

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ  
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ  
ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЛИНЕЙНОЙ СВЕРТКИ**

**АЗЕМША С. А.**

*(Белорусский государственный университет транспорта;  
г. Гомель, Республика Беларусь)*

Работа городского пассажирского транспорта регулярного сообщения (ГПТРС) оказывает существенное влияние на обширный ряд показателей жизни горожан. Показано [1, рисунки 2, 3], что расписание движения ГПТРС (в частности величина интервалов работы пассажирских транспортных средств (ПТС) на маршрутах) является основной мерой качества услуг ГПТРС со стороны пассажиров. Также установлено [1, стр. 45]:

– наименьшие потери времени пассажирами при ожидании прибытия ПТС наблюдаются при равных интервалах движения между следующими друг за другом единицами;

– с ростом среднеквадратического отклонения в интервалах времени между прибытиями ПТС на остановочный пункт будет расти среднее время ожидания пассажирами такого прибытия.

Из этого следует, что при составлении расписания работы ГПТРС необходимо стремиться к минимизации разброса интервалов между пребывающими друг за другом ПТС.

В законодательстве Республики Беларусь вопросы составления расписания движения ГПТРС оговорены в Правилах автомобильных перевозок пассажиров и Правилах перевозок пассажиров городским электрическим транспортом. В соответствии с указанными документами «расписание движения транспортного средства должно быть соотнесено с расписанием движения иных транспортных средств на дублирующих маршрутах...». В тоже время рекомендаций по составлению расписания нет. Это приводит к рассогласованной работе транспортных средств разных маршрутов, увеличивает время ожидания пассажирами на остановочных пунктах прибытия ПТС.

Для решения проблемы оптимизации расписания работы ГПТРС с учетом дублируемости маршрутов, разработана и апробирована методика оптимизации расписания движения ПТС с учетом дублируемости маршрутов [2–4], состоящая из 8 этапов:

Этап 1. Анализ сети ПТС и выделение дублирующих участков.

Этап 2. Выбор дублирующего участка для оптимизации расписания и определения его характеристик.

Этап 3. Расчет характеристик матрицы назначений дублирующего участка для исходного расписания.

Этап 4. Выравнивание интервалов времени между следующими друг за другом маршрутными транспортными средствами на дублирующем участке.

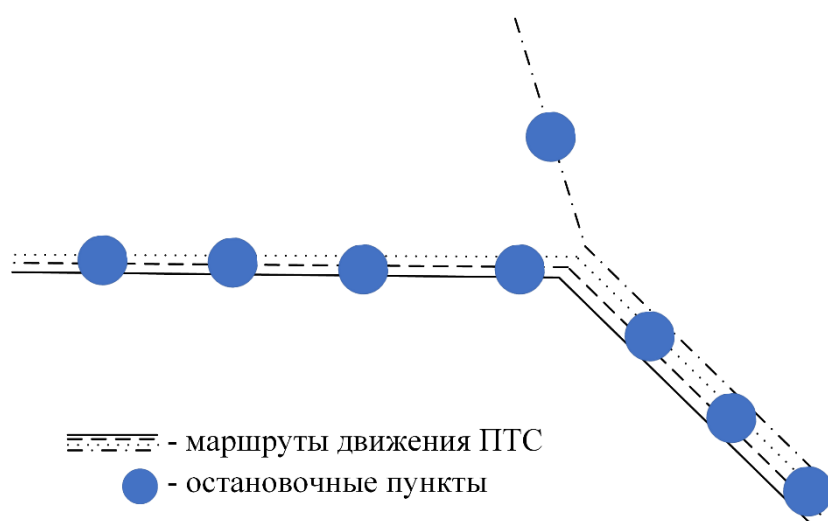
Этап 5. Расчет характеристик матрицы назначений дублирующего участка для расписания после оптимизации.

Этап 6. Определение качества оптимизированного расписания ГПТРС для дублирующих участков.

Этап 7. Согласование расписания группы дублирующих участков.

Этап 8. Оценка эффективности оптимизации расписания ГПТРС на дублирующих участках.

