



ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕРВИСА

УДК 338.47

ДОРОЖНОЙ ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВМЕСТИМОСТИ: ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С.А. Аземша¹

*Белорусский государственный университет транспорта,
Беларусь, 246653, г. Гомель ул. Кирова, 36.*

В данной публикации дан литературный обзор научных публикаций по тематике, касающейся использования дорожного пассажирского транспорта динамической вместимости – прицепных пассажирских транспортных средств, которые в период роста пассажиропотока сцепляются, повышая вместимость, а в периоды спада – расцепляются, уменьшая вместимость. Показаны современные научные и практические тенденции этого направления за рубежом. Предложен новый подход к организации работы пассажирского транспорта регулярного сообщения в Республике Беларусь, заключающийся в ежедневном прогнозировании пассажиронапряженности на каждый рейс каждого маршрута с последующим назначением на такие рейсы пассажирских транспортных средств динамической вместимости, максимально соответствующей имеющейся пассажиронапряженности.

Ключевые слова: пассажирский транспорт регулярного сообщения, модульные пассажирские транспортные средства, пассажирский прицеп, пассажиронапряженность.

DYNAMIC CAPACITY ROAD PASSENGER TRANSPORT: THE HISTORY OF ITS APPEARANCE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

S.A. Azemsha

Belarusian State University of Transport, 36 Kirova str., Gomel, 246653, Belarus.

This publication provides a literary review of scientific publications on topics related to the use of dynamic capacity road passenger transport – trailed passenger vehicles that, during a period of increasing passenger traffic, interlock, increasing capacity, and during periods of recession, uncouple, reducing capacity. Modern scientific and practical trends in this field abroad are shown. A new approach to the organization of regular passenger transport in the Republic of Belarus is proposed, which consists in daily forecasting of passenger traffic for each flight of each route, followed by the assignment of passenger vehicles of dynamic capacity to such flights, which maximally corresponds to the available passenger traffic.

Keywords: regular passenger transport, modular passenger vehicles, passenger trailer, passenger tension

История становления

Дорожный пассажирский транспорт динамической вместимости (ДПТДВ) начал применяться с использования прицепных пассажирских транспортных средств (прицепов, полуприцепов) для гибкого реагирования на колебания пассажиропотока, увеличения вместимости и снижения количества водителей началось более 100 лет назад¹. Первый автобус с прицепом был разработан в 1920-х годах в Амстердаме².

Во время Второй мировой войны и в первые послевоенные годы прицепные автобусы

использовались как простой и экономичный способ автобусного транспорта для замены изношенных обычных автобусных парков. Полуприцепы были простыми и неудобными, но каждый мог перевозить больше пассажиров, чем одиночный автобус, и почти столько же, сколько двухэтажный автобус, который при этом не имел недостатков, присущих последним – увеличенное время на посадку-высадку пассажиров при высокой заполненности салона

EDN LSSYTM

¹Аземша Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой "Управление автомобильными перевозками и дорожным движением", тел.: +3(7529) 731-66-77, e-mail: s-azemsha@yandex.by, ScopusID: 15020262100, ORCID:0000-0002-9368-8910.

¹ Wikipedia. The free encyclopedia [Electronic resource]: Trailer bus – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Trailer_bus. - Дата доступа: 21.12.2023.

² Internet archive wayback machine [Electronic resource]: Buses galore – Режим доступа: <https://web.ar->

[chive.org/web/20080302231425/http://homepages.cwi.nl/~dik/english/public_transport/odds_and_ends/bus.html](https://web.archive.org/web/20080302231425/http://homepages.cwi.nl/~dik/english/public_transport/odds_and_ends/bus.html). - Дата доступа: 21.12.2023.

эксплуатировались в Индии³, Лозане⁴, Австралии, Мексике, США.

Также прицепные пассажирские транспортные средства Территория бывшего СССР не стала исключением. В 1966 году киевский инженер В. Ф. Веклич для решения проблем дефицита водителей, повышения рентабельности перевозок и наличия маршрутов с чрезвычайно большим пассажиропотоком создал систему соединения троллейбусов в поезд с управлением по системе многих единиц представляющей собой способ управления железнодорожным подвижным составом, при котором в один поезд сцепляется несколько локомотивов или моторных вагонов, а управление тяговыми двигателями ведётся с одного поста управления и одной локомотивной бригадой.

Предложенная Векличем система сцепки позволяла за 3-5 минут расцеплять троллейбусные поезда прямо на маршруте между утренними и вечерними часами пик⁵. После разъединения водитель поезда продолжал движение в первом троллейбусе, а водитель следующего за ним поезда пересаживался во второй троллейбус поезда. Освободившийся поезд оставался на маршруте для отстоя или следовал в депо для профилактического осмотра.

Для создания троллейбусов, способных работать в таких режимах управления, Векличем В.Ф. проведена огромная работа по решению следующих научно-технических задач: обоснование параметров соединительно-управляющих устройств, разработка систем управления торможением ведомых звеньев поездов, разработка методов и средств диагностирования специального оборудования поездов и др. задачи технического характера. В результате и на ведущей, и на ведомой машинах синхронно работали двигатели и тормоза, у них небыло проблем с нехваткой тяги, юзом и буксованием, при этом управлялись они одним водителем из кабины передней машины. Вместимость одной единицы выпуска повышалась вдвое, что позволяло снизить количество водителей, а специальное поворотное сцепное устройство, обеспечивало движение ведомой машины по колеям ведущей.

Автором показано, что фактический экономический эффект от внедрения троллейбусных

поездов составил 2,1-4,9 тыс. руб на один поезд в год [1, с. 29]. Также показано, что для одного маршрута снижение себестоимости достигает 13974 рубля за месяц (на 25 %) [2, таблица 4]. Кроме того, автор установил [1, 2, 3], что:

- применение таких троллейбусов, по сравнению с шарнирно-сочлененными единицами, имеют более высокие тормозные и динамические характеристики, а также вместимость;
- безопасность при перевозке такими троллейбусами в 2,6 раз выше [1, с. 30];
- применение троллейбусных поездов позволяет повысить среднесуточную продолжительность смены водителя и сократить их необходимое число.

Отдельно следует отметить, что такие троллейбусные поезда до 1976 года эксплуатировались нелегально, хотя только в Киеве их было больше 160 единиц. Только отсутствие дорожно-транспортных происшествий по вине их конструкции не создало проблем. Перед началом их эксплуатации необходимо было провести приёмочные испытания и разработать соответствующие технические условия, что не было сделано, поскольку Госавтоинспекция СССР не могла определиться с организацией, которой можно было поручить эту нестандартную задачу – ведь опыта испытания нерельсовых поездов в СССР не было. Только в 1975 году на это уполномочили ГАИ УССР. Введением в действие ТУ «Поезд троллейбусный»⁶ 31 марта 1976 года поезда были узаконены.

Следует отметить, что приведенные в [1, 3, 2] предложения не касались технологии организации перевозок с применением прицепных троллейбусов, т.е. не описана методика распределения этих троллейбусов по маршрутам, по часам суток и т.д., что в настоящее время, с учетом цифровизации транспортной отрасли, представляет собой перспективное обширное поле деятельности по повышению эффективности работы пассажирского городского транспорта регулярного сообщения.

Троллейбусные поезда эксплуатировались во многих городах бывшего СССР. Последний поезд был списан в 2013 году в Краснодаре⁷.

³ Internet archive wayback machine [Electronic resource] : Vintage Photos: Time-Travelling With Mumbai's Iconic BEST Buses – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20180227210958/http://www.natgetraveller.in/vintage-photos-time-travelling-with-mumbais-iconic-best-buses/>. – Дата доступа: 21.12.2023.

⁴ Urban transport magazine [Electronic resource] : The end of trolleybus trailer operation – Режим доступа: <https://www.urban-transport-magazine.com/en/the-end-of-trolleybus-trailer-operation/>. – Дата доступа: 21.12.2023.

⁵ Общественный транспорт Кубани и Адыгеи [Электронный ресурс] : Интернет-энциклопедия по пассажирскому транспорту Краснодарского края и Республики Адыгея – Режим доступа: <http://www.kubtransport.info/photos/k207943.jpg>. – Дата доступа: 19.12.2023.

⁶ ТУ 204 УССР 679-75 «Поезд троллейбусный» (введены в действие 31.03.1976)

⁷ Общественный транспорт Кубани и Адыгеи [Электронный ресурс] : Троллейбусные поезда Краснодара – Режим доступа: <http://www.kubtransport.info/articles/trains.html>. – Дата доступа: 19.12.2023

Основными причинами отказа от прицепных пассажирских транспортных средств явились:

- необходимость иметь кондуктора в прицепе;
- неписываемость в узкие улицы городов;
- некомфортные условия движения для пассажиров в прицепной единице;
- отсутствие низкопольных прицепов;
- отсутствие обогрева в прицепе;
- невозможность контроля порядка в прицепе водителем.

Текущее состояние ДПТДВ

В настоящее время ДПТДВ представлен двумя концептуально разными видами транспортных средств:

- прицепные пассажирские транспортные средства, известные в литературе под названиями *taxi-Train*, *BusTrain*, *trailer bus*, *Buszug*, *Busanhänger*, *Anhänger Bus*, *passenger bus trailer*;
- модульные пассажирские транспортные средства, известные в литературе под названиями *modular autonomous buses (MAB)*; *modular autonomous vehicles (MAV)*; *Modular bus units (MBU)*; *Dynamic Autonomous Road Transit (DART)*; *modular, adaptive, and autonomous transit system (MAATS)*).

Сейчас автобусы с прицепом под различными названиями эксплуатируются в:

- Германии. В Мюнхене (Рисунок 1) в 2017 г закуплено 10 пар автобусов с полуприцепами общей стоимостью 4.9 млн евро⁸, а также в

Оснабрюк, Зиген, Констанц и Ройтлинген⁹, Ханау¹⁰, Грёбенцелля, Цусмарсхаузена, Графенберга, Эрлензее, Альтенштадта и многих других городах Германии¹¹. В Германии с 2003 г законодательством разрешена перевозка пассажиров в специальных прицепах при условии получения специального разрешения на такой способ перевозки;



Рисунок 1 – Автобусы с прицепом в Мюнхене

- Грац, Австрия¹²;
- Нидерланды¹³.

Автобусные прицепы производят в настоящее время:

- компания HESS (Швейцария)¹⁴
- Sono motors, Германия¹⁵
- MAN Truck & Bus GmbH¹⁶
- Göppel Bus GmbH, Германия¹⁷

С марта 2023 года финансируется научный проект «MINGA»¹⁸, бюджет 13 млн евро, предусматривающий реализацию взводного движения автобусов (*platooning*), заключающегося в следовании автобусов друг за другом на небольшом расстоянии и сочлененных виртуальным дышлом (*virtual drawbar*).

⁸ Busplaner [Электронный ресурс] : ÖPNV: Zehn neue Buszüge für München – Режим доступа: <https://www.busplaner.de/de/news/busanhaenger-und-buszuege-wie-gepaeckanhaenger-personenanhaenger-und-sonstige-anhaenger-linienverkehr-oeffentlicher-personennahverkehr-oepnv-oepnv-unternehmen-oepnv-zehn-neue-buszuege-fuer-muenchen-8384.html>. – Дата доступа: 19.12.2023

⁹ Matthias Gastel. Mitglied im Deutschen Bundestag [Электронный ресурс] : Kapazität im ÖV mit Busanhängern erhöhen – Режим доступа: <https://www.matthias-gastel.de/kapazitaet-im-oev-mit-busanhaengern-erhoehen/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁰ Einsatzübersicht Omnibus-Anhängerzüge [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.stadtbus.de/2012/einsatz_anhaenger.htm/. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹¹ Tramreport [Электронный ресурс] : S-Bahn-Sperung: Expressbus U5 statt Tramverstärker – Режим доступа: <https://www.tramreport.de/tag/buszug/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹² Tramreport [Электронный ресурс] : Buszug: Testeinsatz in Graz – Режим доступа: <https://www.tramreport.de/2018/10/18/buszug-testeinsatz-in-graz/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹³ Nexobus [Электронный ресурс] : Un autobús con remolque de la compañía Hess Bus está a prueba en la parte oriental de los Países Bajos – Режим доступа:

<https://www.nexotrans.com/noticia/76063/nexobus/un-autobus-con-remolque-de-la-compania-hess-bus-esta-a-prueba-en-la-parte-oriental-de-los-paises-bajos.html>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁴ Carrosserie HESS AG [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.hess-ag.ch/fileadmin/user_upload/Hess/Bus/Buszug/Flyer/HESS_Broschuere_Buszug_E.pdf. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁵ New atlas [Электронный ресурс] : Sono Motors to ride a solar passenger bus trailer on Munich streets – Режим доступа: <https://newatlas.com/automotive/sonomotors-mvg-solar-bus-trailer-munich/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁶ Tramreport [Электронный ресурс] : Präsentation der neuen MAN-Buszüge – Режим доступа: <https://www.tramreport.de/2014/10/21/prasentation-der-neuen-man-buszuege/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁷ Грузовик экспресс [Электронный ресурс] : Главное - хвост – Режим доступа: <https://www.gruzovikpress.ru/article/17405-avtobusniy-poezd-goeppegogo4city-glavnoe-hvost/>. – Дата доступа: 19.12.2023.

