



## МУЛЬТИМАРШРУТНЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

С.А. Аземша

Белорусский государственный университет транспорта,  
г. Гомель, Республика Беларусь  
[s-azemsha@yandex.ru](mailto:s-azemsha@yandex.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Степень использования вместимости и времени работы маршрутных транспортных средств определяют эффективность работы пассажирского транспорта регулярного сообщения. Поэтому разработка мероприятий по повышению степени использования вместимости маршрутных транспортных средств, снижению их непроизводительных простоев являются актуальными для повышения окупаемости работы пассажирского транспорта регулярного сообщения и позволяют повысить эффективность его функционирования.

Причиной низкой степени использования вместимости маршрутных транспортных средств, высоких значений их непроизводительных простоев является неравномерность пассажиропотока. Существующий помаршрутный метод организации работы заключается в том, что маршрутные транспортные средства выпускаются на линию для работы на одном маршруте. Их количество, вместимость, интервал движения зависят от пиковых величин пассажиропотока. В межпиковое время, периоды дежурного движения количество пассажиров резко снижается, что приводит к снижению степени использования вместимости маршрутных транспортных средств. Для обеспечения приемлемых значений такой степени использования вместимости операторы перевозок увеличивают интервал движения за счет наращивания продолжительности непроизводительных простоев на конечных пунктах, что негативным образом сказывается на эффективности работы пассажирского транспорта регулярного сообщения.

Цель статьи – разработать новый метод организации работы маршрутных транспортных средств, позволяющий повысить эффективность работы пассажирского транспорта регулярного сообщения.

**Материалы и методы.** При написании статьи использовались методы анализа и обобщения литературных источников, положения теории графов, формализация и математическая постановка целевой функции и ограничений.

**Выводы.** Предложен мультимаршрутный метод организации работы маршрутных транспортных средств, заключающийся в оптимальном распределении ездов всех маршрутов рассматриваемой маршрутной сети между парком имеющихся маршрутных транспортных средств, позволяющий снизить их непроизводительные простои и повысить степень использования вместимости за счет наличия возможности работы маршрутных транспортных средств на разных маршрутах, что даст возможность уменьшить затраты на выполнение таких ездов.

Для оптимального распределения ездов всех маршрутов рассматриваемой маршрутной сети между парком имеющихся маршрутных транспортных средств такие ездки представлены в виде вершин атрибутированного графа, а возможные активности между ездками (простои, порожние пробеги) – в виде дуг. Совокупность вершин и дуг такого графа представляют собой циклы, каждый из них является набором ездов, который должно выполнить маршрутное транспортное средство за время работы. Для выбора совокупности циклов, обеспечивающих минимальные затраты на выполнение всех ездов, была сформулирована соответствующая целевая функция. Для обеспечения соблюдения объективно существующих условий работы маршрутных транспортных средств на целевую функцию наложен ряд ограничений.

**Возможность последующего использования результатов научной работы.** Полученные результаты представляют собой целевую функцию и ограничения, позволяющие реализовать мультимаршрутный метод организации работы пассажирских транспортных средств. Они могут быть использованы для апробации на маршрутной сети конкретного города для повышения эффективности работы пассажирского транспорта регулярного сообщения за счет снижения затрат на его функционирование без ухудшения качества обслуживания пассажиров.

© Аземша С.А., 2025



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Практическое значение.** Приведен мультимаршрутный метод организации работы пассажирских транспортных средств регулярного сообщения, позволяющий снизить себестоимость их работы за счет увеличения степени использования вместимости маршрутных транспортных средств и сокращения их непроизводительных простоев. Применение такого метода не ухудшает качество обслуживания пассажиров, поскольку не предусматривает отмену рейсов и (или) увеличение интервалов движения маршрутных транспортных средств.

**Оригинальность.** В данной статье предложен новый метод организации работы маршрутных транспортных средств, позволяющий снизить себестоимость их работы без ухудшения качества обслуживания пассажиров. Статья будет полезна для должностных лиц органов управления, ответственных за организацию работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения, а также работников предприятий городского пассажирского транспорта, ученых транспортной отрасли.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маршрутное транспортное средство, городской пассажирский транспорт регулярного сообщения, пассажиронапряженность, коэффициент пассажиронапряженности, себестоимость перевозки, мультимаршрутный метод

**Статья поступила в редакцию 05.12.2024; одобрена после рецензирования 12.12.2024; принята к публикации 24.02.2025.**

**Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.**

Для цитирования: Аземша С.А. мультимаршрутный метод организации работы транспортных средств // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 1. С. 38-53. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-38-53>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-38-53>

EDN: XJRPEO

## MULTI-ROUTE METHOD OF WORK ORGANIZATION FOR TRANSPORT VEHICLES

**Sergey A. Azemsha**

Belarusian State University of Transport,  
Gomel, Republic of Belarus  
[s-azemsha@yandex.ru](mailto:s-azemsha@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** The degree of passenger capacity and operating time of route vehicles' utilization determine the work efficiency of regular passenger transport. Therefore, the development of measures to increase the effectiveness rate of passenger load factor use of route vehicles, to reduce its unproductive downtime is relevant to fasten the payback period of regular passenger transport and allows to enhance the efficiency of its operation.

The reason for low passenger load factor utilization of the route vehicles and high values of its inefficient downtime is the unevenness of passenger flow. The existing route-by-route method of work organization consists in the fact that vehicles go out on the line to one route. Its number, capacity, movement interval depend on peak values of passenger flow. During off-peak times, periods of on-duty traffic, the quantity of passengers decreases sharply, which leads to the declining in the degree of route vehicles' capacity utilization. To ensure the acceptable values of this passenger load factor use, transportation operators increase the traffic interval by extension of unproductive downtime duration at the end points, which affects negatively the efficiency of regular passenger transport.

The aim of the research is to develop a new method of organizing the work of route vehicles, which allows to increase the efficiency of regular passenger transport.

**Materials and Methods.** Methods of analysis and generalization of literary sources, the principles of graph theory, formalization and mathematical formulation of the objective function and constraints were used while writing.

**Conclusions.** A multi-route method of the work planning of route vehicles is proposed, which consists in the optimal distribution of trips of all routes of the considered route network between the fleet of available route vehicles, allowing to reduce its unproductive downtime and to increase the effectiveness rate of passenger load capacity

© Azemsha S.A., 2025



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

utilization due to the possibility of route vehicles' use on different routes, which will decrease the cost of such trips. For optimal distribution of trips of all routes of the considered route network between the fleet of available route vehicles, such trips are represented as vertices of the attributed graph, and possible activities between trips (idle time, empty runs) – as arcs. The set of vertices and arcs of such a graph represent cycles, each of which is a set of trips to be performed by a route vehicle during the operation time. In order to select a set of cycles, providing minimum costs for the carrying out all trips, the corresponding objective function was formulated. To ensure conditions objectively existing for route vehicles operation, a number of constraints were imposed on the objective function.

**Potential Application of Research Results.** The results obtained represent an objective function and constraints that enable the implementation of a multi-route method for organizing public transport vehicles' operation. Results can be applied to a city's transport network to improve the efficiency of regular public transport services by reducing operational costs without deterioration in the quality of the provided services for the passengers.

**Practical Significance.** The proposed multi-route method of work operation of regular public transport vehicles allows to shorten the operating costs by increasing the effectiveness rate of passenger load factor use and reducing unproductive idle times. This method does not diminish passenger service quality as it does not involve canceling trips and (or) prolongation of the intervals between vehicle routes.

**Originality in academic context.** This work presents a novel method for organizing the operation of public transport vehicles, which helps to cut the operational costs without compromising the service quality. The article will be useful for public transport governing officials responsible for organizing urban regular public transport, as well as employees of urban public transport enterprises and transport industry researchers.

**KEYWORDS:** route vehicle, regular urban passenger transport, passenger capacity, passenger load coefficient, transportation cost, multi-route method

**The article was submitted: 05.12.2024; approved after reviewing: 12.12.2024<sup>12</sup>; accepted for publication: 24.12.2025.**

**The author has read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation.* Azemsha S.A. Multi-route method of work organization for transport vehicles. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (1): 38-53. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-38-53>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практика организации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения (ГПТРС) подразумевает закрепление маршрутных транспортных средств (МТС) для работы на линии на каждом маршруте в отдельности. Основным недостатком такого помаршрутного метода организации работы заключается в том, что МТС постоянной вместимости работает в условиях изменяющейся величины пассажиропотока [1]. Компенсировать такую неравномерность приходится увеличением интервала дви-

жения, как правило, за счет роста времени непроизводительного простоя на конечных пунктах. Кроме того, отмеченная неравномерность пассажиропотока приводит к снижению наполняемости МТС, что в итоге негативным образом сказывается на окупаемости работы ГПТРС.

