.



14. Скирковский, С.В. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Вестник Белорус. гос. ун. трансп. «Наука и транспорт». – 2012. – № 1. – С. 52–57.

15. Скирковский, С.В. Социально-экономическая оценка временных потерь пассажиров маршрутных транспортных средств в городском регулярном сообщении // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: материалы междунар. науч.-практ. конф.; редкол.: Ф.А. Романюк [и др.] – Минск: БНТУ, 2010. – С. 64–69.

16. Славина, Ю.А. Научно-практические методы оценки качества обслуживания населения городским наземным пассажирским транспортом: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.10 / Славина Ю.А.; [Место защиты: Волгоградский государственный технический университет]. – Волгоград, 2015. – 194 с.

17. Якунин, Н.Н. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок / Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина, А.В. Смирнов // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2013. – № 3. – С. 31.

18. Erfolgreich modernisierter Busverkehr in Nordhungen. Vogt Heinz. // Stadtverkehr. – 2001. – Vol. 7. – pp. 47–50.