¹⁸ Muenchen unterwegs [Электронный ресурс] : Automatisierung und digitale Vernetzung des öffentlichen Nahverkehrs in München. Fördervorhaben MINGA – Режим доступа: <https://muenchenunterwegs.de/angebote/minga>. – Дата доступа: 19.12.2023

К сожалению, автору данной публикации не удалось найти научных статей, описывающих (обосновывающих) технологии организации пассажирского транспорта, состоящего из прицепных пассажирских транспортных средств.

Модульные пассажирские транспортные средства

В общем эволюция технологий пассажирских перевозок неплохо описана в [4]. Согласно такому описанию, модульные пассажирские транспортные средства являются на текущий момент наиболее современным этапом становления пассажирского транспорта.

Передовиками в разработке модульного пассажирского транспорта является компания NEXТ, Дубай¹⁹. NEXТ – передовая интеллектуальная транспортная система, основанная на множестве модульных электромобилей. Каждый модуль может присоединяться и отсоединяться от других модулей на стандартных городских дорогах. При соединении они создают между модулями открытую зону, похожую на автобус, позволяющую пассажирам стоять и переходить от одного модуля к другому.

Продажи модулей запланированы на август 2024 года. Вместимость модуля 15 пассажиров (5 сидячих мест и 10 стоячих), управление водителем. Стоимость покупки одного модуля от 1950 Евро в месяц. Оплата в течении 60 месяцев, т.е. стоимость одного модуля вместимостью 15 пассажиров от 117000 евро. Длина одного модуля 3,28 м, т.е. в соответствии с действующими Правилами дорожного движения Республики Беларусь возможна сцепка максимум из 5 модулей. Общая вместимость сцепки составит 75 пассажиров, а ее стоимость от 585000 евро²⁰.

Возможность использования модульных пассажирских транспортных средств при городских перевозках рассматривалась и в Сингапуре в рамках изучения и оценки динамического автономного дорожного транспорта (Dynamic Autonomous Road Transit (DART))²¹.

Возможный варианты технологии организации работы таких модулей достаточно широко освещена в научной литературе. Так, например, в работе [5] такая технология проиллюстрирована рисунком (Рисунок 1).

Предполагается, что пассажиры заказывают поездку через мобильное приложение и указывают пункты отправления и назначения. Затем система генерирует оптимальный маршрут для каждого пассажира и назначает модуль

для работы на маршруте. В зоне пересадки в движении пассажиры могут пересаживаться между модулями в движении, чтобы достичь своего пункта назначения (Рисунок 2). Это позволяет сократить время поездки и увеличить эффективность использования модулей.

В статье отмечается, что модульный пассажирский транспорт не имеет фиксированных маршрутов и расписаний, а вместо этого использует адаптивную стратегию, которая позволяет ему изменять свои маршруты в режиме реального времени в зависимости от потребностей пассажиров. Приведенный авторами пример расчета на произвольных исходных данных показал, что при традиционной системе использования обычных автобусов среднее время в пути составляет 17,09 минут, в то время как при предлагаемой системе МААТS – 14,7 минут, т.е. среднее время на поездку сокращается на 18%.

В работе [6] исследуется возможность использования автономных модульных автобусов для улучшения городского общественного транспорта и повышения комфорта пассажиров. Автор рассматривает в исследовании 4 вида услуг:

1 Обычный автобусный сервис (S1) – автобусы выполняют остановки в соответствии с установленным расписанием и маршрутом, а пассажиры заходят и выходят из автобуса на остановках в соответствии с их потребностями. Этот тип сервиса является базовым сценарием для сравнения с другими видами услуг, рассмотренных автором.

2 Автономный автобусный сервис (S2) – аналогичен автобусному сервису (S1), за исключением того, что автобусы будут управляться самостоятельно, без водителя.

3 Сервис с оборачиваемыми модульными автобусами (S3) – представляет собой концепцию, направленную на минимизацию времени в пути пассажиров до уровня, сравнимого с услугой "от двери до двери", путем устранения промежуточных остановок, которые есть в обычном автобусном сервисе (Рисунок 3, а).

Для этого разработана концепция автобусной остановки, отличная от традиционной. Согласно такой концепции на каждой остановке размещается один или несколько автономных модулей (изображены зеленым цветом на Рисунок 3, а), в который пользователи заходят по мере прибытия, чтобы дождаться состава, состоящего из автономных модулей одного типа (изображены зеленым цветом на Рисунок 3, а). Когда такой состав подъезжает к остановке, он

¹⁹ Next [Электронный ресурс] : Next scenarios – Режим доступа: <https://www.next-future-mobility.com/copy-of-home-1>. – Дата доступа: 19.12.2023.

²⁰ Next [Электронный ресурс] – Режим доступа: Price List NX23 short V3.7.pdf. – Дата доступа: 19.12.2023.

²¹ A research platform for Singapore [Электронный ресурс] : Towards the Ultimate Public Transport System – Режим доступа: <https://www.tum-create.edu.sg/content/towards-ultimate-public-transport-system-0>. – Дата доступа: 19.12.2023.

не снижает скорости. При этом от него отсоединяются модули, где находятся только те пассажиры, которые хотят закончить свою поездку на этой остановке (изображены красным цветом на Рисунок 3, а). Для этого они предварительно в процессе движения состава группируются в соответствующих модулях путем перехода между модулями через межмодульные двери (см. Рисунок 2). В то время как модули будут замедляться

для остановки, происходит обратный процесс: модуль (модули), которые находились на остановке, ускоряются, чтобы пристроиться к составу спереди. В результате этой операции пассажиры (в белых капсулах на Рисунок 3) не тратят время на остановки, где им не нужно выходить.

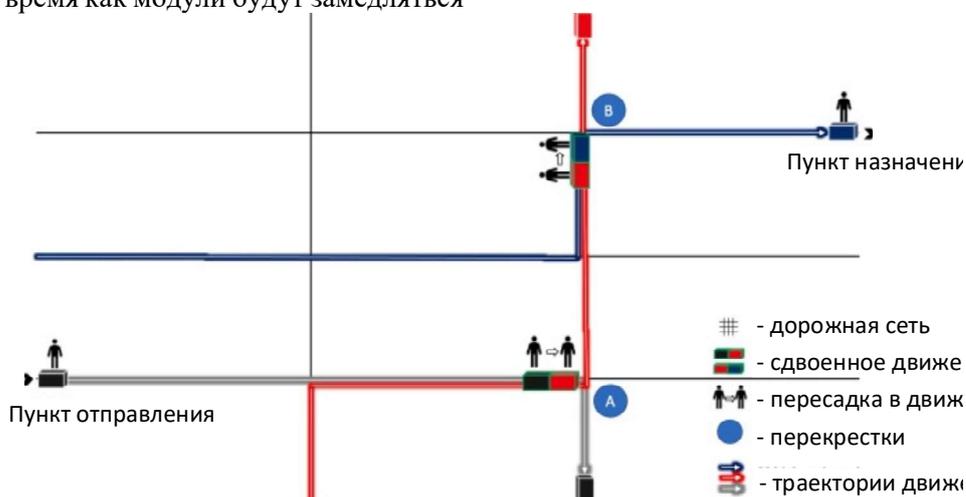


Рисунок 1 – Иллюстративный пример поездки пассажира в предлагаемой модульной автобусной системе [5, с 82]

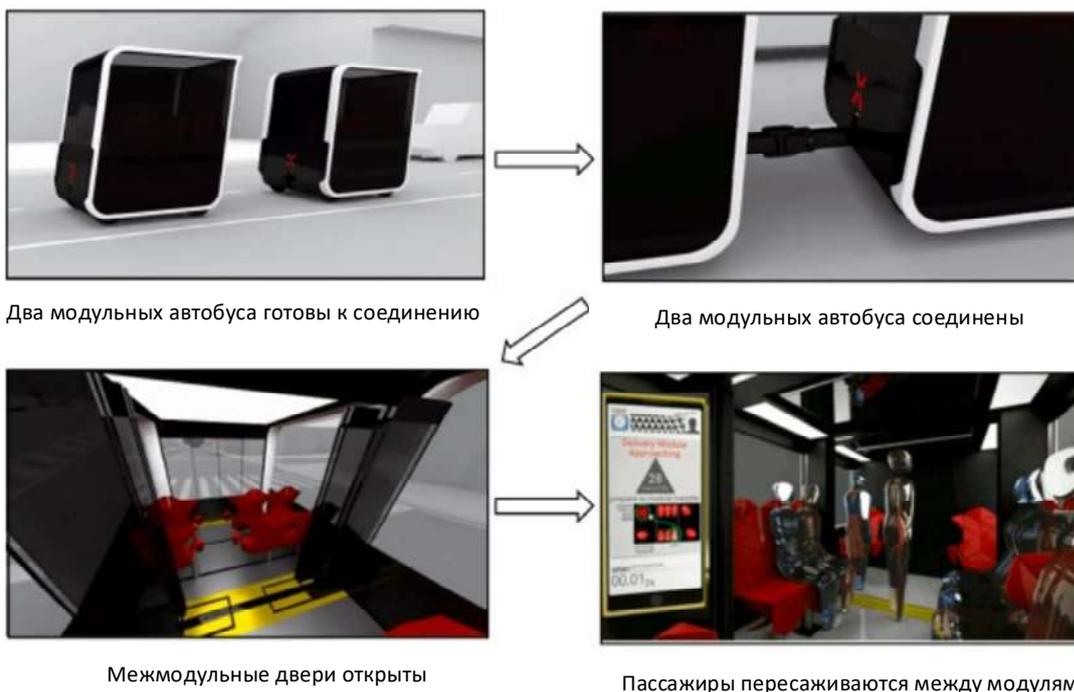


Рисунок 2 – Иллюстративный пример поездки пассажира в предлагаемой модульной автобусной системе [5, с 85]

Очевидно, что модель S3, обладает эксплуатационными преимуществами по сравнению с существующей традиционной моделью (S1), такими как отсутствие затрат на оплату труда водителей, увеличение скорости доставки пассажиров, что, в свою очередь, позволяет сократить время на доставку пассажиров и потенциально уменьшить количество транспортных

средств в обращении. Однако эксплуатация может быть несколько сложной и запутанной, так как модули необходимо присоединять спереди модульного автобуса и отсоединять сзади, а для пассажиров определенным неудобством будет то, что им придется перемещаться в движении

из модуля в модуль. Чтобы решить эти проблемы, сохранив при этом преимущества пересадок по маршруту, предлагается сервис S4.

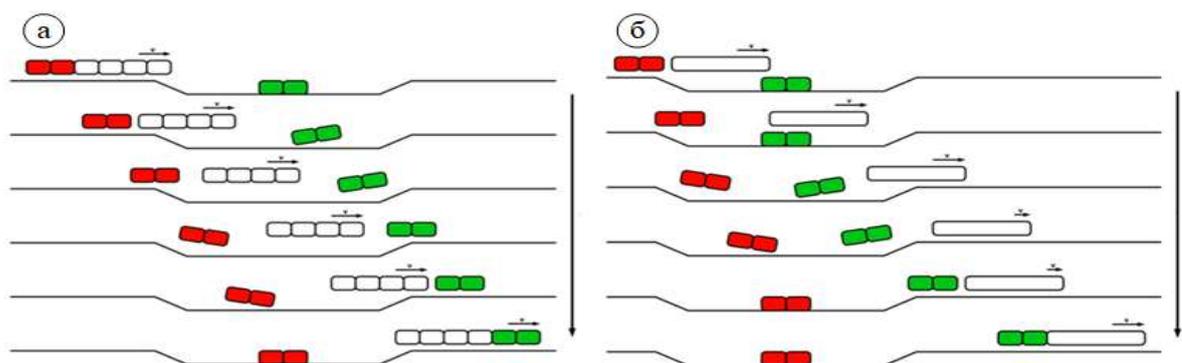


Рисунок 3 – Изображение сервисов: а – S3 [6, с. 33]; б – S4 [6, с.44]

4 Сервис с модульными автобусами, основанными на "материнском" автобусе (S4) – модули прицепляются и отцепляются только с задней части материнского автобуса (Рисунок 3, б). Эта операция означает, что, в отличие от сервиса S3, в данном случае будут использоваться транспортные средства, которые физически проезжают всю линию сразу, без остановок на промежуточных остановках (материнский автобус – белого цвета на Рисунок 3, б). Такие материнские автобусы представляют собой обычные автономные автобусы, как в модели S2.