Эффективность функционирования ГПТРС можно оценивать величиной себестоимости оказанных им услуг. Влияние различных факторов на себестоимость выполнения одного пассажиро-километра хорошо иллюстрируется выражением<sup>1</sup>

$$S_p = \frac{1}{q_p \gamma_n} \left( 3_{\text{км}} + 3_{\text{ч}} \left( v_t^{-1} + \frac{m_c t_{\text{оп}} + t_{\text{ок}}}{l_{\text{пс}}} \right) \right), \quad (1)$$

<sup>1</sup> Седюкевич В.Н., Андреев А.Я. Автомобильные перевозки грузов и пассажиров: учебное пособие. Минск: РИВШ, 2020. 328 с.

где  $q_p$  – пассажировместимость МТС, пасс.;  
 $\gamma_n$  – коэффициент использования пассажироместимости;  
 $З_{км}$  – переменные затраты на 1 км пробега МТС, BYN/км;  
 $З_ч$  – постоянные затраты на 1 ч работы МТС, BYN/ч;  
 $v_t$  – техническая скорость МТС, км/ч;  
 $m_c$  – количество остановочных пунктов;  
 $t_{оп}$  – время нахождения МТС на остановочных пунктах, ч;  
 $t_{ок}$  – время нахождения ТС на конечных станциях, ч;  
 $l_{pc}$  – средняя дальность поездки пассажира, км.

Из выражения (1) видно, что себестоимость перевозки растет с увеличением времени нахождения на конечных остановочных пунктах и снижением коэффициента использования пассажироместимости МТС. Поэтому для повышения эффективности функционирования ГПТРС необходимо разработать мероприятия, направленные на снижение непроизводительных простоев на конечных остановочных пунктах и повышение использования вместимости МТС.

Повышению эффективности работы ГПТРС в научной литературе уделено немало внимания. В работе [2] автор показывает целевую функцию, максимизирующую прибыль от работы МТС на маршруте [2, выражение (5)], и итерационным методом алгоритма Ньютона находит оптимальное значение интервала движения на маршруте, максимизирующее прибыль от перевозки [2, стр. 114]. В работе<sup>2</sup> авторы полагают, что величина затрат на эксплуатацию МТС зависит от совокупности условий работы на маршруте и фактического состояния МТС. В связи с этим они решают оптимизационную задачу распределения разных МТС по «графикам движения» с учетом сложности условий работы на маршруте и состояния МТС. В работе [3] автор строит модель, позволяющую определить оптимальное количество автобусов для работы на маршруте с точки зрения максимизации прибыли от перевозки [3, рисунок 4]. Для этого получена

формула, при помощи которой можно определить оптимальное, с точки зрения максимизации прибыли, число автобусов, работающих на маршруте [3, формула (15)], обоснована величина тарифа за перевозку [3, рисунки 5, 6]. В работе<sup>3</sup> рассмотрена задача повышения эффективности функционирования МТС за счет распределения их разных типов по маршрутам с учетом спроса пассажиров. Авторы выделяют 4 типа МТС: троллейбусы, автобусы среднего класса, автобусы малого класса, автобусы особо малого класса. По результатам проведенного в несколько этапов комплексного обследования пассажиропотоков определяют максимальный суточный спрос пассажиров по каждому из типов МТС. Затем на базе функции полезности определяется перспективный спрос пассажиров на места в МТС каждого типа. После этого при помощи процессов Пуассона гибели и размножения автором определена матрица вероятностей перехода пассажиров между группами МТС. На ее основании определяется необходимое количество МТС каждого типа и их распределение по маршрутной сети с учетом минимизации суммарного пробега порожних мест. В работе [4] показан пример применения графоаналитического метода распределения автобусов разной вместимости для работы на маршруте по различным часам суток в зависимости от мощности пассажиропотока. За счет использования автобусов большой вместимости в пиковое время обеспечивается необходимая провозная возможность, а за счет применения автобусов малой вместимости в период спада пассажиропотока – приемлемый интервал движения. Аналогичный подход применен и в работе [5] для пригородного маршрута в г. Волгограде. В работе [6] также решается задача распределения автобусов разной вместимости по маршрутам их работы. По сути, авторы используют для этого известную транспортную задачу линейного программирования и симплекс-метод ее решения. Полученные результаты позволяют оптимальным образом закрепить автобусы за маршрутами. В работе [7] также решается задача распределения автобусов разной вместимости по маршрутам их работы. Подход,

<sup>2</sup> Максимов В.А., Крылов Г.А., Хазиев А.А. Учет условий эксплуатации при распределении городских автобусов по маршрутам движения // Сервис, техническая эксплуатация транспортных и технологических машин: межвузовский сборник научных трудов. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2001. С. 162–166. EDN TPADLV.

<sup>3</sup> Власов Ю.Л. Обоснование и рациональное распределение по маршрутам парка городского пассажирского транспорта: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук / Власов Юрий Леонидович. Оренбург, 2006. 18 с. EDN NKHDQF.



предложенный в данной публикации, заключается в определении оптимальной вместимости МТС, работающего на каждом маршруте в каждый период времени, с последующим распределением имеющегося парка по этим маршрутам по критерию минимизации фактической вместимости от оптимальной. Такой подход фактически дублирует описанный в [6]. Схожий подход применен и в [8], где также решается задача распределения автобусов по маршрутам движения, только с учетом вреда окружающей среде. В работе [9] предлагается решением транспортной задачи распределить парк МТС по имеющимся маршрутам для минимизации эксплуатационных затрат на осуществление перевозок с учетом возраста МТС, условий эксплуатации, состояния производственно-технической базы и эффективной работы персонала. Предложенный метод оптимизации очень схож с предложениями [6, 7, 8]. Основные отличия заключаются в иной целевой функции, применяемой при постановке и решении оптимизационной задачи. Целью работы [10] является «удовлетворение спроса населения на перевозки по средствам выполнения минимально необходимой транспортной работы автобусами по городским регулярным маршрутам с использованием суточных планов интервалов движения» [10, с. 42]. Суточный план интервалов движения показывает, с каким интервалом планируется движение автобуса на маршруте по часам суток. Авторы приводят формулы расчета интервала движения на маршруте и необходимого количества автобусов на нем по каждому периоду планирования [10, выражение (1)], формулы максимального и минимального количества автобусов [10, выражение (2)]. Приведенная целевая функция и ограничения [10, выражение (5)] позволяют обеспечить постоянство значений числа автобусов для работы на маршруте. Еще в одной работе автор в комплексе решает ряд актуальных задач: проектирование маршрутов и оптимизацию транспортной сети, определение структуры и использования подвижного состава, нормирование пропускной способности остановочных пунктов, определение пассажирского спроса и моделирование

пассажиропотоков, диспетчерское управление движением<sup>4</sup>. По сути, автор предлагает методику расчета пассажирских корреспонденций, основанную на интеллектуальном анализе данных валидации электронных проездных документов. На основании полученных таким образом данных о корреспонденциях пассажиров автор оптимизирует маршрутную сеть и назначает на работу МТС оптимальной вместимости, а также формулирует предложения по оптимизации вместимости парка МТС. Вместе с тем, например, в [11, стр. 73] показано, что оптимизация приводит к изменению существующей маршрутной сети и, как правило, ущемляет интересы пассажиров на направлениях с малой мощностью пассажиропотока. В конечном счете это приводит к снижению качества обслуживания пассажиров и возможному отказу некоторой их части от пользования услугами ГПТРС. В работах [12, 13, 14, 15, 16, 17] авторы дают понятие непродуктивных затрат предприятий маршрутного пассажирского транспорта как времени непроизводительных простоев МТС на конечных остановочных пунктах<sup>5</sup>. Для снижения непродуктивных затрат авторы предлагают:

- эффективно использовать ресурс рабочего времени водителей в графике работ, режим использования рабочего времени путем реализации секторального метода, который позволяет организовать работу водителей таким образом, что это приводит к снижению непродуктивных затрат, ассоциированных с оплатой сверхурочных часов работ;
- управлять числом водителей, необходимых для выпуска транспортных средств на линию по заданному расписанию, для снижения непродуктивных затрат, ассоциированных с оплатой в повышенном размере работы водителей, привлекаемых к работе для компенсации неравномерности распределения водителей по сменам и числам месяца;
- управлять режимом использования рабочего времени организацией работы транспортных средств на маршрутах с целью минимизации времени дополнительной стоянки на станциях;

<sup>4</sup> Фадеев А.И. Методология проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.10 / А.И. Фадеев; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». Красноярск, 2021. 418 с.