При этом на втором этапе ранжирование дублирующих участков предлагалось осуществлять по максимуму суммы входящих в дублирующий участок остановочных пунктов и маршрутов, что не всегда является корректным, поскольку не отражает реальной важности соотношения остановочный пункт/маршрут и допускает наличие одинаковых по значимости дублирующих участков (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Пример дублирующих участков**

На рисунке 1 есть два дублирующих участка: на одном три маршрута проходят через 4 остановочных пункта. На втором участке четыре маршрута проходят через три остановочных пункта. Значимость обоих этих дублирующих участков равна семи, что затрудняет их ранжирование и может оказать негативное воздействие на качество оптимизации расписания. Очевидно, что в реальных маршрутных сетях, отличающихся сложностью по сравнению с приведенной на рисунке 1, эта проблема будет стоять еще острее.

Таким образом цель данной публикации – разработка методики ранжирования дублирующих участков. Для достижения указанной цели предполагается применить метод линейной свертки. Математическая постановка задачи выглядит следующим образом: имеется  $k$  дублирующих участков, для каждого из которых известно  $N_{Mi}$  маршрутов и  $N_{oi}$  остановочных пунктов, где  $i = 1 \dots k$ . Необходимо определить значения  $a_m$  и  $a_o$ , таких, что  $a_m + a_o = 1$ , позволяющих найти ранг (ранжировать дублирующие участки)  $R_i = a_m N_{Mi} + a_o N_{oi}$  таким образом, что при применении предложенной и апробированной в [2–4] методике оптимизации расписания движения ГПТРС будет обеспечено максимальное значение принятого критерия оптимальности. В качестве критерия оптимальности принят [1, формула 11]:

$$\Delta T_{\text{отн}} = 1 - \frac{\bar{\Delta}_2^2 + \sigma_{\Delta 2}^2}{\bar{\Delta}_1^2 + \sigma_{\Delta 1}^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta T_{\text{отн}}$  – относительное снижение времени ожидания пассажиром прибытия ПТС, %;

$\bar{\Delta}$  – средний интервал прибытия ПТС на остановочные пункты рассматриваемого дублирующего участка;

$\sigma_{\Delta}$  – среднеквадратическое отклонение интервалов прибытия ПТС на остановочные пункты рассматриваемого дублирующего участка;

1 – индекс, показывающий значение параметра до оптимизации расписания;

2 – индекс, показывающий значение параметра после оптимизации расписания.

Для определения оптимальных значений указанных коэффициентов производилось моделирование применения разработанной ранее методики [2–4] на актуальном расписании г. Жодино с использованием разработанного для этих целей программного продукта. При этом значения коэффициентов  $a_m$  и  $a_o$  изменялись в диапазоне от 0 до 1 с шагом 0,01 и соблюдением условия  $a_m + a_o = 1$ . Установлены значения параметров расписания движения ПТС до оптимизации:  $\bar{\Delta}_1 = 24,646$  и  $\sigma_{\Delta 1} = 5,482$ . Также при моделировании производились:

– оптимизация на разном количестве дублирующих участков с целью оценки целесообразности необходимости учитывания всех дублирующих участков при оптимизации расписания;

– расчет суммы абсолютных отклонений интервалов движения от оптимального интервала до и после оптимизации расписания движения.

В результате такого моделирования получена итоговая таблица результатов (таблица). Общее количество смоделированных вариантов оптимизации расписания получилось равным 704.

Таблица. – Результаты моделирования расписания движения ПТС в г. Жодино при различных значениях весовых коэффициентов (фрагмент)

Количество дублирующих участков		$a_o$	$a_m$	Сумма абсолютных отклонений интервалов движения ПТС от оптимальных		Характеристики интервалов движения после оптимизации		$\Delta T_{отн}, \%$
всего	Доля оптимизированных			до оптимизации	после оптимизации	мат. ожидание	дисперсия	
5	0,20	0,01	0,99	565	463	24,626	30,030	0,161
5	0,40	0,01	0,99	894	726	24,626	30,019	0,163
5	0,60	0,01	0,99	1221	992	24,628	30,107	0,132
5	0,80	0,01	0,99	1817	1442	24,445	30,166	1,527
5	1,00	0,01	0,99	2130	1722	24,438	29,943	1,619
5	0,20	0,02	0,98	565	463	24,626	30,030	0,161
5	0,40	0,02	0,98	894	726	24,626	30,019	0,163
5	0,60	0,02	0,98	1221	992	24,628	30,107	0,132
5	0,80	0,02	0,98	1817	1442	24,445	30,166	1,527

На рисунке 2 приведено изменение значений  $\Delta T_{отн}, \%$  в зависимости от доли оптимизированных дублирующих участков.