Таким образом, в этой модели сосуществуют два типа транспортных средств: авто-

номные автобусы большой вместимости, которые не останавливаются на промежуточных остановках, и автономные модули, которые прицепляются/отцепляются от задней части автобусов и останавливаются на промежуточных остановках. Во всех остальных аспектах будут приняты те же допущения, что и в сервисе S3.

Моделирование работы пассажирского транспорта при каждом из четырех рассмотренных вариантов сервисов позволило авторам выделить сферы целесообразности применения каждого сервиса. Так показано изменение стоимости функционирования системы в зависимости от технической скорости движения (Рисунок 4).

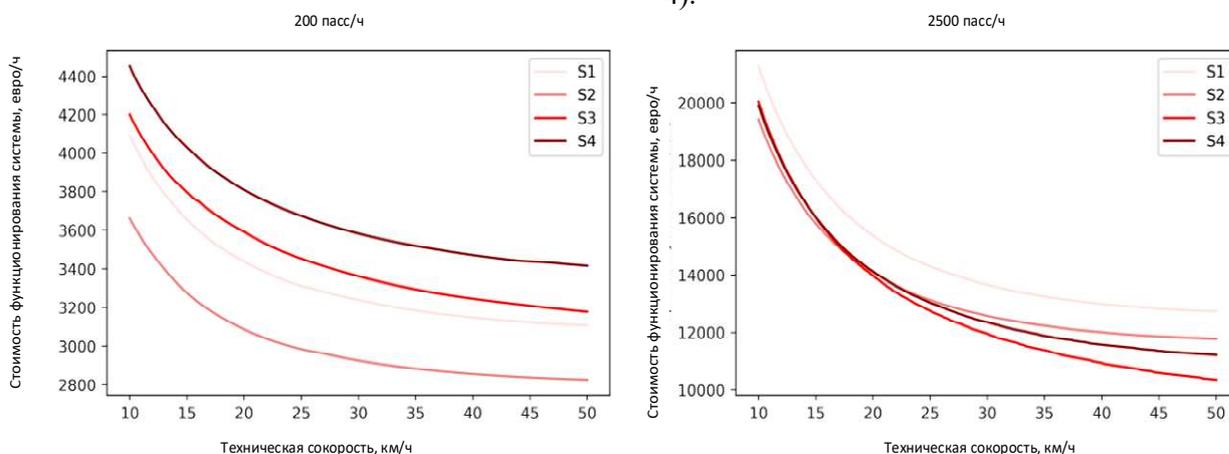


Рисунок 4 – Стоимость функционирования системы в зависимости от технической скорости для мощности пассажиропотока 200 и 2500 пасс/ч [6, с. 66].

Из Рисунок 4 видно, что услуга S2 наиболее оптимальна для всей анализируемой области скоростей при низком спросе (200 пасс/ч). Сценарий с высоким спросом (2500 пасс/ч) показывает, что затраты явно выше, чем при низком пассажиропотоке. Сервис S2 является оптимальным для скоростей до 18 км/ч. При больших скоростях лучшим становится сервис S3.

Рисунок 5 показывает изменение затрат оператора (евро/час) и среднего времени на поездку пассажиром в зависимости от технической

скорости движения. В целом, кривые имеют тенденцию к снижению.

Как можно заметить, кривые содержат небольшие скачки вдоль своей траектории (см. Рисунок 5). Эти скачки обусловлены изменением оптимальных значений как интервала движения, так и расстояния между остановками, которые, в свою очередь, вызывают значительные изменения в затратах, понесенных оператором и пользователями. Однако эти скачки не проявляются на почти однородных кривых, представля-

ющих стоимость системы т.к. они имеют противоположное направление для оператора и для пользователей. Т.е., например, увеличение среднего расстояния между остановками на 100 м может означать сокращение парка, необходимого оператору, но увеличивает время подхода и отхода пассажиров. Поэтому в итоге они нивелируются и не оказывают влияния на однородный тренд кривой стоимости системы (Рисунок 5). Из этого рисунка также видно, что для всех

случаев низкого пассажиропотока предпочтительным является сервис S2. Этот сервис также будет предпочтительным при высоком пассажиропотоке с точки зрения минимизации затрат оператора. С точки зрения минимизации затрат времени на поездку при высоком пассажиропотоке на скоростях до 42 км/ч оптимальным будет сервис S4. На больших скоростях сервис S3 и S4 показывают примерно одинаковый уровень времени на поездку.

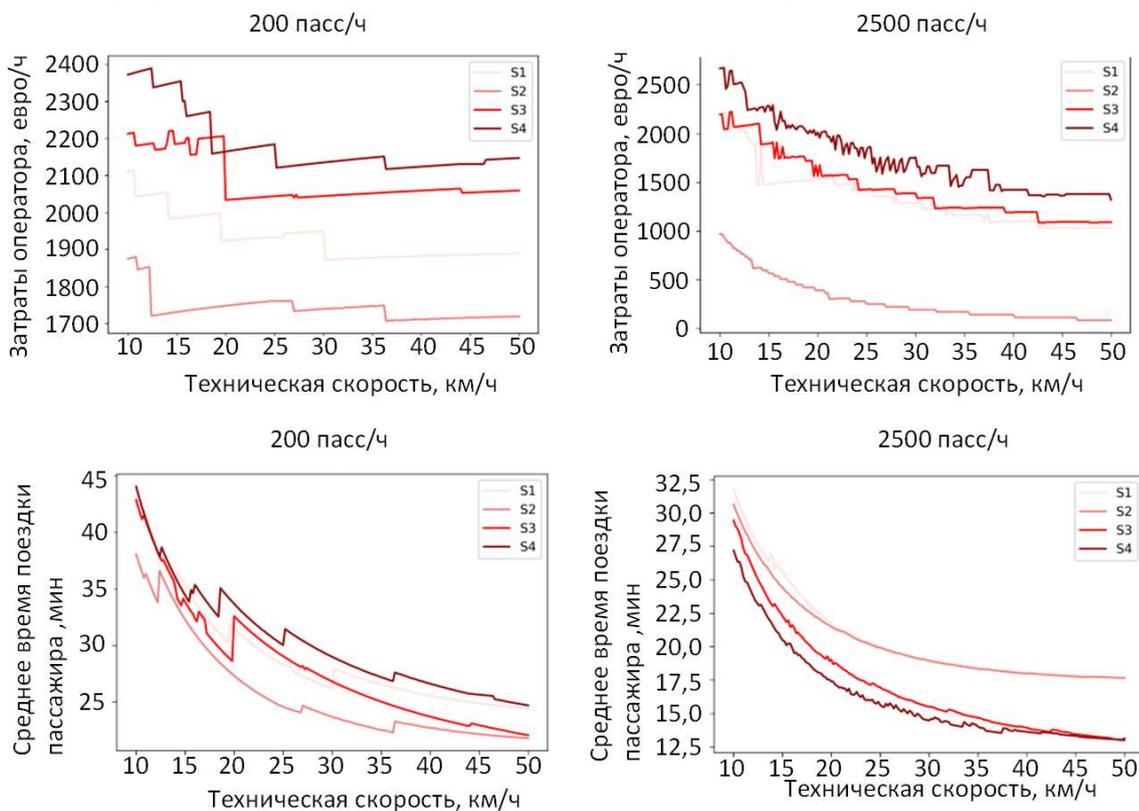


Рисунок 5 – Затраты оператора и среднее время поездки пассажира в зависимости от технической скорости при значениях пассажиропотока 200 пасс/ч и 2500 пасс/ч [6, с. 67].

Показано также влияние величины пассажиропотока на величину затрат оператора и на среднее время поездки пассажира (Рисунок 7).

Рисунок 7 показывает, что с точки зрения снижения затрат оператора оптимальной будет использование стратегии S2. Что касается затрат времени пассажиров, то при малых значениях пассажиропотока (до 750 пасс/ч) оптимальным будет сервис S1, при значениях пассажиропотока 750–1200 пасс/ч оптимальными будут сервисы S3 и S4. При дальнейшем росте пассажиропотока оптимальным будет применение сервиса S4.

Построен график сферы целесообразности применения рассматриваемых стратегий в зависимости от мощности пассажиропотока и технической скорости (Рисунок 6). Как видно S2 является оптимальной ниже определенного порога спроса, который снижается по мере увеличения технической скорости. С другой стороны, услуга S4 является наиболее оптимальной при

высоком спросе (более 3000 пасс/ч) и низкой технической скорости (менее 20 км/ч), а в правой верхней части графика доминирует услуга S3.

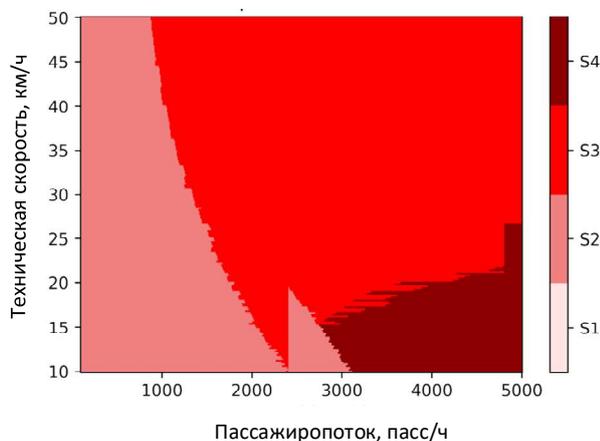


Рисунок 6 – Оптимальное обслуживание в зависимости от спроса и технической скорости [6, с. 71]

Приведены сферы целесообразности применения рассматриваемых сервисов при различных значениях пассажиропотока (1500 пасс/ч и 2500 пасс/ч), стоимости автономного

пассажирского транспортного средства (от 0 до 1 млн евро) и стоимости модуля (в долях от стоимости автономного транспортного средства) (Рисунок 8).

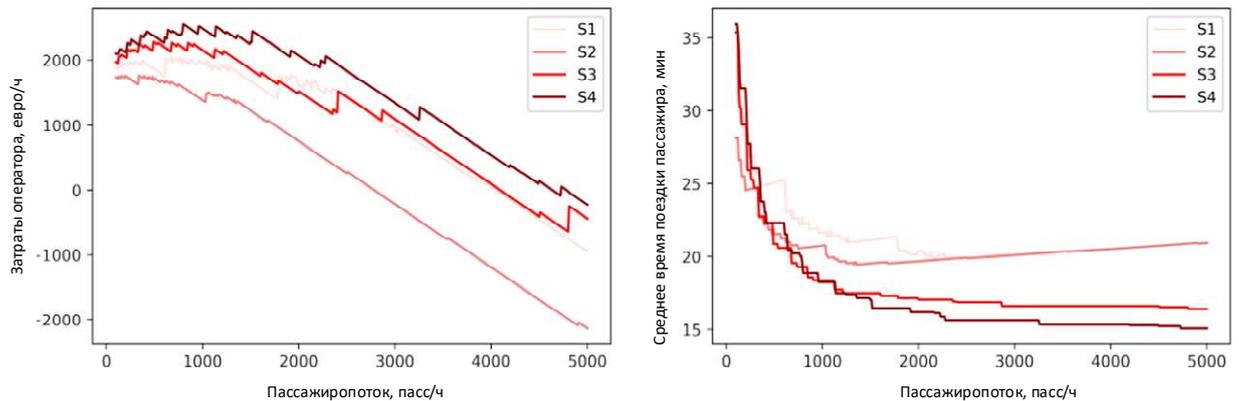


Рисунок 7 – Затраты оператора и среднее время поездки пользователей в зависимости от мощности пассажиропотока [6, с. 69]

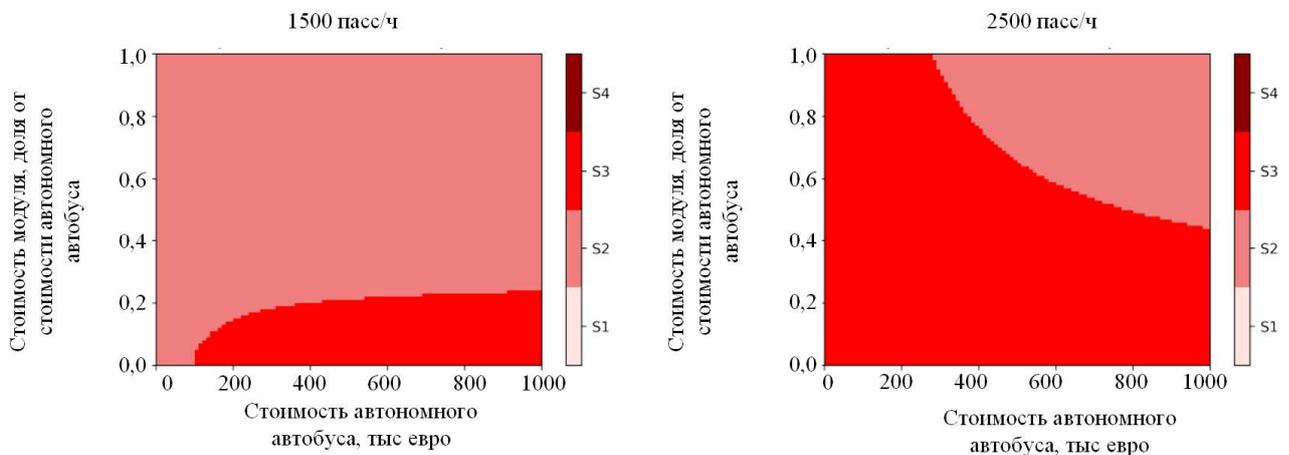


Рисунок 8 – Оптимальный сервис в зависимости от стоимости покупки автономного автобуса и модуля [6, с. 73]

Видно, что при спросе 1500 пасс/час сервис S3 оказывается наиболее оптимальным, если стоимость покупки автономных автобусов превышает 100000 евро, а цена модуля составляет менее 20% от стоимости этих автобусов, в то время как S2 оптимален в остальной части области (

Рисунок 8). При спросе 2500 пасс/ч услуга S3 становится оптимальной в более широкой области: при стоимости покупки автономных автобусов ниже 300000 евро и стоимости модуля около 0,4, что имеет смысл, поскольку в сценариях с высоким спросом пользователи имеют больший вес на общую стоимость системы, и поэтому услуга, более выгодная для них, становится более оптимальной.