<sup>5</sup> Семченков С.С. Организация пассажирских перевозок автотранспортом посредством секторального метода работы водителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / С.С. Семченков; Белорусский национальный технический университет. Минск, 2023. 26 с.

– управлять незапланированными простоями, связанными с ДТП, с целью снижения их продолжительности за счет создания при перевозчике службы, которая будет наделена полномочиями оформления ДТП без участия сотрудников ГАИ.

В работе [18] авторы предлагают реализовать мультимаршрутное планирование как метод «составления расписания для группы маршрутов с возможностью переключения транспортного средства между маршрутами» [18, с. 56–57].

Анализ таких публикаций позволил выявить:

- а) недостатки в каждой работе, например:
  - не учитывается вместимость работающего на маршруте МТС [2, 12, 13, 14, 15, 16, 17];
  - не учитывается то, что на маршруте могут работать МТС разной вместимости [3, 12, 13, 14, 15, 16, 17];
  - непонятно, как увязать работу МТС между расчетными часами, для которых производилась оптимизация закрепления автобусов за маршрутами [6, 7, 8, 9];
  - представляется, что описанная методика [12, 13, 14, 15, 16, 17] применима тогда, когда суммарное число имеющихся водителе-часов за месяц не меньше имеющихся часов работы за этот же месяц. Если общий месячный фонд рабочего времени водителей составляет, например 16000 ч, то при норме 160 ч в месяц необходимо 100 водителей, чтобы гарантировать возможность выполнения работ без сверхурочных. Если же реально на предприятии, например 90 водителей, то каждый из них в среднем отработает  $16000/90 = 177,8$  ч, т.е. суммарная величина сверхурочных работ составит  $(177,8-160) \cdot 90 = 1602$  ч. Величина оплаты за сверхурочные будет составлять  $1602 \cdot 8 = 12816$  руб, где 8 – стоимость 1 ч сверхурочной работы. И она будет неизменна, от того каждый водитель переработал 17,8 ч за месяц или половина из них переработала 35,6 ч, а остальные вложились в отведенные по законодательству 160 ч в месяц;
  - равенство интервалов движения на маршруте 1 и 2 ( $I_1 = I_2$ ) не может быть гарантией исключения эффекта Верньера, как это утверждают авторы [13, с. 28]. Такой гарантией может быть равенство интервалов движения между пассажирскими транспортными средствами, в том числе разных маршрутов, проходящих по одному и тому же участку, как это показано в [19];

– формализованное описание мультимаршрутного метода в [18] авторами не представлено;

б) общие недостатки для всех работ:

- не решается задача закрепления МТС за нулевыми рейсами;
- не учтены суточные колебания пассажиропотока, т.е. оптимизация производится для какого-то известного набора данных о пассажиропотоках, полученного за конечный период наблюдения (как правило, один день);
- не учтены в полной мере, а зачастую и вовсе, действующие нормы времени труда и отдыха водителей;
- рассматриваются отдельные маршруты и оптимизация работы на них, а не на всей маршрутной сети. Это позволит достигнуть локального экстремума целевой функции для каждого маршрута, но не гарантирует достижения глобального экстремума для всей маршрутной сети.

Для повышения эффективности работы ГПТРС в работе [20] показана необходимость разработки научного инструментария для оптимизации закрепления МТС за рейсами с учетом пассажиронапряженности на них и ее колебаний, а также других ограничений. В качестве такого инструментария предполагается использовать мультимаршрутный метод.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При написании статьи использовались методы анализа и обобщения литературных источников, положения теории графов, формализация и математическая постановка целевой функции и ограничений.

Для описания и формализации мультимаршрутного метода использованы следующие условные обозначения:

*Множества.*

- $V$  – множество вершин графа (всех ездов);
- $V1$  – множество возможных первых нулевых ездов;
- $V2$  – множество ездов с пассажирами;
- $V3$  – множество возможных вторых нулевых ездов;
- $V = V1 + V2 + V3$ ,  $|V1| = |V2| = |V3|$ ;
- $D$  – множество дуг графа (вариантов перехода между ездами МТС);
- $A$  – атрибуты вершин графа;
- $B$  – атрибуты дуг графа;
- $M$  – множество рассматриваемых маршрутов работы МТС;

$H$  – множество начальных пунктов рассматриваемой маршрутной сети, а также место постоянной дислокации (МПД) МТС;

$K$  – множество конечных пунктов рассматриваемой маршрутной сети, а также МПД МТС;

$T$  – множество МТС;

$P$  – множество простых цепей графа  $G$ .

*Переменные.*

$v, u$  – вершины графа;

$d$  – дуга графа;

$m$  – номер маршрута работы МТС;

$t_n$  – время начала ездки (отправления с начального пункта маршрута);

$t_k$  – время окончания ездки (прибытия на конечный пункт маршрута);

$\Pi$  – пассажиронапряженность, пасс;

$L$  – расстояние, км;

$v_{\text{эт}}$  – эксплуатационная скорость движения МТС между начальными (конечными) пунктами маршрутов без остановок на промежуточных остановочных пунктах  $v_{\text{эт}} = 30$  км/ч;

$t_3$  – время запаса. Рассчитывается как разница во времени отправления МТС с начального пункта и временем его прибытия в этот начальный пункт ( $t_3 = 0,1$  ч);

$t$  – МТС;

$C$  – вместимость МТС;

$k$  – количество дуг в цепи  $P$  графа  $G$ ;

$S_{\text{км}}$  – себестоимость 1 км пробега МТС, руб. / км;

$S_{\text{ч}}$  – себестоимость 1 ч простоя МТС, руб. / ч;

$i, e, a$  – индексы;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент приведения себестоимости часа простоя МТС к себестоимости часа его в движении;

$\text{Тр}$  – режим труда и отдыха водителя (продолжительность рабочего дня, наличие и продолжительность обеденных перерывов и отстоев на конечных пунктах и т.д.);

$\text{Тз}$  – режимы труда и отдыха, соответствующие *требованиям законодательства*;

– максимально допустимый коэффициент использования вместимости на участке с наи-

большей мощностью пассажиропотока. Рекомендуются.

Рисунок 1 показывает график работы МТС на трех маршрутах:

– маршрут 1 – нитки движения МТС обозначены черным цветом;

– маршрут 2 – нитки движения МТС обозначены красным цветом;

– маршрут 3 – нитки движения МТС обозначены синим цветом.

На каждом маршруте работает три МТС, нитки движения которых обозначены линиями различного типа – сплошного, штрихового, штрих-пунктирного. При этом рисунок 1, а показывает график работы МТС при существующем (помаршрутном) методе организации работы МТС, а рисунок 1, б – при предлагаемом (мультимаршрутном) методе.

Видно (см. рисунок 1, б), что при мультимаршрутном методе организации работы МТС 2 на маршруте 1 заканчивает езду в 7:22. Следующая ездка этого МТС в обратном направлении на этом маршруте в 7:32. Вместо 10-минутного ожидания такой ездки, данное МТС выполнит езду на маршруте 2, предусмотренную для выполнения МТС 3. Время начала этого рейса в 7:29, т.е. выполнение с одного и того же конечного пункта ездки на другом маршруте позволяет исключить непроизводительный простой, равный 3 мин. Далее, выполнив езду по маршруту 2 (окончание в 8:02), МТС не ожидает начала следующей ездки на этом маршруте (8:10), а выполняет с этого же конечного пункта езду на маршруте 3, которая начинается в 8:03, что позволяет сэкономить 7 мин. После этого МТС выполняет езду в обратном направлении на этом же маршруте, прибыв на конечный пункт в 8:59. Следующая ездка на этом маршруте для данного МТС (МТС 2) предусмотрена расписанием движения в 9:14, что предполагает 15-минутное ее ожидание. Поэтому МТС 2 выполняет езду на этом же маршруте 3, предназначенную для МТС 1, началом в 9:00 (экономия 14 мин).