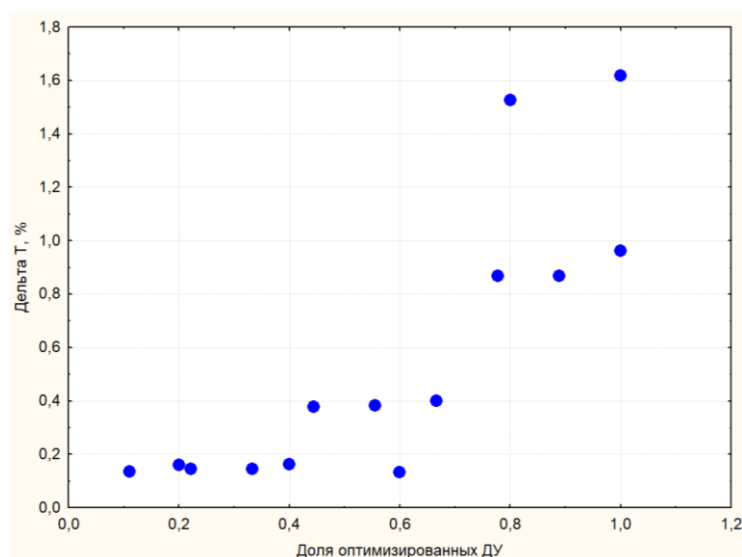
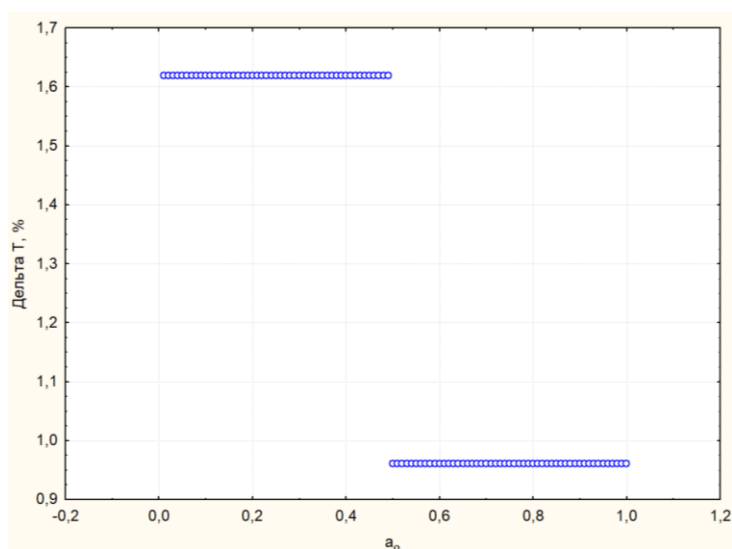


Рисунок 2 – Зависимость снижения относительного времени ожидания пассажирами прибытия ПТС ( $\Delta T_{отн}, \%$ ) от доли дублирующих участков, с учетом которых производилась оптимизация расписания движения

Из рисунка 2 видно, что наибольший эффект от оптимизации расписания движения ПТС наблюдается при учете всех дублирующих участков. Поэтому варианты, при которых моделирование производилось при учете не всех дублирующих участков в дальнейшем не рассматривались. Общее количество оставшихся смоделированных вариантов оптимизации расписания получилось равным 100. На рисунке 3 приведена зависимость значений  $\Delta T_{\text{отн}}$ , % от  $\alpha_0$ .



**Рисунок 3. – Зависимость снижения относительного времени ожидания пассажирами прибытия ПТС ( $\Delta T_{\text{отн}}$ , %) от коэффициента, учитывающего важность количества остановочных пунктов ( $\alpha_0$ )**

Увеличение рисунка 3 в точке, соответствующей  $\alpha_0 = 0,5$  показал, что при значениях  $\alpha_0 \in (0; 0,5)$  наблюдается наибольшее относительное снижение времени ожидания пассажиром прибытия ПТС для всего города. При этом относительное снижение времени ожидания каждым пассажиром составляет 1,61 %, по сравнению с существующим расписанием. Моделирование при применении описанного в [2–4] подхода к ранжированию дублирующих участков, основанному на сумме входящих в них количества остановочных пунктов и маршрутов, позволило получить  $\Delta T_{\text{отн}} = 0,96$  %. Т.е. применение обоснованных значений весовых коэффициентов позволяет повысить эффективность оптимизации расписания движения ПТС с  $\Delta T_{\text{отн}} = 0,96$  % до  $\Delta T_{\text{отн}} = 1,61$  %, что эквивалентно относительному снижению относительного времени ожидания пассажирами прибытия ПТС на 67,7 %.