Схожие выводы о целесообразности перехода на автономный пассажирский транспорт содержатся и в других научных публикациях, например в [7]. Однако следует понимать, что в приведенных выше расчетах авторы использо-

вали переменные, величины которых будут существенно отличаться для условий Республики Беларусь. Например:

- стоимость 1 пассажиро-часа – 12,5 евро [6, таблица 2]. Рассчитана исходя из средней заработной платы в 2000 евро в месяц;
- стоимость проезда – 1 евро [6, таблица 2];
- стоимость покупки: обычного автобуса 550000 евро, автономного автобуса 650000 евро, модуля 150000 евро [6, таблица 3];
- заработная плата водителя с учетом налогов 37,72 евро/час [6, таблица 3].

Очевидно, что для условий Республики Беларусь значения таких исходных данных будут иные, что ставит под сомнение экономическую целесообразность реализации стратегий S2, S3, S4. Кроме того, реализация стратегий S3 и S4 предусматривает перемещение пассажиров внутри салона во время движения транспортного средства, навыки пользования мобильным телефоном, что кажется трудно реализуемым для не-

которых категорий пассажиров, в том числе преклонного возраста, а также с багажом. Также технологии беспилотного вождения автобусов несовершенны и ДТП с их участием имеют место быть.²²²³

Еще одной системой автобусов, аналогичных системе NEXТ, является система DART. Преимущества применения таких модульных автобусов системы схожи с описанной выше системой NEXТ, и заключаются в [8]:

- лучшая интеграция с интеллектуальной автобусной остановкой обеспечит более быстрый процесс посадки/высадки, что способствует сокращению времени пребывания в автобусе;

- динамическая расстановка приоритетов на дороге обеспечивает более плавное движение с минимальным негативным воздействием на частные автомобили;

- функция диспетчеризации, реагирующая на спрос, повышает адаптивность к колебаниям спроса за счет подстройки вместимости составов модулей под мощность пассажиропотока;

- функция взводного движения обеспечивает объединение одновременно находящихся на дороге модулей во взвод(ы), что минимизирует транспортное воздействие на дороги.

Моделирование работы транспорта по классической системе и систем DART показало, что последний вариант примерно на 40 % дешевле существующего [8, рисунок 3].

В работе [9, раздел 5.2] производится моделирование работы модульных пассажирских транспортных средств методами непрерывного моделирования в одном из районов г. Тампа (штат Флорида, США) с целью оценки эффективности такой системы по сравнению с существующей автобусной системой. Авторы принимают известными абстрактными значения пассажиропотока на 2040 год, равные интервалы движения пассажирских транспортных средств при обоих рассматриваемых системах обслуживания пассажиров.

Рисунок 9 показывает результаты такого моделирования.

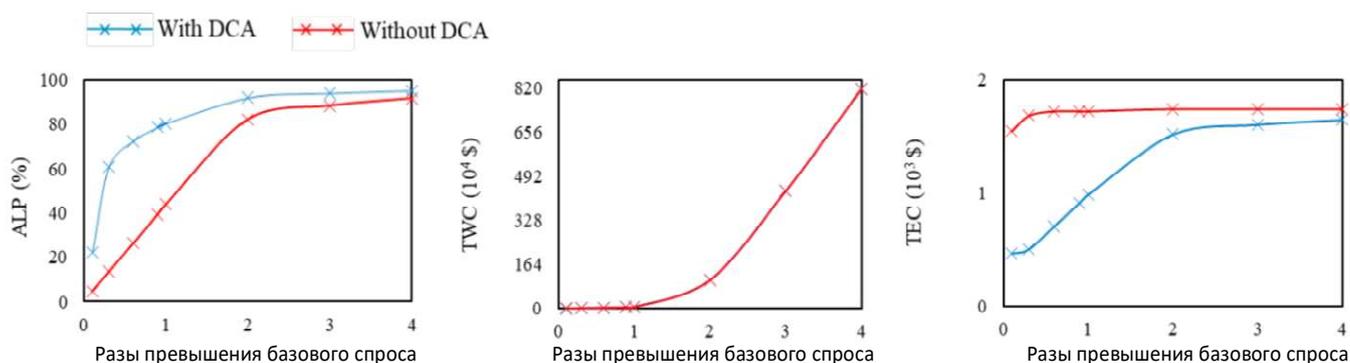


Рисунок 9 – Показатели производительности с модульными пассажирскими транспортными средствами (DCA, dynamic train capacity adjustment) и без них при различных сценариях спроса: ALP (average load percentage) – среднее использование вместимости пассажирских транспортных средств; TWC (total waiting cost) – итоговая стоимость времени ожидания пассажирами; TEC (total energy cost) – итоговая стоимость энергии на перевозку [9, рисунок 16]

Видно (

Рисунок 9), что использование модульных пассажирских транспортных средств позволяет повысить степень использования вместимости и, как следствие – снизить затраты на энергию, необходимую для осуществления перевозок.

В работе [10] смоделирована работа пассажирского городского транспорта при использовании одиночного пассажирского транспортного средства, а также состава модульных пассажирских транспортных средств. Приведена сфера целесообразности использования каждого из этих способов (Рисунок 10).

Видно (Рисунок 10), что применение модульного парка дает возможность сокращения затрат на организацию перевозок на 72 % [10, с. 398].

Схожие выводы по оценке эффективности использования модульных пассажирских транспортных средств в работах [11, 4] показывают следующие ее основные преимущества:

- 1 Повышение скорости доставки пассажиров.
- 2 Снижение стоимости перевозки.
- 3 Снижение загрузки дорог.
- 4 Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

В работе [12] показываются возможности модульных пассажирских транспортных средств

22

https://youtube.com/shorts/wN3-jlvc0bo?si=y_Wef8Eu74etJLUa

23

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HAB1906.pdf>

в обеспечении регулярности движения. Авторы рассматривают три стратегии обеспечения регулярности, когда маршрутное транспортное средство опаздывает от графика движения:

1 Отсутствие управления. Маршрутное транспортное средство продолжает движение по маршруту, не принимая никаких действий по восстановлению графика движения.

2 Пропуск остановок. Часть остановочных пунктов пропускается с целью «нагнать» график движения. В этом случае пассажиры, которые хотели выйти на пропущенных остановках вынуждены выходить на следующих остановочных пунктах, где остановка будет совершена. Пасса-

жиры, находящиеся на пропускаемых остановочных пунктах, при такой стратегии несут дополнительные затраты времени на ожидание прибытия следующего маршрутного транспортного средства.

3 Разделение модулей. Передний модуль пропускает остановочный пункт, наверстывая отставание от расписания. Задний модуль останавливается на всех остановочных пунктах. Пассажиры, которым необходимо совершить высадку на пропускаемых остановочных пунктах во время движения маршрутного транспортного средства перемещаются в те модули, которые не будут пропускать остановки.

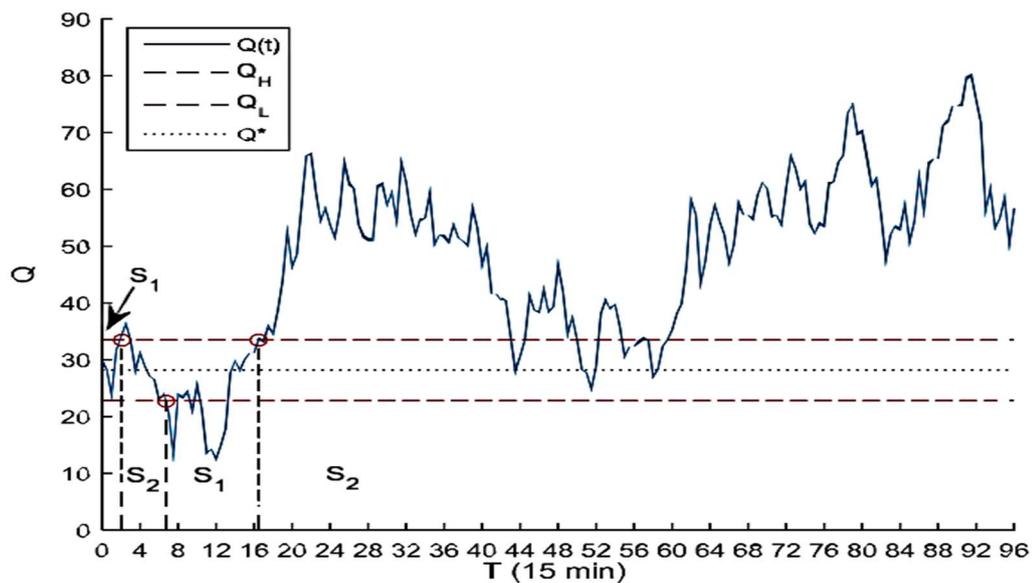


Рисунок 10 – Сфера целесообразности использования одиночного автобуса и состава модульных автобусов [10, с. 397]: $Q(t)$ – плотность спроса в момент времени t (поездок / кв миль в час), Q_H – верхняя граница спроса при которой целесообразен переход на обслуживание составом модульных пассажирских транспортных средств, Q_L – нижняя граница спроса при которой целесообразен переход на обслуживание одиночным автобусом; S_1 – стратегия работы одиночными автобусами вместимостью 10 пассажиров, S_2 – стратегия работы составом из одиночных автобусов вместимостью 10 пассажиров каждый.

Результаты моделирования показали следующие значения оцениваемых параметров по трем вышеприведенным стратегиям соответственно:

- среднее время ожидания пассажиром прибытия МТС, мин: 7,3; 3,7; 2,2;
- среднее время нахождения в МТС, мин: 23,9; 20,9; 20,2;
- средняя продолжительность всей поездки, мин: 39,3; 31; 24,9.

В работе [13] рассматривается технология работы скорой медицинской помощи при организации такой работы с модульными медицинскими автомобилями. Рассмотрен вариант двух видов таких автомобилей – автомобиль поддержки жизни и медицинский транспортный автомобиль, которые реализованы в виде модулей, способных присоединяться друг к другу и во время движения

перемещать пострадавшего между этими модулями. Предложена схема организации выездной медицинской помощи, при которой автомобиль поддержки жизни направляется на место происшествия, там оказывается помощь пациенту и начинается транспортировка к точке трансфера. В этой точке автомобиль поддержки жизни соединяется с медицинским транспортным автомобилем. После этого медицинский транспортный автомобиль переносит пациента, отсоединяется от автомобиля поддержки жизни и продолжает транспортировку в больницу для выполнения задач по приему в больнице. Автомобиль поддержки жизни после этого направляется на следующее место происшествия. Моделирование работы для условий Sioux Falls (Южная Дакота, США) показало эффективность предлагаемой модульной системы за счет сокращения времени ре-

акции на экстренные вызовы, уменьшения времени транспортировки пациентов в больницу и улучшения общей производительности системы скорой медицинской помощи.