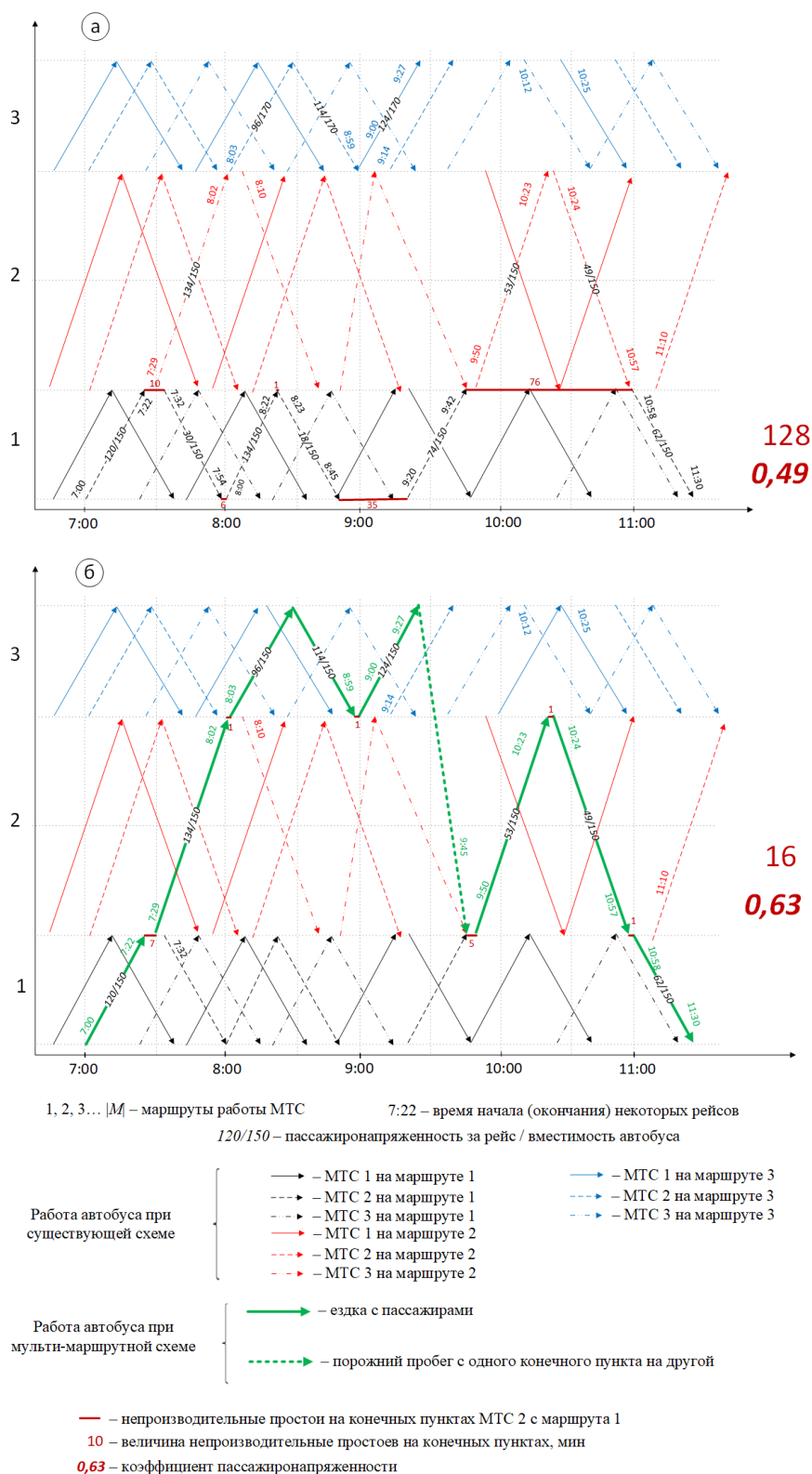


Рисунок 1 – Описание мультимаршрутного метода организации работы МТС:  
 а – существующий помаршрутный; б – предлагаемый мультимаршрутный метод  
 Источник: составлено автором.

Figure 1 – Description of the multi-route method of transport vehicles' operation:  
 а – existing route-by-route method; б – proposed multi-route method  
 Source: compiled by the author.



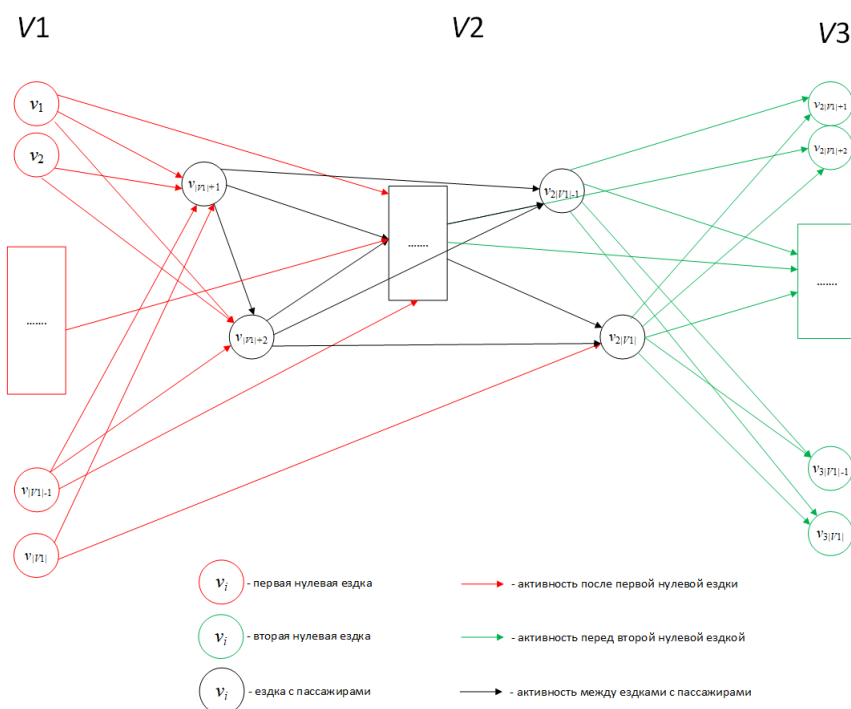


Рисунок 2 – Постановка задачи мультимаршрутного планирования  
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Statement of the multi-route planning problem  
Source: compiled by the author.

Такая ездка заканчивается в 9:27. Следующая ездка с этого конечного пункта предусмотрена в 10:12. Для исключения продолжительного простоя в ожидании этой ездки МТС в порожнем состоянии направляется на другой конечный пункт. Прибывает оно туда в 9:45, а в 9:50 выполняет ездку МТС 2 по маршруту 2. Начало ездки в 9:50, окончание в 10:23. После этого выполняется ездка в обратном направлении на этом же маршруте. Окончание ездки в 10:57. Следующая ездка на этом маршруте предусмотрена в 11:10, то есть для МТС 2 на маршруте 1 ездка началом в 10:58. Его и выполняет МТС, работающее по мультимаршрутному методу. Таким образом, при существующем методе организации работы МТС 2 маршрута 1 (см. рисунок 1, а, черная прерывистая линия) начинает работать в 7:20, а оканчивает в 11:30, т.е. рабочее время составляет 4 ч и 10 мин. Общее время простоя в ожидании начала очередного рейса при этом составляет 128 мин. Коэффициент пассажиронапряженности при этом равен 0,49 (см. рисунок 1, а). Это же МТС, работающее по заданию, полученному мультимаршрутным методом, начинает и оканчивает работу в то же

самое время, но при этом суммарный простой в ожидании начала очередной ездки составит 16 мин, а коэффициент пассажиронапряженности при этом равен 0,63 (см. рисунок 1, б).

Конечно, приведенный пример является иллюстративным и на практике необходимо учитывать определенные ограничения, связанные с достаточностью вместимости МТС, соблюдением режимов труда и отдыха, целесообразностью выполнения порожних пробегов между конечным и начальным пунктами и др. Для этого необходимо сформулировать рассматриваемую задачу в математическом виде.

*Постановка задачи мультимаршрутного метода организации работы МТС с применением аппарата теории графов*

Имеется непланарный, взвешенный, ориентированный, атрибутированный граф  $G(V, D, A, B)$ , где  $V$  – множество вершины графа,  $D$  – множество дуг графа,  $A(v)$  – атрибуты вершины  $v$ ,  $B(d)$  – атрибуты дуги  $d$  (рисунок 2).

Каждая вершина представляет собой ездку. Совокупность вершин графа представляет собой совокупность упорядоченных по времени начала (слева направо на рисунок 2) всех

ездок за день на всех маршрутах, в том числе – нулевых ездок. Множество вершин  $V$  делится на три подмножества ( $V=V1 \cup V2 \cup V3$ ):

–  $V1=\{v_1, v_2, \dots, v_{|V1|}\}$  – множество возможных порожних ездок МТС с МПД на начальный пункт (первых нулевых ездок). Эти вершины являются истоками;

–  $V2=\{v_{|V1|+1}, v_{|V1|+2}, \dots, v_{2|V1|}\}$  – множество ездок МТС с пассажирами по установленным регулярным маршрутам;

–  $V3=\{v_{2|V1|+1}, v_{2|V1|+2}, \dots, v_{3|V1|}\}$  – множество возможных порожних ездок МТС с конечного пункта последнего рейса до МПД (вторых нулевых ездок). Эти вершины являются стоками.