Для оценки экономического эффекта от сокращения времени ожидания пассажирами прибытия ПТС на остановочные пункты использовались следующие данные:

- население г. Жодино – 64 тыс. чел [4];
- среднесуточное количество передвижений каждого жителя – 1,77 передвиж/сут [6];

– доля передвижений на ГПТРС в общем количестве передвижений – 68 % [6];

– среднее время ожидания прибытия автобуса каждым пассажиром – 9,9 мин [7];

– средняя зарплата в Беларуси – 1975,6 руб/мес [5], или  $1975,6 / (24 \cdot 8) = 10,3$  руб/час, где 24 – количество рабочих дней в месяце, 8 – количество рабочих часов в сутки.

Тогда суммарное время ожидания прибытия автобусов на остановочных пунктах всеми пассажирами за сутки составит:

$$64000 \cdot 1,77 \cdot 0,68 \cdot (9,9 / 60) = 12710 \text{ ч.}$$

Экономическая оценка таких потерь за сутки составит  $12710 \cdot 10,3 = 130913$  руб или 47,8 млн руб/год.

Как было показано выше, применение предложенной в [2–4] методике с использованием подхода к ранжированию дублирующих участков, основанном на сумме входящих в них количества остановочных пунктов и маршрутов позволит сократить на 0,96 % величину времени ожидания пассажирами прибытия ПТС, что позволит сэкономить  $4,8 \cdot 0,96 \cdot 1000 / 100 = 46,08$  тыс. руб/год. Применение предложенной методики с учетом обоснованных значений весовых коэффициентов  $\alpha_m$  и  $\alpha_o$  позволит сократить на 1,61 % величину времени ожидания пассажирами прибытия ПТС, что позволит сэкономить  $4,8 \cdot 1,61 \cdot 1000 / 100 = 77,28$  тыс. руб/год. Таким образом применение предложенной методики с учетом обоснованных значений весовых коэффициентов  $\alpha_m$  и  $\alpha_o$  позволяет повысить эффект от оптимизации расписания движения ПТС на  $77,28 - 46,08 = 31,2$  тыс. руб/год.

Таким образом установлено, что для условий г. Жодино при оптимизации расписания движения ГПТРС по методике [2–4], рекомендуется использовать значения  $\alpha_o \in (0; 0,5)$  и соответствующие ему значения  $\alpha_m = 1 - \alpha_o$ . Экономическая оценка полученного при этом эффекта составит:

– 77,28 тыс. руб/год – по сравнению с неоптимизированным расписанием движения ПТС;

– 31,28 тыс. руб/год – по сравнению с оптимизированным расписанием, основанном на применении подхода к ранжированию дублирующих участков с учетом суммы входящих в них количества остановочных пунктов и маршрутов.

Дальнейшие научные работы в этом направлении следует сконцентрировать на определении оптимальных значений  $\alpha_m$  и  $\alpha_o$  для условий функционирования ГПТРС других населенных пунктов с последующим поиском зависимости значений указанных коэффициентов от параметров таких населенных пунктов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аземша, С. А. Обоснование целесообразности выравнивания интервалов движения пассажирских транспортных средств регулярного сообщения на дублирующих участках / С. А. Аземша // Технично-технологические проблемы сервиса. – 2023. – № 3(65). – С. 40–47. – EDN LYGXBC.
2. Аземша С.А., Кравченя И.Н. Оценка эффективности оптимизации расписания движения городского пассажирского транспорта на дублирующих участках. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2021;18(1):72. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-72-85>.
3. Kravchenya I.N./ SIMULATION MODELING OF URBAN PASSENGER TRANSPORT SCHEDULE ON DUPLICATING STRETCHES / I.N. Kravchenya, S. A. Azemsha, L. S. Feizullaeva // Modern Technology and Innovative Technologies. – 2021. – Issue 16 / Part 3. P.59–63.
4. Azemsha, S., Kravchenya, I., Vovk, Y., Lyashuk, O., Vovk, I. Scheduling technique of route vehicles on duplicating stretches. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2021, 113, 5-16. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.1>.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 20.03.2024.
6. Аземша, С. А., Морозов, В. М. (2023). Расчет параметров транспортной подвижности населения г. Гомеля. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки, (1), 60–64. <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-60-64>.
7. Dziekan, K., Watkins, K., Ferris, B., Borning, A., Rutherford, S., & Layton, D. (2011). Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2011.06.010>.