В работе [14] рассмотрена задача обеспечения равномерных интервалов следования между маршрутными транспортными средствами. Для решения данной задачи авторы предлагают стратегию, которая объединяет разделение или удержание автобусов для корректировки интервалов. Разделение автобусов означает, что, когда автобус опаздывает и интервалов до впереди идущего автобуса становится слишком большим, он разделяется на две модульные единицы, которые движутся по маршруту независимо друг от друга. Первая модульная единица пропускает остановку, на которой должен был остановиться автобус, а вторая модульная единица останавливается на этой остановке, чтобы подобрать пассажиров. Затем первая модульная единица останавливается на следующей остановке, где ожидает вторую модульную единицу, чтобы они снова объединились в один автобус. Удержание автобусов означает, что, когда автобус прибывает на остановку раньше, чем требуется, он задерживается на остановке, чтобы сократить интервал до впереди идущего маршрутного транспортного средства. Эти две технологии объединяются в новую стратегию, которая позволяет корректировать интервалы, которые короче или длиннее требуемых. Авторы провели макроэкономическое моделирование на маршруте автобуса в Ханчжоу, Китай, и сравнили свою интегрированную стратегию с другими стратегиями. Результаты показали, что предложенная стратегия превосходит другие стратегии в снижении средней стоимости поездки и ее вариации, ограничивая издержки скопления автобусов до менее 10% при реалистичных уровнях использования системы.

В работе [15] отмечено, что индивидуальные автобусы по требованию – это быстро развивающийся вид общественного транспорта, реагирующего на спрос и способный предложить гибкие возможности без пересадок и поездки "от двери до двери" для пассажиров с одинаковыми потребностями во времени и пространстве. Одним из значительных преимуществ автобусов по требованию по сравнению с традиционными системами, основанными на стационарных маршрутах, является то, что пассажиры могут заранее бронировать услуги через онлайн-платформы. Эта предварительная информация (т. е. зарезервированные заявки, включающие пункты посадки, высадки, и предпочтительные временные окна для этих операций) позволяет оптимизировать работу пассажирского транспорта и снижать затраты на его эксплуатацию. При этом основной проблемой такого способа перевозки пассажиров является удовлетворение заявок, поданных в режиме реального времени во время выполнения

ездки, обеспечив при этом высокое качество обслуживания как уже находящихся в процессе перевозки пассажиров, так и тех, кто только подал такие заявки. В данной статье рассматривается два различных сценария прогнозирования: сценарий 1 (оптимистический) и сценарий 2 (пессимистический). Оптимистический сценарий предполагает высокую способность к прогнозированию, когда имеется достаточно ресурсов и данных для создания сложных и качественных прогнозных моделей. Для этого сценария разработана модель смешанного целочисленного программирования с применением пространственно-временной сети для совместного определения маршрутизации и расписания модулей, распределения пассажиров по модулям и формирования модулей. Пессимистическая операция предусматривает ограниченную точность прогнозов, когда приоритетом является простота, стоимость прогнозов относительно низкая, а заблаговременные заявки от пассажиров крайне нерегулярны. Для решения этой задачи применяется двухэтапная процедура оптимизации. На первом этапе используется детерминированная модель для создания консервативных планов на основе неопределенных прогнозов, включая перемещения модулей и распределения пассажиров по ним, с минимальным штрафом за необслуженных пассажиров. На втором этапе используются стратегии управления для корректировки планов, включая изменение маршрутов, отсоединение (присоединение) модулей и переназначение пассажиров, для выполнения фактических запросов, полученных во время работы. Моделирование работы по предложенным стратегиям на примере Пекина показало возможность снижения затрат на перевозку до 21%.

В работе [16] предлагается новая гибкая система диспетчеризации автобусов, в которой парк полностью автосогласованных модульных автобусов, наряду с обычными автобусами, обслуживает пассажирский спрос. Авторы разработали оптимизационную модель, используемую для определения оптимального состава модульных автобусов и оптимальной частоты обслуживания, с которой автобусы (как обычные, так и модульные) должны отправляться по каждой автобусной линии. При этом явно учитывается динамика перегруженности дорог и сложные взаимодействия между видами транспорта на сетевом уровне на основе недавно предложенной трехмерной макроскопической фундаментальной диаграммы (3D-MFD). Трехмерная макроскопическая фундаментальная диаграмма (3D-MFD) – это концепция, которая используется для моделирования и анализа транспортных систем, учитывая сложные взаимодействия между различными видами транспорта и пассажирскими потоками. Она позволяет учитывать динамику движения транспортных средств и пассажиров в трех измерениях:

пространстве, времени и плотности потока. В контексте данной статьи, 3D-MFD применяется для оптимизации частоты отправки автобусов и оптимального использования автобусных модулей в гибкой системе диспетчеризации.

Рассматриваемая транспортная сеть создана на основе города Цюрих, Швейцария, и состоит из пяти автобусных линий с различным распределением полос движения. Моделирование велось по трем сценариям интенсивностей движения МТС и легковых автомобилей – низкая (L),

средняя (M) и высокая (H) (Рисунок 11). Для каждого сценария также варьируется доля модульных автобусов $p_m \in \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1\}$. Общее число обычных автобусов при $p_m = 0$ равно $F_r = 50$ единиц. Их вместимость 120 пасс. При $p_m \in \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1\}$ $F_r = 50 - (1 - p_m)$. Вместимость модулей 20 пасс. Максимальное количество модулей, которое можно объединить в единый автобус – 6.

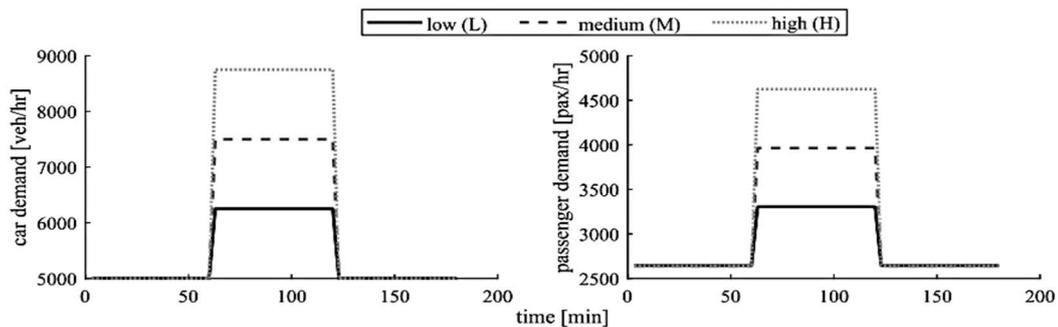


Рисунок 11 – Параметры моделирования: (а) профиль спроса на автомобили; и (b) профиль спроса на пассажиров общественного транспорта [16, с. 50]

Операционная стоимость единицы времени для обычных автобусов (π_r) – представляет собой величину, связанную с расходами на эксплуатацию обычных автобусов, включая затраты на водителей, техническое обслуживание, энергопотребление, административные расходы и другие операционные издержки, составляет 260 швейцарских франков в час. Операционная стоимость единицы времени для одного модуля (π_m) – 30 швейцарских франков в час. Указанные суммы эквивалентны 234 и 27 Евро / час соответственно.

С учетом указанных исходных данных проводилась оптимизация закрепления модулей на рассматриваемой маршрутной сети алгоритмом последовательного квадратичного программирования с числом начальных точек равным 50. Результаты представлены в виде диаграмм общей стоимости работы системы общественного транспорта (Рисунок 12), задержек пассажиров (Рисунок 13), стоимости услуг оператора (Рисунок 14).

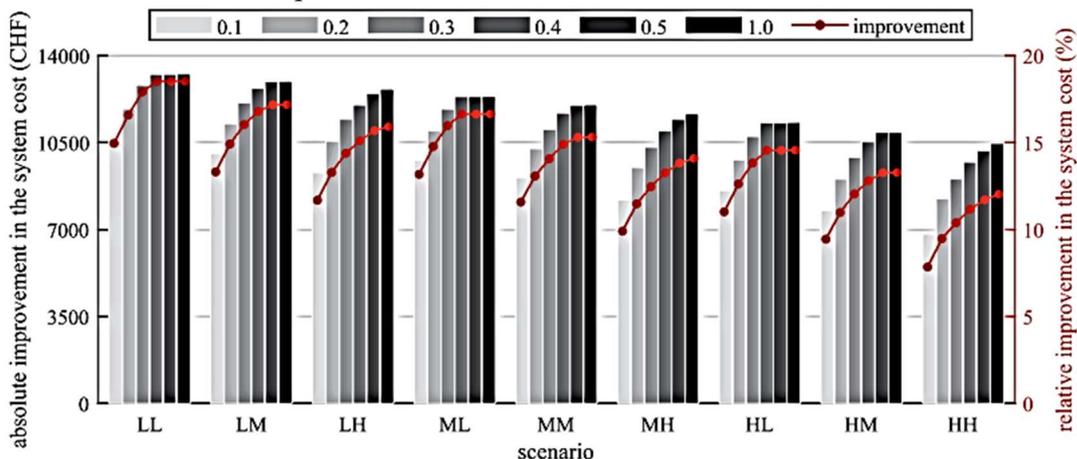


Рисунок 12 – Сравнение улучшения общей стоимости системы для различных уровней проникновения модульных блоков [16, с. 51]

Сценарии движения представлены в виде XY плоскости, где X обозначает уровень спроса на автомобили, а Y - уровень спроса на общественный транспорт: низкий (L), средний (M) или высокий (H) (Рисунок 12). Например, LM озна-

чает сценарий с низким уровнем спроса на автомобили и средним уровнем спроса на общественный транспорт. Как видно предлагаемая система значительно превосходит базовый вариант с использованием только обычных автобусов, осо-

бенно в сценариях с низким спросом на автомобили и общественный транспорт. Потенциальное улучшение может достигать 19 % в зависимости от уровня спроса на автомобили и пассажирский транспорт, а также уровня проникновения модульных автобусов. При увеличении уровня спроса (в частности, на автомобильный транспорт) улучшения становятся меньше, но все равно значительными. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, при низком спросе на автобусы и автомобили система отправляет группу из нескольких комбинированных (а то и отдельных) модульных единиц, тем самым повышая коэффициент использования вместимости транспортного средства и снижая эксплуатационные расходы. Во-вторых, благодаря меньшему количеству еди-

ниц, содержащихся в модульном автобусе, система имеет больше единиц в наличии, что позволяет отправлять больше модульных автобусов и сокращать время ожидания пассажиров. С другой стороны, это оказывает минимальное влияние на автомобильный трафик в случае низкого спроса на автомобили из-за меньшего взаимодействия между видами транспорта. При этом отправка большего количества модульных автобусов при более высоком уровне спроса на автомобили не обязательно улучшает работу системы, поскольку воздействие на автомобильный трафик может быть значительным, что приведет к снижению общей производительности системы. Аналогичная ситуация и для остальных исследуемых переменных (Рисунок 13, Рисунок 14).