Количество вершин  $V2$  равно количеству всех ездок за день на всех маршрутах  $|V2|$ . Количество вершин  $V1$  равно количеству возможных вариантов первых нулевых ездок  $|V1|$ , а  $V3$  – количеству возможных вариантов вторых нулевых ездок  $|V3|$ . Очевидно, что  $|V1|=|V2|=|V3|$  и общее число вершин графа равно  $3|V1|$  или  $3|V2|$ , или  $3|V3|$ .

Каждая вершина  $v \in V$  ассоциирована с набором следующих атрибутов:

$$A(v) = \{i_v, m_v, H_v, K_v, t_{nv}, t_{kv}, \Pi_v\}, \quad (2)$$

где  $i_v$  – порядковый номер вершины  $v$  графа  $V$  (порядковый номер ездки  $v$ ),  $i_v = 1 \dots 3|V1|$ ;

$m_v$  – номер маршрута, на котором выполняется ездка  $v$ ,  $m_v = \{m_1, m_2, \dots, m_{|M|}\}$ , где  $M$  – множество рассматриваемых маршрутов работы;

$H_v$  – начальный пункт при выполнении ездки  $v$ .  $H_v = \text{МПД}$ ,  $\forall v \in V1$ ;  $H_v \in (H - \text{МПД})$ ,  $\forall v \in V2$ ;  $H_v \in (K - \text{МПД})$ ,  $\forall v \in V3$ , где  $H$  – множество начальных пунктов рассматриваемой маршрутной сети;  $K$  – множество конечных пунктов рассматриваемой маршрутной сети;

$K_v$  – конечный пункт при выполнении ездки  $v$ ;  $K_v \in (H - \text{МПД})$ ,  $\forall v \in V1$ ;  $K_v \in (K - \text{МПД})$ ,  $\forall v \in V2$ ;  $K_v = \text{МПД}$ ,  $\forall v \in V3$ ;

$t_{nv}$  – время начала ездки  $v$  (ездки с номером  $i_v$ ), т.е. время отправления от начального остановочного пункта  $H_v$ ,  $t_{ni_v} \geq t_{n(i_v-1)}$ ;

$t_{kv}$  – время окончания ездки  $v$ , т.е. время прибытия на конечный остановочный пункт  $K_v$ ;

$\Pi_v$  – пассажиронапряженность (максимальная наполненность МТС) при выполнении ездки  $v$ .

Время начала ездки  $v$  (время отправления от начального остановочного пункта  $H_v$ ):

$$t_{nv} = \begin{cases} t_{nu} - \left( \frac{L_{\text{МПД}, H_u}}{v_{\text{эт}}} + t_3 \right), & v \in V1, u \in V2 \\ \text{определяется действующим расписанием движения,} & v \in V2, u \in V2 \\ t_{ku}, & v \in V3, u \in V2 \end{cases} \quad (3)$$

где  $L_{\text{МПД}, H_u}$  – расстояние между МПД и начальным пунктом ездки  $u$ , км;

$v_{\text{эт}}$  – эксплуатационная скорость движения МТС между начальными (конечными) пунктами маршрутов без остановок на промежуточных остановочных пунктах  $v_{\text{эт}} = 30$  км/ч;

$t_3$  – время запаса. Рассчитывается как разница во времени отправления МТС с начального пункта и временем его прибытия в этот начальный пункт ( $t_3 = 0, 1$  ч).

Время окончания ездки  $v$  (время прибытия на остановочный пункт  $K_v$ ):

$$t_{kv} = \begin{cases} t_{nu} - t_3, & v \in V1, u \in V2 \\ \text{определяется действующим расписанием движения,} & v \in V2, u \in V2 \\ t_{ku} + \frac{L_{u, \text{МПД}}}{v_{\text{эт}}}, & v \in V3, u \in V2 \end{cases} \quad (4)$$

Пассажиронапряженность при выполнении ездки  $v$ :

$$\Pi_v = \begin{cases} 0, & v \in V1, v \in V3 \\ \text{определяется прогнозированием или обследованием пассажиропотоков,} & v \in V2 \end{cases} \quad (5)$$

Каждая дуга  $d(v, u) \in D$  представляет собой оценку активности МТС между вершинами  $v$  и  $u$  (действий, которые необходимо совершить после ездки  $v$ , чтобы выполнить ездку  $u$ ). Совокупность всех дуг  $d(v, u)$  графа представляет собой следующие возможные комбинации активностей МТС между ездками:

1. При  $v \in V1, u \in V2$  – активность МТС между нулевой ездкой и первой ездкой с пассажирами (см. рисунок 2, дуги красного цвета), т.е. активность после первой нулевой ездки. Такая активность заключается в простое на протяжении времени  $t_3$  в ожидании начала ездки  $u$ . При этом каждая вершина  $v$  будет соединена дугой с каждой вершиной  $u$ , т.е. из каждой вершины  $v$  будет исходить  $|V1|$  дуг, и в каждую вершину  $u$  будет входить  $|V1|$  дуг. Общее количество дуг между вершинами  $v$  и  $u$  будет равно  $|V1| \cdot |V1|$ .

2. При  $v \in V2, u \in V2$  – активность МТС между ездками с пассажирами по установленным маршрутам регулярного сообщения. Такая активность может заключаться в:

- ожидании начала ездки  $u$  после окончания выполнения ездки  $v$  (при  $K_v = H_u, t_{kv} \leq t_{nu} - t_3$ ). При  $t_{kv} > t_{nu} - t_3$  МТС после выполнения ездки  $v$  не успевает на ездку  $u$  и дуги  $d(v, u)$  не существует;
- порожнем пробеге МТС с конечного пункта  $K_v$  к начальному пункту  $H_u$  с возможным ожиданием начала рейса  $u$  после окончания выполнения рейса  $v$  (при  $K_v \neq H_u, t_{kv} \leq t_{nu} - L_{v,u} / v_{\text{эт}} - t_3$ ), где  $L_{v,u}$  – расстояние между  $K_v$  и  $H_u$ , км. При  $t_{kv} > t_{nu} - L_{v,u} / v_{\text{эт}} - t_3$  МТС после выполнения ездки  $v$  не успевает на ездку  $u$  и дуги  $d(v, u)$  не существует. Количество дуг от каждой вершины  $v$  равно количеству ездок, на которые будет успевать МТС после окончания выполнения ездки  $v$  ( $|D| = |\{d \in D \mid t_{kv} \leq t_{nu} - L_{v,u} / v_{\text{эт}} - t_3\}|$ ).

3. При  $v \in V2, u \in V3$  – активность МТС между заключительной ездкой с пассажирами и порожней ездкой до МПД. Закончив выполнение последней ездки МТС, сразу следует в МПД, поэтому какая-либо активность в этом случае будет отсутствовать. Дуга  $d(v, u)$  в данном случае будет показывать связь между последней ездкой с пассажирами и вторым нулевым пробегом. При этом каждая вершина  $v$  будет соединена дугой с каждой вершиной  $u$ , т.е. из каждой вершины  $v$  будет исходить  $|V1|$  дуг, и в каждую вершину  $u$  будет входить  $|V1|$  дуг. Общее количество дуг между вершинами  $v$  и  $u$  будет равно  $|V1| \cdot |V1|$ .

Каждая дуга  $d(v, u) \in D$  ассоциирована с набором атрибутов

$$B(d) = \{v, u, t_{\text{ожд}}(v, u), t_{\text{двд}}(v, u)\}, \quad (6)$$

где  $v$  – вершина графа (ездки), из которой выходит дуга  $d(v, u) \in D, v \in (V1 + V2)$ ;

$u$  – вершина графа (ездки), в которую входит дуга  $d(v, u) \in D, u \in (V2 + V3)$ ;

$t_{\text{ожд}}(v, u)$  – продолжительности активности, связанной с ожиданием начала ездки  $u$  после окончания выполнения ездки  $v$ , мин;

$t_{\text{двд}}(v, u)$  – продолжительности активности, связанной с порожним побегом из  $K_v$  в  $H_u$ , мин.

Продолжительности активности, связанной с ожиданием начала ездки  $u$  после окончания ездки  $v$ :

$$t_{\text{ожд}}(v, u) = \begin{cases} t_3, \forall v \in V1, u \in V2; \\ t_{nu} - t_3 - t_{kv}, \forall v \in V2, u \in V2, i_v < i_u, K_v = H_u \text{ (рисунок 3, а)}; \\ t_{nu} - t_3 - t_{kv} - \frac{L_{v,u}}{v_{\text{эт}}}, \forall v \in V2, u \in V2, i_v < i_u, K_v \neq H_u \text{ (рисунок 3, б)}; \\ 0, \forall v \in V2, u \in V3 \end{cases} \quad (7)$$

МТС выполняет ездку между начальным остановочным пунктом  $H_v$  и конечным остановочным пунктом  $K_v$ , началом в 6: 40 и окончанием в 7: 20 (рисунок 3). Такая ездка представлена вершиной  $v$  с атрибутами  $A(v) = \{i_v, H_v - K_v, H_v, K_v, 6:40, 7:20, 34\}$ . Вторая ездка может быть представлена атрибутами (см. выражение (2)):

1.  $A(u) = \{i_u, "H_u - K_u", H_u, K_u, 7:30, 8:05, 16\}$  (см. рисунок 3, а)

2.  $A(u) = \{i_u, "H_u - K_u", H_u, K_u, 7:50, 8:25, 20\}$  (см. рисунок 3, б).

В первом случае (см. рисунок 3, а)  $K_v = H_u$ , тогда  $t_{\text{ожд}}(v, u) = t_{nu} - t_3 - t_{kv} = 7:30 - 6 \text{ мин} - 7:20 = 4 \text{ мин}$ . Во втором случае (см. рисунок 3, б)  $K_v \neq H_u$ , тогда  $t_{\text{ожд}}(v, u) = t_{nu} - t_3 - t_{kv} - \frac{L_{v,u}}{v_{\text{эт}}} = 7:50 - 6 \text{ мин} - 7:20 - \frac{5}{30} \text{ ч} = 23,8 \text{ мин}$ .

В случаях, когда  $t_{\text{ожд}}(v, u) < 0$  МТС, после выполнения ездки  $v$  не успевает на выполнение ездки  $u$ . Так, например, если бы порожний пробег из конечного пункта  $K_v$  в начальный пункт  $H_u$  был равен не 5, а 15 км (см. рисунок 3, б), то  $t_{\text{ожд}}(v, u) = t_{nu} - t_3 - t_{kv} - \frac{L_{v,u}}{v_{\text{эт}}} = 7:50 - 6 \text{ мин} - 7:20 - \frac{15}{30} \text{ ч} = -6 \text{ мин}$ , т.е. после выполнения ездки  $v$  МТС не успеет выполнить ездку  $u$ .

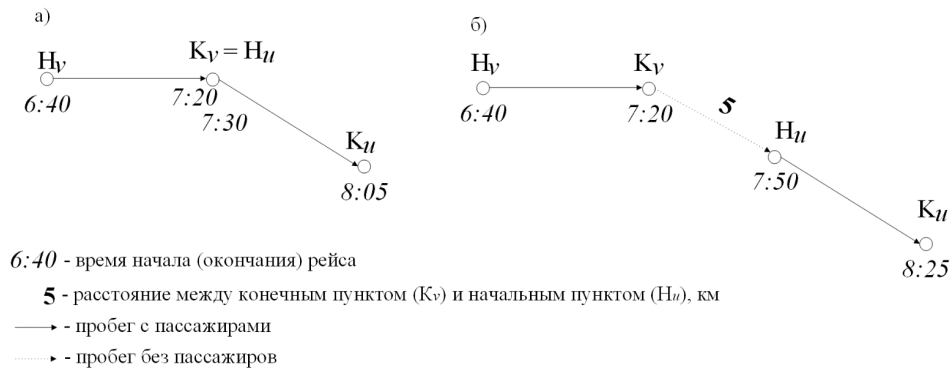


Рисунок 3 – Расчет  $t_{ожд(v,u)}$ : а – в случае, когда конечный пункт ездки  $v$  совпадает с начальным пунктом ездки  $u$  ( $K_v = H_u$ ); б – в случае, когда  $K_v \neq H_u$   
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Calculation of  $t_{ожд(v,u)}$ : а – in the case when the final trip destination  $v$  coincides with the initial trip destination  $u$  ( $K_v = H_u$ ); б – in the case when  $K_v \neq H_u$   
Source: compiled by the author.

Продолжительности активности, связанной с порожней ездой из  $v$  :

$$t_{двд(v,u)} = \begin{cases} \frac{L_{МПД,u}}{v_{эТ}}, \forall v \in V1, u \in V2; \\ 0, \forall v \in V2, u \in V2, i_v < i_u, K_v = H_u \text{ (см. рисунок 3, а);} \\ \frac{L_{v,u}}{v_{эТ}}, \forall v \in V2, u \in V2, i_v < i_u, K_v \neq H_u \text{ (см. рисунок 3, б);} \\ \frac{L_{v,МПД}}{v_{эТ}}, \forall v \in V2, u \in V3. \end{cases} \quad (8)$$

Дано также множество МТС, которые могут быть задействованы для выполнения ездов, изображенных на графе (см. рисунок 2) :

$$T = \{t_1, t_2, \dots, |T|\}, \quad (9)$$

где  $t_e$  – МТС с номером  $e$ ,  $e=1,2,\dots,|T|$ .

Для каждого МТС  $t_e$  известна его вместимость  $C_e$ .

Граф  $G$  можно рассматривать как множество простых цепей  $P_a = (v_{a,0}, d_{a,1}, v_{a,1}, d_{a,2}, v_{a,2}, \dots, d_{a,k_a}, v_{a,k_a})$ , где  $k_a$  – количество дуг в цепи  $P_a$ ;  $v_{a,0}, v_{a,1}, \dots, v_{a,k_a} \in V$  – последовательность вершин для цепи  $P_a$ , причем  $v_{a,0} \in V1$ ,  $v_{a,k_a} \in V3$ ,  $(v_{a,1}, v_{a,2}, \dots, v_{a,(k-1)a}) \in V2$ ;  $d_{a,1}, d_{a,2}, \dots, d_{a,k_a} \in D$  – последовательность дуг графа  $G$ , вошедших в цепь  $P_a$  (последовательность ребер цепи  $P_a$ ). Каждая цепь  $P_a$  показывает возможный вариант выполнения ездов МТС  $t_e$ , для которого  $C_e \geq \max(\Pi_{a,1}, \Pi_{a,2}, \dots, \Pi_{a,k_a-1})$  (рисунок 4).

Необходимо найти такое множество простых цепей  $P_a$  графа  $G$ , которое будет обеспечивать выполнение всех имеющихся ездов с минимальными затратами на их осуществление.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Целевая функция в этом случае может быть записана следующим образом:

$$\sum_{a=1}^{|P|} \sum_{e=1}^{|T|} C_e \left[ (t_{kv_{a,0}} - t_{hv_{a,0}}) x_{a,e,0} + \sum_{i=1}^{k_a-1} (t_{kv_{a,i}} - t_{hv_{a,i}+1} + t_{двд(v_{a,i}, v_{a,i+1})} + K_{пре} t_{ожд(v_{a,i}, v_{a,i+1})}) x_{a,e,i} \right] \rightarrow \min, \quad (10)$$

где  $K_{пре}$  – коэффициент приведения себестоимости часа простоя МТС  $t_e$  пассажировместимостью  $C_e$  к себестоимости часа его пробега.  $K_{пре} = f(C_e)$ ;  $x_{a,e,i} = 1$  если для вершины  $v_{a,i}$  (дуги  $d(v_{a,i}, v_{a,i+1})$ ) цепи  $P_a$  назначается МТС  $t_e$  пассажировместимостью  $C_e$ ,  $x_{a,e,i} = 0$  – в противном случае. Именно  $x_{a,e,i}$  будет являться переменной в целевой функции (10).