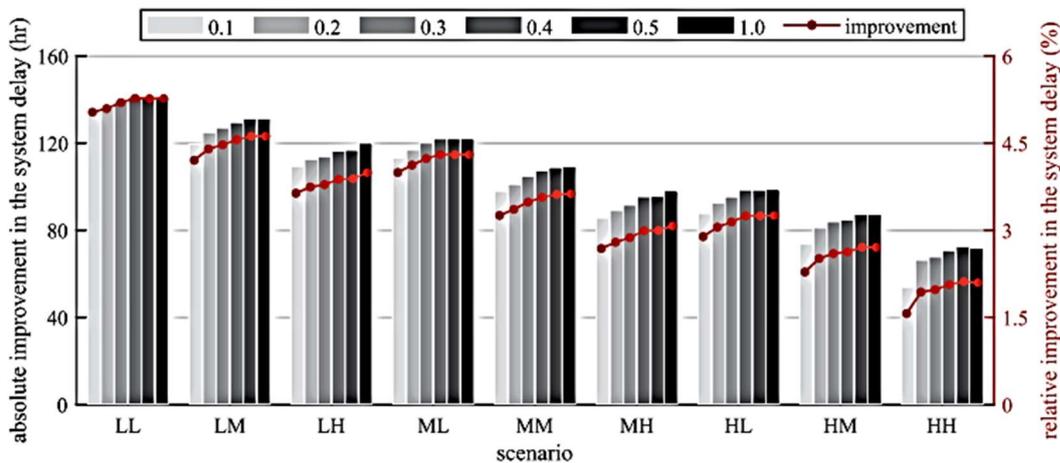


Рисунок 13 – Сравнение улучшения задержки в системе для различных уровней проникновения модульных блоков [16, с. 53]

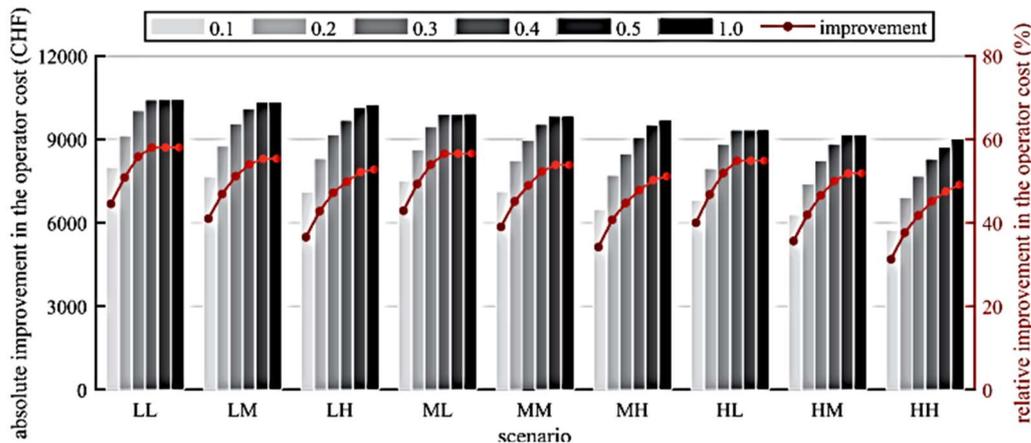


Рисунок 14 – Сравнение улучшения стоимости услуг оператора для различных уровней проникновения модульных блоков [16, с. 53]

Также следует отметить, что уже при небольшой доле модульных пассажирских транспортных средств, наблюдается значительный эффект по всем приведенным критериям. Дальнейший рост доли модульных автобусов позволяет улучшить значения приведенных критериев, но на небольшую величину. А в ряде случаев, увеличение доли модульных автобусов не дает эффекта, как это видно, например, сценарии LL, LM, ML, MM, HL, HM (Рисунок 12), LL, LM, ML, HL,

HM, HH (Рисунок 13), LL, LM, ML, MM, HL, HM (Рисунок 13).

Обобщая краткий анализ научных публикаций в сфере модульных пассажирских транспортных средств, следует отметить их перспективность с точки зрения снижения затрат на функционирование пассажирского транспорта, а также повышения качества предоставляемых пассажиру услуг. можно выделить их ряд основных недостатков:

1 Реализация на практике подобных предложений подразумевает создание принципиально новой пассажирской транспортной системы в городах, где могут отсутствовать регулярные маршруты, постоянное расписание, а пассажиру, возможно, придется менять модуль в движении. Это все потребует фундаментальных изменений в транспортном законодательстве, а также поведении людей.

2 Рассматриваемые модульные пассажирские транспортные средства должны обладать современными цифровыми устройствами, обеспечивающими соединение (разъединение), в том числе в движении, отдельных модулей, а также возможность объединения пространства внутри модулей, движущихся в одном составе. Очевидно, что стоимость таких устройств будет высока, особенно для стран, которые вынуждены будут их экспортировать. А в сочетании со сравнительно небольшой стоимостью топлива, заработной платы водителей и пассажиро-часа реализация таких транспортных систем может оказаться экономически нецелесообразно.

3 Приведенные примеры расчетов основаны либо на абстрактных исходных данных, либо на части маршрутов какого-либо города. Т.е. нет целостной методики управления парком модульных пассажирских транспортных средств с учетом перераспределения модулей по маршрутам, рейсам, ограничений по режиму труда и отдыха водителей, емкости конечных остановочных пунктов и др. ограничений, встречающихся в практической деятельности перевозчиков.

4 Не учтены колебания спроса в зависимости от погодных и календарных факторов [17].

ДПТДВ в Республике Беларусь

Большая работа по обоснованию новой системы пассажирского городского транспорта динамической вместимости проделана и в Республике Беларусь [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35]. Предлагаемый в этих работах тип транспорта является системой, в которой информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений) выполняются постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Единичным транспортным средством системы является автономный электрокар, названный инфобусом (

Рисунок 15) и передвигающийся по обособленному железнодорожному пути.

При этом инфобусы собираются в кассеты, состоящие из различного числа единиц. Соединение виртуальное, как в автопоездах. Минимальное безопасное расстояние между инфобусами в кассете обеспечивает электроника. Для более эффективной организации работы этой транспортной системы пассажир, заходя на остановку, проходит через терминал, на котором оплачивает за проезд и указывает остановку назначения. При

накоплении достаточного количества заявок инфобусы выезжают на маршрут и выполняют перевозку между остановочными пунктами маршрута в соответствии с поступившими заявками.

Для уменьшения помех со стороны других транспортных средств, предлагается выделить специальные полосы движения, как это делается для общественного транспорта типа автобуса или троллейбуса, а пересечения дорог проезжать в разных уровнях.

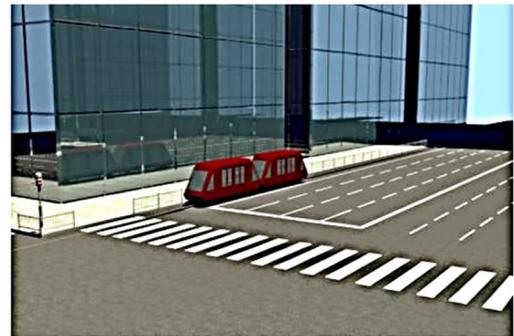


Рисунок 15 – Инфобус [21]

Предложенная авторами система является хорошо обоснованной теоретической моделью работы нового вида пассажирского транспорта, который позволит сократить затраты перевозчика на доставку пассажиров за счет подстройки вместимости используемых пассажирских транспортных средств под фактически имеющийся транспортный спрос. Кроме того, предполагается возможность повышения качества предоставляемых пассажирам услуг за счет снижения количество остановочных пунктов, проезжаемых инфобусом на маршруте.

В тоже время анализ такой системы показывает наличие ряда вопросов и недостатков, часть из которых можно отнести и к описанным выше модульным пассажирским транспортным средствам:

1 Как учесть возможность посадки пассажиров не в свой инфобус?

2 Указано, что стоимость 1 км метро примерно 50 млн долл. В тоже время неясно сколько будет стоить инфраструктура для предлагаемого вида транспорта (терминалы на остановочных пунктах [24], инфобусы, оборудование и программное обеспечение, разноуровневые пути следования через перекресток [25], информационные табло на каждом остановочном пункте [25], монореельс и т.д.).

3 Предоставление приоритета движения инфобусам [20] приведет к сокращению пропускной способности УДС для других транспортных средств.

4 Пассажир указывает станцию назначения пройдя терминал на остановочном пункте, и ждет пока сформируется матрица корреспонденций. А если она будет формироваться очень долго (условие 1 в [25] не выполняется)?

5 Как пассажир узнает в какой именно из подходящих к остановке инфобусов нужно ему садиться, ведь фиксированных маршрутов не будет по мнению автора? Через мобильный телефон? А если его нет или села батарея?

6 Пассажир должен знать хорошо все остановки, чтобы понять на какой именно ему выйти, иначе он не сможет на терминале указать пункт назначения.

7 Авторы использовали в расчетах КПД двигателя 25% [22], в то время как он реально около 50 %.

8 Авторами предлагается разная вместимость инфобуса от 6 до 70 пассажиров, а обоснования конкретной вместимости отсутствуют.

9 Наличие нарушителя, припарковавшего свой автомобиль на пути следования инфобуса, или водителя, совершившего вынужденную остановку, ставит под угрозу функционирование всей системы.

10 Непонятно как устанавливать значения k (коэффициент пропорциональности, которым устанавливается предпочтение (соотношение) между потерями АТП и пассажирами) и T (времени терпеливого ожидания), приведенные в [31].

11 Водитель, которому необходимо выезжать в рейс, садится в первый автобус в очереди, который будет являться головой каравана [32, стр. 132]. Это не мотивирует водителя бережно относиться к управляемому им автобусом, что может стать причиной частого их выхода из строя.

12 В экономических расчетах на [32, стр. 133] не учтено то, что в случае с двумя автобусами средней вместимости будет два водителя, в то время как с одним автобусом большей вместимости – один.

13 Неизвестно откуда брать распределение прибытия пассажиров на остановку после отъезда инфобуса с конечного пункта, а также как формировать матрицу предпочтений [34].

14 Зачастую в качестве ограничения рассматривается соответствие вместимости инфобуса объему перевозок пассажиров, а не пассажироместности. Так, например, в [33, выражение 2] нижнее условие показывает, что сумма пассажиров, едущих между 1 и i^* остановками не должна превышать вместимости (V) инфобуса (в данной статье заявлено $V=30$ пасс). В тоже время, если, например, $i^* = 8$, и между каждыми парами остановок 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8 едут 10 пассажиров, то суммарный объем перевозок будет равен 70 пассажиров, что не удовлетворяет рассматриваемому ограничению. На самом же деле, максимальное число пассажиров, находящееся в салоне инфобуса, будет равно 10, что меньше его пассажироместности и перевозка возможна.

15 В [28, стр 3] указано, что городской автоматический транспорт может обеспечить почти нулевое время ожидания и безостановочный проезд из пункта отправления до пункта назначения,

что исходя из описанной технологии его работы не представляется возможным. Так, пассажиру нужно на терминале остановочного пункта указать необходимую информацию, которая накапливается до определенного момента, только потом кассета инфобусов выезжает на первый остановочный пункт и пока доедет до того остановочного пункта, на котором подана заявка, пройдет некоторое время и не факт, что это время ожидания будет меньше чем время ожидания пассажира, прибывшего на остановочный пункт в существующей системе организации перевозок с учетом постоянного расписания. Безостановочность проезда также трудновыполнима. Например, если вместимость инфобуса 30 пассажиров и для его заполняемости необходимо что бы между каждой парой пунктов отправления и назначения ехало 30 пассажиров, что соответствует объему перевозок на маршруте за рейс равному $30 \cdot N$, где N – количество пар пунктов отправления и назначения. Тогда, на маршруте из 10 остановочных пунктов, множество пар N будет выглядеть следующим образом $\{1-2; 1-3; 1-4; \dots; 1-10; 2-3; 2-4; 2-5; \dots; 2-10; \dots 9-10\}$. В общем виде, число таких пар равно $N \cdot (N-1) / 2$, что для маршрута из 10 остановок составляет 45 пар. При перевозке 30 пассажиров между каждой парой остановочных пунктов общий объем перевозок на маршруте должен быть $45 \cdot 30 = 1350$ пассажиров за рейс. Практика обследования пассажиропотоков [36, 37, 38, 39] показывает, что за рейс в более чем 80 % случаев перевозится до 100 пассажиров (

Рисунок 16) и показывает малую вероятность организации перевозочного процесса без промежуточных остановочных пунктов.

16 Результаты, приведенные в [40], показывают, что пассажиры, в том числе те, у которых в пользовании есть личный автомобиль, считают, что общественный транспорт по требованию целесообразен в случае низкого пассажиропотока. В случаях же стабильного и высокого пассажиропотока пассажирский транспорт должен ходить по расписанию, что бы его пользователи могли планировать свое время исходя из этого расписания.

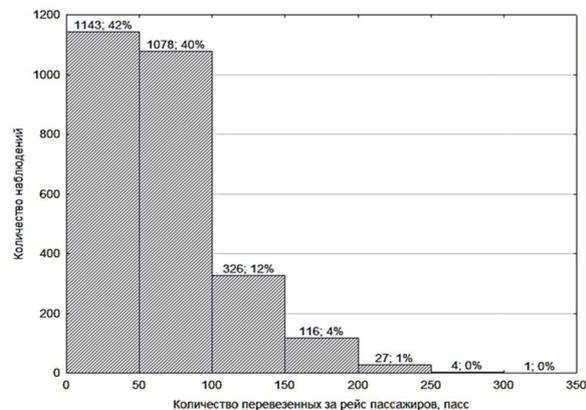


Рисунок 16 – Гистограмма распределения количества перевозимых за рейс пассажиров

В работах [41, 42, 17] также предложена новая система модульного пассажирского транспорта, которая в отличии от [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] не требует существенных вложений в инфраструктуру и изменений в транспортном поведении.

Что бы избежать описанных выше проблем в работе [41] предложено использование составов модульных ПТС, которые позволяют уменьшать или увеличивать пассажироместимость в зависимости от величины пассажиронапряженности для каждого выполняемого рейса (

Рисунок 17). В период спада пассажиропотока уменьшается пассажиронапряженность и рейс выполняется составом модульного ПТС, состоящим из одного модуля (

Рисунок 17, а). При росте пассажиропотока увеличивается и пассажиронапряженность и на конечных остановочных пунктах в состав модульного ПТС добавляется необходимое количество модулей, обеспечивающих необходимую суммарную вместимость состава модульного ПТС (

Рисунок 17, б). При этом технология организации работы таких модулей, предусматривает минимизацию разницы между вместимостью состава модульного ПТС и пассажиронапряженностью.

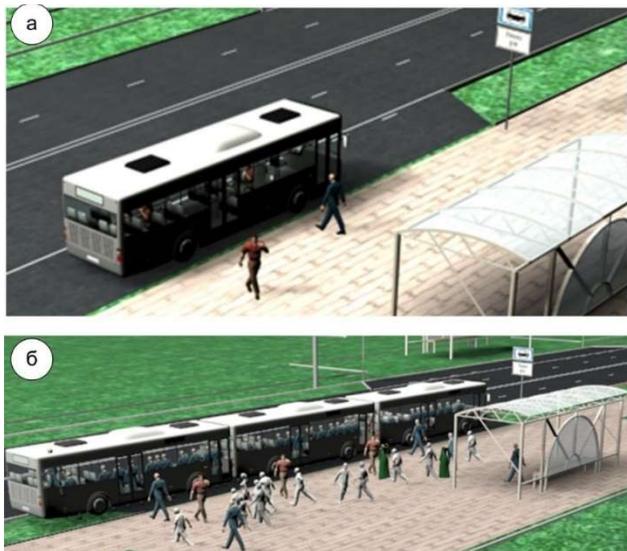


Рисунок 17 – Использование модульных ПТС:
а – один модуль в периоды спада пассажиропотока; б – три модуля в периоды роста пассажиропотока

Моделирование работы по такой технологии на 16 автобусных маршрутов г. Гомеля показало, что при значении коэффициента использования вместимости 0,55 наблюдается самоокупаемость работы пассажирского транспорта [41]. Моделирование применения такой технологии организации пассажирских перевозок на 1747 езках,

выполненных на 81 городском маршруте г. Гомеля и г. Могилева, показало повышение окупаемости работы пассажирского транспорта с 69,7 % до 81 % [42]. Моделирование применения такой системы с учетом зависимости пассажиропотоков от календарных и погодных факторов показало повышение окупаемости работы на исследуемом обратном рейсе маршрута на 39% (с 79.8% до 110.6%), снижение себестоимости его выполнения на 41% (с 7.74 у.е. до 4.59 у.е.), годовая экономия Э порядка 2.38 млн у.е. в год для всего г. Гомеля. Ориентировочный срок окупаемости не превышает двух лет [17]. Для обеспечения «подстройки» вместимости модульных пассажирских транспортных средств (см.

Рисунок 17) под реальный пассажиропоток на каждом рейсе каждого маршрута предложена интеллектуальная система управления пассажирским транспортом регулярного сообщения (Рисунок 18).

Видно (Рисунок 18), что ежедневно информация от датчиков подсчета пассажиров поступает на сервер, где из нее извлекаются сведения о пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута. Сюда же оператор ежедневно заносит календарную информацию (день недели, его тип, месяц и т.д.), а также прогнозную информацию о погоде на следующий день. На основании массива такой введенной информации ежедневно проводится прогнозирование значений пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута на следующий день. На основании таких прогнозных значений, а также с учетом имеющегося парка модульных ПТС структуры маршрутной транспортной сети производится расчет состава модульного ПТС для работы на каждом рейсе каждого маршрута.

Таким образом, приведенный в работах [41, 42, 17] подход к организации работы пассажирского транспортного средства регулярного сообщения подразумевает наличие в каждом модуле датчика подсчета пассажиров. Конечно, это является дополнительными капитальными вложениями, но их величина на текущий момент вполне приемлема и окупаются такие вложения за 2 года [17]. Также реализация такого подхода не требует серьезной переработки транспортного законодательства и поведения пассажиров, что является дополнительным аспектом в пользу его реализации. Основными проблемами при этом остаются:

1 Отсутствие производства модульных пассажирских транспортных средств на территории Республики Беларусь. Это обусловлено в первую очередь законодательным запретом на участие в дорожном движении пассажирских транспортных средств. Как показывает вышеприведенный анализ публикаций, наличие подобных запретов является необоснованной

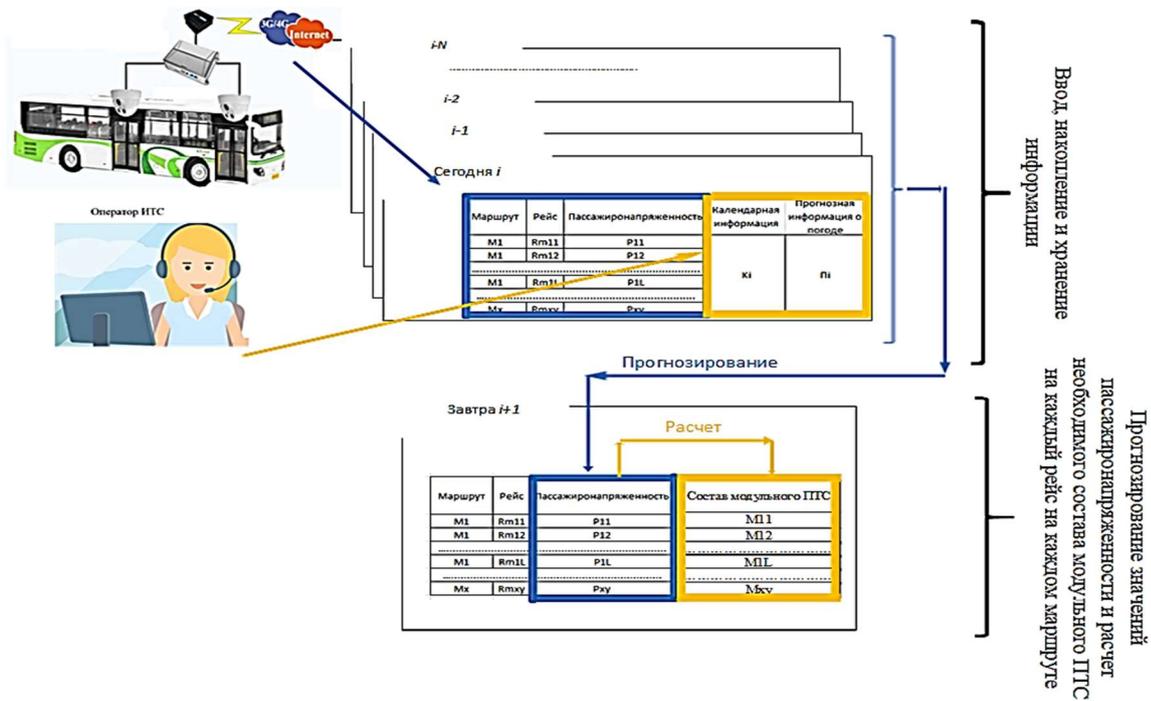


Рисунок 18 – Схема функционирования предлагаемой интеллектуальной системы управления ГПТС [43, рисунок 7]

мерой, которую надо пересмотреть.
 2 Нет обоснованной технологии распределения модулей по рейсам маршрутов с учетом объективно существующих пассажиронапряженностей, ограничений по режиму труда и отдыха

водителей, емкости конечных остановочных пунктов и т.д.
 Сводная таблица результатов анализа научной литературы в сфере ДПТДВ приведен в

Таблица 1.

Таблица 1 – Обобщение научных источников по применению ДПТДВ

Публикация	Целевая функция	Полученные значения	Присоединение (отсоединение модуля)	Пропуск остановочных пунктов	Маршруты	Описание исходных данных	Полученный наилучший эффект
[5]	Минимизация пересадок в движении + общего количества перемещений модульных автобусов	Планы выполнения пересадок, сцепок и отцепок, а также места их выполнения	На любых остановках	Допускается	Непостоянные	абстрактная дорожная сеть из четырех перекрестков	Снижение на 15 % количества пересадок, снижение на 14 % среднего времени на поездку
[6]	Минимизация $Z_n + \Delta$	Планы выполнения пересадок, сцепок и отцепок, а также места их выполнения	На любых остановках	Допускается	Фиксированные	10 линий маршрутной сети Барселоны: 5 с наибольшим спросом и 5 с наименьшим спросом. Период работы - сутки	Снижение на 17, 4 % значения целевой функции для маршрута D40 при применении стратегии S3 по сравнению с обычным автобусным сообщением
[8]	Минимизация S_{max}	Планы выполнения сцепок и отцепок	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	Северо-восточный сектор Сингапура	Снижение на 44% значения целевой функции на магистральных маршрутах и на 37% - для подвозных маршрутов

[9, 11]	Минимизация $Z_{оп} + Z_{пэ}$	Количество MAV и путь следования для каждого отправления	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	абстрактный маршрут в одном из районов г. Тампа (штат Флорида, США) с абстрактными значениями пассажиропотока на 2040 год, равными интервалами движения	Более чем в два раза снижение затрат на потребление топлива (энергии) при применении модулей по сравнению с обычными автобусами
[10]	Минимизация $\Delta + Z_{оп} + Z_{п} + Z_{от}$ затраты на подход и отход к остановке	Планы выполнения сцепок и отцепок, когда работать на гибких, а когда на фиксированных маршрутах	На начальных остановках	Не допускается	Непостоянные или фиксированные в зависимости от спроса	абстрактный маршрут, в течение часа	Экономия 3,89 долл / час на маршрут
[12]	Минимизация $Z_{оп} + Z_{п} + Z_{от}$ затраты на подход и отход к остановке	Планы выполнения сцепок и отцепок модулей	На любых остановках	Допускается	Фиксированные	абстрактный маршрут из 20 остановочных пунктов	Снижение среднего времени на поездку с 39,3 мин до 29,4 мин (25,2 %) при реализации стратегии разделения модулей в движении, по сравнению с отсутствием такого разделения
[14]	Минимизация $Z_{оп} + Z_{п} + Z_{от}$ затраты на подход и отход к остановке	Планы выполнения сцепок и отцепок модулей	На любых остановках	Допускается	Фиксированные	Маршрут автобуса № 3 в Ханчжоу, Китай	Снижение среднего времени на поездку с 29,7 мин до 25,2 мин (15 %) при реализации стратегии, которая комбинирует разделение автобусов и их задержку, по сравнению с вариантом, когда реализована стратегия только с задержкой автобусов
[15]	Минимизация Δ	Маршруты, расписание, Планы выполнения сцепок и отцепок модулей	На начальных остановках	Не допускается	Непостоянные	Пригородная маршрутная сеть г. Бэйцзин, Китай. с 3 декабря 2018 года по 18 января 2019 года для обучения и дни с 21 по 25 января 2019 года для тестирования. Данные о поездках взяты из данных смарт-карт	По сравнению с подходом, используемым в режиме реального времени, предлагаемая система позволяет снизить эксплуатационные расходы на 21 % при применении оптимистичного сценария прогнозирования пассажиропотока.
[16]	Минимизация $\Delta + Z_{п}$	Количество и частота использования MAV	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	5 маршрутов г. Цюрих с местными и вы-	почти на 60 % снижение эксплуатационных расходов (в периоды низкого

						деленными полосами. По 1 часу в период высокого, среднего и низкого транспортного спроса.	транспортного спроса) по сравнению с вариантом безмодульного движения автобусов
[17]	Минимизация разности вместимости и пассажиронапряженности	Планы выполнения сцепок и отцепок	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	Годовые данные о пассажиронапряженности на оборотном рейсе одного автобусного маршрута г. Гомеля за год.	Повышение окупаемости работы на данном оборотном рейсе на 39% (с 79.8% до 110.6%), снижение себестоимости его выполнения на 41% (с 7.74 у.е. до 4.59 у.е.), годовая экономия Э порядка 2.38 млн у.е. в год для всего г. Гомеля. Ориентировочный срок окупаемости не превышает двух лет
[18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35]		Планы выполнения пересадок, сцепок и отцепок, а также места их выполнения	На любых остановках	Допускается	Непостоянные	Абстрактные данные	
[41]	Минимизация разности вместимости и пассажиронапряженности	Планы выполнения сцепок и отцепок	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	Часть (16) автобусных маршрутов г. Гомеля	При значении коэффициента использования вместимости 0,55 наблюдается самоокупаемость работы пассажирского транспорта
[42]	Минимизация разности вместимости и пассажиронапряженности	Планы выполнения сцепок и отцепок	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	Часть (1747) ездов, выполненных на 81 городском маршруте г. Гомеля и г. Могилева	Повышение окупаемости работы пассажирского транспорта с 69,7 % до 81 %.
[44]	Минимизация суммы $S_{\text{мав}} + 3_{\text{пз}} + 3_{\text{оп}} + 3_{\text{п}} + \text{Ш}$	Количество MAV и путь следования для каждой поездки, схема сцепления и расцепления MAV, схема пропуска MAV	На любых остановках	Допускается	Фиксированные	автобусный маршрут 110 в г. Дандун, Китай, 13 остановочных пунктов, протяженностью 7,2 км, с 10:00 до 11 : 10	уменьшение на 32 % целевой функции по предлагаемому сценарию по сравнению со сценарием движения модулей без пропуска остановочных пунктов