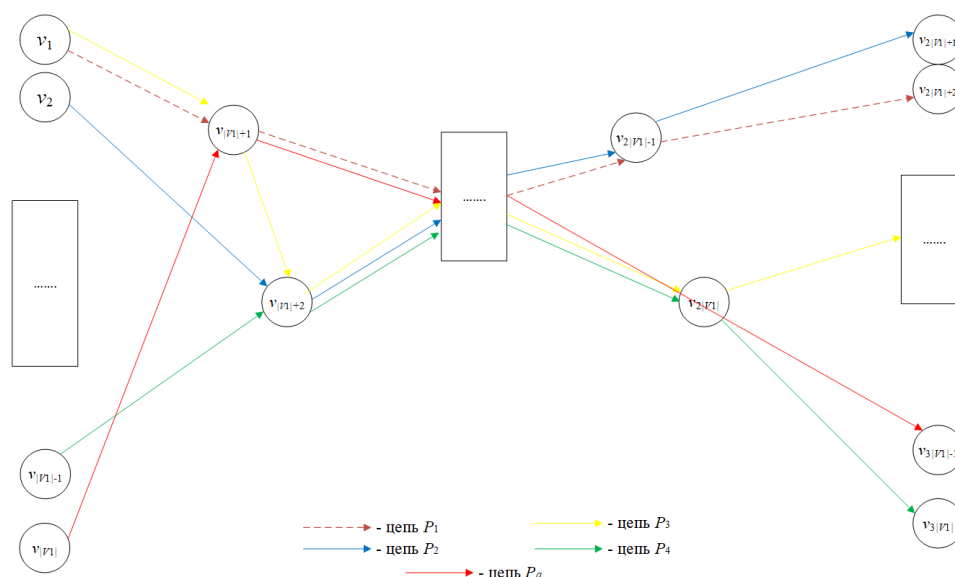


Рисунок 4 – Цепи графа  
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Graph chains  
Source: compiled by the author.

Для определения  $K_{пр}$  взяты данные о зависимости переменной и постоянной составляющей себестоимости пассажирских перевозок от вместимости МТС [1, с. 131]:

$$S_{км} = 0,26 + 0,003C, \text{ руб/км};$$

$$S_{ч} = 8,15 + 0,03C, \text{ руб/ч}.$$

Затем значения себестоимости 1 ч простоя было поделено на значение себестоимости пробега за 1 ч с учетом скорости движения:

$$\frac{8,15 + 0,03C}{20(0,26 + 0,003C) + 8,15 + 0,03C},$$

где 20 – эксплуатационная скорость движения МТС, км/ч.

После упрощения можно получить искомую зависимость

$$K_{пре} = \frac{0,03C_e + 8,15}{0,09C_e + 13,35}. \quad (11)$$

При этом на переменные накладываются следующие ограничения:

1. Каждая цепь начинается в истоке ( $v_{a,0} \in V1, \forall P_a, a \in 1 \dots |P|$ ):

$$\sum_{v \in V1} x_{a,v} = 1, \forall a \in [1 \dots |P|]. \quad (12)$$

2. Каждая цепь заканчивается в стоке ( $v_{a,k_a} \in V3, \forall P_a, a \in 1 \dots |P|$ ):

$$\sum_{v \in V3} x_{a,v} = 1, \forall a \in [1 \dots |P|]. \quad (13)$$

3. Каждый исток может быть использован максимум один раз:

$$\sum_{a=1}^{|P|} x_{a,v} \leq 1, \forall v \in V1. \quad (14)$$

4. Каждый сток может быть использован максимум один раз:

$$\sum_{a=1}^{|P|} x_{a,v} \leq 1, \forall v \in V3. \quad (15)$$

5. Каждая вершина  $v \in V2$  должна быть только в одной цепи:

$$\sum_{a=1}^{|P|} x_{a,v} = 1, \forall v \in V2. \quad (16)$$

6. В каждой цепи будут только те вершины, на которые МТС успевает

$$x_{a,v} + x_{a,u} \leq 1, \text{ если } t_{\text{ожд}}(v,u) < 0, \forall v \in V2, u \in V2, a \in [1 \dots |P|]. \quad (17)$$

7. Вместимость МТС, назначенного на цепь, будет не меньше пассажиронапряженности этой цепи с учетом допустимого коэффициента использования вместимости:

$$\gamma C_e \geq \max (P_v x_{a,e,v}), \quad (18)$$

$$\forall v \in P_a, \forall a \in [1 \dots |P|], \forall e \in [1 \dots |T|],$$

где  $\gamma$  – максимально допустимый коэффициент использования вместимости на участке с наибольшей мощностью пассажиропотока. Рекомендуется  $\gamma=0,8^6$ ;

$\max (P_{\nu} x_{a,e,\nu})$  – наибольшее значение пассажиропотока за рейс (пассажиронапряженность)<sup>7</sup>

$x_{a,e,\nu}=1$  означает, что МТС  $t_e$  выполняет езду  $\nu$  в цепи  $P_a$ .

8. На всю цепь назначено одно и тоже МТС:

$$\sum_{e=1}^{|T|} x_{a,e,\nu} = 1, \forall \nu \in P_a, \forall a \in [1, 2, \dots, |P|]. \quad (19)$$

9. Для каждого МТС будут соблюдены требования законодательства, регламентирующего продолжительность труда и отдыха водителя:

$$T_{pa} \in T_3, \forall a \in [1, 2, \dots, |P|], \quad (20)$$

где  $T_{pa}$  – режим труда и отдыха водителя на  $a$ -й цепи (продолжительность рабочего дня, наличие и продолжительность обеденных перерывов и отстоев на конечных пунктах и т.д.);

$T_3$  – режимы труда и отдыха, соответствующие требованиям законодательства.

Решение выражения (10) с учетом ограничений (11)–(20) позволит назначать МТС на рейсы разных маршрутов с учетом их вместимости и пассажиронапряженности, а также минимизации непроизводительных простоев на конечных остановочных пунктах, что окажет положительное влияние на значения параметров  $q_p, \gamma_n, Z_{km}, Z_\nu, t_{ok}$  выражения (1). Это в свою очередь приведет к снижению себестоимости работы МТС и росту окупаемости такой работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья посвящена разработке нового подхода к организации работы ГПТРС, направленного на повышение эффективности использования вместимости МТС и сокращение их непроизводительных простоев. На основе анализа существующих методов и моделей предложен мультимаршрутный метод организации работы, который основан на применении аппарата теории графов и позволяет оптимально распределить парк МТС по

рейсам с учетом величины пассажиронапряженности, требований к режиму труда и отдыха водителей и других ограничений для цели снижения стоимости оказания транспортных услуг. Основное преимущество мультимаршрутного метода заключается в сокращении времени непроизводительных простоев МТС между рейсами, использовании МТС необходимой вместимости, что позволяет сократить стоимость перевозок без отмены рейсов и (или) увеличения интервалов движения.

В перспективе внедрение мультимаршрутного метода на практике может привести к значительному снижению стоимости работы ГПТРС, обеспечив более гибкое и эффективное управление работой МТС на маршрутах с учетом динамичных изменений пассажиропотока, требований законодательства и других эксплуатационных факторов.

Таким образом, представленное исследование вносит вклад в развитие методов оптимизации работы ГПТРС и может служить основой для дальнейших исследований и практических рекомендаций по улучшению городской транспортной инфраструктуры.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аземша С.А., Янкович С.Ю. Оценка эффективности ежесуточного управления парком модульных пассажирских транспортных средств на городских регулярных маршрутах // Недропользование и транспортные системы. 2024. 14(1). 4–17. DOI: <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>
2. Корягин М.Е. Поиск оптимального интервала движения автобусов по маршруту в условиях случайного потока пассажиров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 3(47). С. 113–114. EDN: PXHEBJ.
3. Трегубов В.Н. Модели синхронизации интересов сторон при выборе тарифа и обосновании потребного количества автобусов на городском маршруте // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 4, № 1(42). С. 247–253. EDN: KZTMFD.
4. Рябов И.М., Кашманов Р.Я. Совершенствование организации обслуживания пассажиров на маршруте путем использования автобусов разной вместимости // Вестник СибАДИ. 2019; 16(3): 264–275. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-264-275>

<sup>6</sup> Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное пособие. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 413 с.

<sup>7</sup> Аземша С.А. Определение статистической связи между параметрами пассажиропотока и маршрута при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Логистический аудит транспорта и цепей поставок: материалы II Международной научно-практической конференции, Тюмень, 26 апреля 2019 года / отв. редактор С. А. Эртман. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 8–15. EDN WEEZBG.

5. Куликов А.В., Ткаченко Я.О. Совершенствование организации работы общественного транспорта малой и большой вместимости на маршрутной сети г. Волгограда // Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Техника и технологии. Сер. Институт морехозяйства и предпринимательства. 2018. С. 58–79. DOI: 10.30888/978-617-7414-51-2.0-016. EDN: POGDCJ.

6. Ломтадзе В.В., Базюк Т.Ю. Оптимизация распределения пассажирского транспорта по маршрутам // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 2(49). С. 96–99. EDN: NDJXBF.

7. Скиркоцкий С.В., Седюкевич В.Н., Пегин П.А. Методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 1. С. 69–77. EDN: YIALQP.

8. Корчагин В.А., Гринченко А.В. Распределение автобусов по маршрутам движения с учетом вреда окружающей среде // Аграрный научный журнал. 2015. № 9. С. 40–43. EDN: UJURPN.

9. Рациональное распределение автобусов по маршрутам движения с учетом их возраста, условий эксплуатации, состояния ПТБ и эффективной работы персонала / В.А. Максимов, И.М. Юрковский, А.А. Хазиев [и др.] // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 3(50). С. 52–61. EDN: ZEFUUF.

10. Якунина Н.В., Якунин Н.Н., Паршакова К.А., Янучков М.Р. Методика разработки суточных планов интервалов движения пассажирских автотранспортных средств по городским регулярным маршрутам // Транспорт Урала. 2024. № 1(80). С. 41–47. DOI: 10.20291/1815-9400-2024-1-41-47. EDN: UHAWCU.

11. Аземша С.А. Обоснование оптимальной вместимости модуля в составе пассажирского транспортного средства для регулярных городских перевозок // Транспорт Урала. 2023. № 2(77). С. 71–78. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-2-71-78. EDN: RMSUJJ.

12. Семченков С.С., Капский Д.В. Снижение непродуктивных затрат маршрутного пассажирского транспорта секторальным методом // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2022. № 3. С. 85–90. EDN: LHDJOS.

13. Semchenkov S., Kapsky D., Czerepicki A. Application of the sectoral method to improve the efficiency of route passenger transport. WUT Journal of Transportation Engineering. (2022); 134(null): 17–33. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0376>.

14. Семченков С.С., Капский Д.В. Разработка рациональных графиков работ водителей маршрутного пассажирского транспорта при использовании секторального метода // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2022. № 10. С. 64–72.

15. Капский Д.В., Саражинский Д.С., Семченков С.С. Подход к решению задачи формиро-

вания секторов при организации работы водителей на предприятиях маршрутного пассажирского транспорта на основе псевдодулевой оптимизации // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2023. № 1(47). С. 77–81. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-47-1-77-81. EDN: WMSUBC.

16. Kapski D., Semchenkov S., Khmel'nitskaya L. Measures to Improve the Operation of Passenger Transport and Urban Mobility // *Komunikacie*. 2023. Vol. 25, No. 1. P. A14–A25. DOI: 10.26552/com.c.2023.007. EDN: GQUPFC.

17. Семченков С.С., Капский Д.В. Повышение эффективности работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта в современных условиях // Новости науки и технологий. 2022. № 1(60). С. 16–26. EDN: CABOOL.

18. Морозов А.С., Таубкин Г.В., Черников А.А. Формирование городской транспортной политики на основе расчета объективных показателей качества перевозок // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 4(53). С. 54–59. EDN: SLSQQP.

19. Аземша С.А. Обоснование целесообразности выравнивания интервалов движения пассажирских транспортных средств регулярного сообщения на дублирующих участках // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2023. № 3(65). С. 40–47. EDN: LYGXBC.

20. Аземша С.А. Совершенствование технологии работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // Вестник СибАДИ. 2024; 21(3): 396–411. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>. EDN: FIDYXY.

## REFERENCES

1. Azemsha S., Yankovich S. Daily Management Efficiency Evaluation of the Modular Passenger Vehicles Fleet on Urban Regular Routes. *Subsurface Management and Transportation Systems*. 2024; Vol.14, No.1: 4–17. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>

2. Koryagin M.E. Search for the Optimal Bus Interval on a Route Under Random Passenger Flow Conditions. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2005; No. 3(47): 113–114. (in Russ.) EDN: PXHEBJ.

3. Tregubov V.N. Interested parties interests synchronization models at a rate choice and necessary buses quantities substantiation on a city route. *Vestnik of Saratov State Technical University* ("Vestnik SSTU"). 2009; Vol. 4, No. 1(42): 247–253. (in Russ.) EDN: KZTMFD.

4. Ryabovbov I.M., Kashmanov R.Ya. Improving the organization of passenger service on the route by using buses of different capacity. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(3): 264–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-264-275>

5. Kulikov A.V., Tkachenko Y.O. Improving the organization of public transport of small and large capacity on the route network of Volgograd. *Innovative science, education, production and transport: Engi-*

neering and technology. Ser. Institute of marine economy and entrepreneurship. 2018: 58–79. (in Russ.) DOI: 10.30888/978-617-7414-51-2.0-016. EDN: POGDCJ.

6. Lomtadze, V.V., Bazyuk T.Yu. Optimization of route distribution of passenger transport. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011; No. 2(49): 96–99. (in Russ.) EDN: NDJXBF.

7. Skirkovsky S.V., Sedyukovich V.N., Pegin P.A. Methodology for Improving the Efficiency of Passenger Transportation by Urban Route-Operated Transport. *Intellect. Innovations. Investments*. 2017; No. 1: 69–77. (in Russ.) EDN: YIALQP.

8. Korchagin V.A., Grinchenko A.V. Distribution of Buses on Routes Considering Environmental Damage. *Agrarian Scientific Journal*. 2015; No. 9: 40–43. (in Russ.) EDN: UJURPN.

9. Maximov V.A., Yurkovsky I.M., Khaziev A.A. [et al.] Rational Distribution of Buses on Routes Considering Their Age, Operating Conditions, Technical Condition, and Effective Personnel Work. *Vestnik of Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. 2017; No. 3(50): 52–61. (in Russ.) EDN: ZEFUUF.

10. Yakunina N.V., Yakunin N.N., Parshakova K.A., Yanuchkov M.R. Methodology for the development of daily interval plans for passenger vehicles on urban regular routes. *Transport of the Urals*. 2024; No. 1(80): 41–47. (in Russ.) DOI: 10.20291/1815-9400-2024-1-41-47. EDN: UHAWCU.

11. Azemsha S.A. Substantiation of the optimal capacity of a module as part of a passenger vehicle for scheduled urban transportation. *Transport of the Urals*. 2023; No. 2(77): 71–78. (in Russ.) DOI: 10.20291/1815-9400-2023-2-71-78. EDN: RMSUJJ.

12. Semtchenkov S.S., Kapsky D.V. Reduction of unproductive costs of route passenger transport by the sectoral method. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2022; (3): 85–90. (in Russ.) EDN: LHDJOS.

13. Semtchenkov S., Kapsky D., Czerepicki A. Application of the Sectoral Method to Improve the Efficiency of Route Passenger Transport. *WUT Journal of Transportation Engineering*. 2022; 134(null): 17–33. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0376>.

14. Semtchenkov S.S., Kapsky D.V. Development of rational work schedules for drivers of route passenger transport using the sectoral method. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2022; (10): 64–72. (in Russ.)

15. Kapsky D., Sarazhinsky D., Semtchenkov S. Approach to solving the problem of sector formation in organizing the work of drivers at the enterprises of route passenger transport based on pseudoboolean

optimization. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2023; (1): 77–81. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-77-81>

16. Kapski D., Semtchenkov S., Khmel'nitskaya L. Measures to Improve the Operation of Passenger Transport and Urban Mobility. *Komunikacije*. 2023; Vol. 25, No. 1: A14-A25. DOI: 10.26552/com.c.2023.007. EDN: GQUPFC.

17. Semtchenkov S.S., Kapsky D.V. Improving the Efficiency of Route Passenger Transport Enterprises in Modern Conditions. *News of Science and Technology*. 2022; No. 1(60): 16–26. (in Russ.) EDN: CABOOL.

18. Morozov A.S., Taubkin G.V., Chernikov A.A. Formation of Urban Transport Policy Based on the Calculation of Objective Indicators of Transportation Quality. *Transport of the Russian Federation*. 2014; No. 4(53): 54–59. (in Russ.) EDN: SLSQQP.

19. Azemsha S.A. Substantiation of the expediency of equalizing intervals of regular passenger transport vehicles on the duplicate sections. *Technico-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2023; No. 3(65): 40–47. (in Russ.) EDN: LYGXBC.

20. Azemsha S.A. Technology of regular urban passenger transportation operation improvement. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21(3): 396–411. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>. EDN: FIDYXY

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аземша Сергей Александрович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением» Белорусского государственного университета транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9368-8910>,

**SPIN-код:** 6898-2383,

**e-mail:** s-azemsha@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT AUTHOR

Sergei A. Azemsha – Cand. of Sci. (Eng.), Associate Professor, the Head of the Department «Road Transportation and Traffic Regulation Management», Belarusian State University of Transport (34, Kirov str., Gomel, 246653).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9368-8910>,

**SPIN-code:** 6898-2383,

**e-mail:** s-azemsha@yandex.ru