[45]	Минимизация \mathcal{E} + $Z_{оп}$ + Ш + $Z_{п}$	Количество MAV и путь следования для каждого отправления	На начальных остановках	Не допускается	Фиксированные	-	-
[46]	Минимизация \mathcal{E} + $Z_{оп}$	Количество рейсов MAV и путь следования для каждого отправления, количество рейсов MAV для разветвленных маршрутов	На начальных терминалах и последней остановке перекрывающегося сегмента	Не допускается	Фиксированные	-	-
[47]	Минимизация $Z_{п}$ + Ш + \mathcal{E} + стоимость передислокации станции + стоимость строительства станции	Расположение и мощность построенной станции, схема сцепления и расцепления MAVs	На построенных станциях	Не допускается	Фиксированные	-	-
[48]	Минимизация \mathcal{E} + $Z_{оп}$	Путь следования, схема соединения и разъединения MAVs	На любых остановках	Не допускается	Фиксированные	Группа городов в Швейцарии, состоящая из 15 узлов и 21 двунаправленной связи, матрица спроса на перевозку в пиковый час из Arbex и da Cunha [2015]	Снижение эксплуатационных расходов на 100 % при применении предлагаемой системы по сравнению с действующей системой
[49]	Минимизация $Z_{оп}$ + стоимость парка MAV	Схема сцепки и расцепки MAV, расписание	На любых остановках	Не допускается	Фиксированные	г Наньтун (Китай), с 5:00 до 21:00. Обратный рейс на маршруте с 10 остановочными пунктами в каждом рейсе.	снижение целевой функции на 50 % в периоды наименьшей интенсивности вне зависимости от применяемой категории расписания
[50]	Минимизация $Z_{оп}$ + \mathcal{E} + затраты на восстановление баланса	Путь следования, количество MAV на остановках	На любых остановках	Не допускается	Фиксированные	-	-

$S_{маv}$ – стоимость владения MAV;

$Z_{пэ}$ – затраты на потребление топлива (энергии);

$Z_{оп}$ – затраты на ожидание пассажирами прибытия пассажирского транспортного средства;

\mathcal{E} – эксплуатационные расходы

Ш – штрафные санкции за пропуск пассажирами MAV из-за его переполненности

$Z_{п}$ – затраты пассажиров на поездку

Заключение

В данной статье рассмотрена актуальная задача применения ДПТДВ в практической работе пассажирского городского транспорта регулярного сообщения. Отмечено, что в странах бывшего СССР указанный способ повышения эффективности и качества оказываемых пассажирам услуг практически не рассматривается. Это обусловлено сложившимися стереотипами негативного

Таблица 1). Показаны основные проблемы реализации предложенных в таких публикациях технологий работы ДПТДВ. Предложен курс на реализацию на территории Республики Беларусь интеллектуальной системы управления пассажирским транспортом регулярного сообщения (Рисунок 18), подразумевающей использование модульных пассажирских транспортных средств (

Рисунок 17) и ежедневное прогнозирование пассажиронапряженности на каждый рейс каждого маршрута с последующим назначением состава ДПТДВ вместимости, соответствующей такой пассажиронапряженности. Ориентировочные расчеты показывают, что реализация такой интеллектуальной системы управления позволит сделать городской пассажирский транспорт безубыточным, а срок окупаемости такого проекта для условий г. Гомеля не превышает двух лет [17].

Отмечены основные проблемы, препятствующие использованию ДПТДВ на территории Республики Беларусь:

1 Отсутствие производства модульных пассажирских транспортных средств на территории Республики Беларусь. Это обусловлено в первую очередь законодательным запретом на участие в дорожном движении пассажирских транспортных средств. Как показывает вышеприведенный анализ публикаций, наличие подобных запретов является необоснованной мерой, которую надо пересмотреть.

2 Нет обоснованной технологии распределения модулей по рейсам маршрутов с учетом объективно существующих пассажиронапряженностей, ограничений по режиму труда и отдыха водителей, емкости конечных остановочных пунктов и т.д.

Указанные проблемы являются основными направлениями научных работ в этой сфере.

Литература

1. Веклич, В. Ф. Повышение эффективности эксплуатации безрельсового электрического транспорта применением средств диагностирования и управления по системе многих единиц : автореф. дис. ... доктора. техн.

влияния прицепных пассажирских транспортных средств на безопасность дорожного движения. В тоже время показано, что практика применения ДПТДВ имеет столетнюю историю, в том числе, на просторах бывшего СССР, и высокую популярность в развитых странах в настоящее время. Проанализированы основные научные публикации по данной тематике, имеющиеся в открытом доступе (

наук : 05.22.07 / В. Ф. Веклич ; Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М., 1990. – 38 с

2. Веклич, В. Ф. Эффективность применения троллейбусов с управлением по системе многих единиц / В.Ф. Веклич; Общество «Знание» Украинской ССР, Киевский дом научно-технической пропаганды . – Киев, 1969. – 19 с.

3. Веклич, В. Ф. Исследование троллейбусов с управлением по системе многих единиц : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 442 / В. Ф. Веклич ; Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. – М., 1969. – 25 с.

4. Gecchelin, T., & Webb, J. (2018). Modular dynamic ride-sharing transport systems. *Economic Analysis and Policy*, 61, 111–117. <https://doi.org/10.1016/J.EAP.2018.12.003>

5. Jiaming Wu, Balázs Kulcsár, Selpi, Xiaobo Qu, A modular, adaptive, and autonomous transit system (MAATS): An in-motion transfer strategy and performance evaluation in urban grid transit networks, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 151, 2021, Pages 81-98, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.07.005>.

6. Torres, T. (2022). Autonomous modular buses: A deterministic approach to model and assess a public transport line (Master's thesis). Universitat Politècnica de Catalunya | BarcelonaTech. Режим доступа: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/373595/tubal-torres-master-thesis.pdf?sequence=1>. Дата доступа: 14.12.2023

7. Liu, Shiyi & Schonfeld, Paul. (2020). Effects of Driverless Vehicles on Competitiveness of Bus Transit Services. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*. 146. 04020009. 10.1061/JTEPBS.0000327.

8. Sun, Shanshan & Wong, Yiik & Rau, Andreas. (2020). Economic assessment of a Dynamic Autonomous Road Transit system for Singapore. *Research in Transportation Economics*. 83. 100843. 10.1016/j.retrec.2020.100843

9. Chen, Zhiwei & Li, Xiaopeng & Zhou, Xuesong Simon. (2019). Operational design for shuttle systems with modular vehicles under oversaturated traffic: Continuous modeling method. *Transportation Research Procedia*. 38. 359-379. 10.1016/j.trpro.2019.05.020.

10. Guo, Qian-Wen & Chow, Joseph & Schonfeld, Paul. (2017). Stochastic dynamic switching in fixed and flexible transit services as market entry-exit real options. *Transportation Research Procedia*. 23. 10.1016/j.trpro.2017.05.022.

11. Chen, Zhiwei & Li, Xiaopeng & Zhou, Xuesong Simon. (2018). Operational Design for Shuttle Systems with Modular Vehicles under Oversaturated Traffic: Discrete Modeling Method.

12. Khan, Zaid & He, Weili & Menendez, Monica. (2022). Application of Modular Vehicle Technology to Mitigate Bus Bunching
13. Hannoun, Gaby Joe & Menéndez, Mónica. (2022). Modular vehicle technology for emergency medical services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 140. 103694. 10.1016/j.trc.2022.103694.
14. Khan, Zaid & Menendez, Monica. (2023). Bus Splitting Bus Holding: A New Strategy Using Autonomous Modular Buses For Preventing Bus Bunching. *SSRN Electronic Journal*. 10.2139/ssrn.4356986.
15. Rongge, Guo & Bhatnagar, Saumya & Wei, Guan & Vallati, Mauro & Sharif Azadeh, Shadi. (2023). Operationalizing Modular Autonomous Customized Buses based on Different Demand Prediction Scenarios. *Transportmetrica A: Transport Science*. 10.1080/23249935.2023.2296498.
16. Dakic, Igor & Yang, Kaidi & Menendez, Monica & Chow, Joseph. (2021). On the design of an optimal flexible bus dispatching system with modular bus units: Using the three-dimensional macroscopic fundamental diagram. *Transportation Research Part B Methodological*. 148. 38-59. 10.1016/j.trb.2021.04.005
17. Аземша, С. А., Янкович С. Ю. Оценка эффективности ежесуточного управления парком модульных пассажирских транспортных средств на городских регулярных маршрутах. (2024). *Недропользование и транспортные системы*, 14(1), 4-17. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>
18. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных интеллектуальных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-3(25-3). – С. 336-341. – EDN WZQDXF
19. Пролиско, Е. Е. Новый тип высокопроизводительного общественного городского транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Перспективы развития транспортного комплекса : Материалы II Международной заочной научно-практической конференции, Минск, 04–06 октября 2016 года / Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Грантехника». – Минск: Республиканское унитарное предприятие "Белорусский научно-исследовательский институт транспорта "Грантехника", 2016. – С. 11-14. – EDN XVVMGV.
20. Инфобус - новый тип интеллектуального транспорта для внутригородских пассажирских перевозок / Т. А. Глущенко, В. В. Касьяник, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика. – 2016. – № 5(101). – С. 67-69. – EDN YWPREL.
21. Швецова, Е. В. Алгоритмы функционирования беспилотной городской пассажирской транспортной системы / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2019. – Т. 12-2. – С. 32-39. – EDN KXQIQD.
22. Швецова, Е. В. Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 3. – С. 87-93. – EDN PCREMT.
23. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. – 2020. – №. 4. – Р. 349-352. – EDN QBHXXM.
24. Шуть, В. Н. Суперскоростная роботизированная интеллектуальная транспортная система городской перевозки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Университет - территория опережающего развития : Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, посвящённый 80-летию ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно, 19–20 февраля 2020 года / Редколлегия: Ю.Я. Романовский (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2020. – С. 146-149. – EDN WKFQBD.
25. Швецова, Е. В. Планирование и организация перевозочного процесса в интеллектуальной городской пассажирской транспортной системе / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2021 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 90-95. – EDN WBGZKI.
26. Швецова, Е. В. Планирование и организация процесса перевозки в пассажирской информационно-транспортной системе / Е. В. Швецова, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 4. – С. 111-118. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_4_111. – EDN BZOPPU.
27. Шуть, В. Н. Концептуальная модель городской пассажирской информационно-транспортной системы / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития : Материалы юбилейной Международной конференции, Могилев, 11–12 ноября 2021 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2021. – С. 170. – EDN VQABCV.
28. Шуть, В. Н. Городской автоматический транспорт / В. Н. Шуть // Транспорт Урала. – 2022. – № 1(72). – С. 3-7. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-1-3-7. – EDN NYTZQJ.
29. Пролиско, Е. Е. Модификация работы городского общественного пассажирского транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Цифровая среда: технологии и перспективы. DETP 2022 : Сборник материалов международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября 2022 года. – Брест: Учреждение образования "Брестский государственный технический университет", 2022. – С. 44-46. – EDN OQLPGG.
30. Швецова, Е. В. Использование информационных технологий при организации пассажирских перевозок посредством беспилотного транспорта / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Цифровая среда: технологии и перспективы. DETP 2022 : Сборник материалов международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября 2022 года. – Брест: Учреждение образования "Брестский государственный технический университет", 2022. – С. 150-154. – EDN OZAGFR.

31. Шуть, В. Н. Балансовая модель интересов транспортного предприятия и пассажиров в городских перевозках автоматическим транспортом / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // *Инновационный транспорт*. – 2023. – № 3(49). – С. 18-22. – DOI 10.20291/2311-164X-2023-3-18-22. – EDN ZKATSQ.
32. Шуть В. Н., Персия Л. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы. Брест : Изд-во БрГТУ, 2017. 195 с.
33. Швецова, Е. В. Алгоритм организации перевозок на основе критического элемента матрицы корреспонденций / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // *Транспорт Урала*. – 2023. – № 2(77). – С. 34-40. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-2-34-40. – EDN BPHNFN.
34. Математическая модель оптимизации работы городского общественного транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть, А. А. Козинский, А. Н. Жогал // *Университет - территория опережающего развития : Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, посвящённый 80-летию ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно, 19–20 февраля 2020 года / Редколлегия: Ю.Я. Романовский (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2020. – С. 143-146. – EDN WZTXLX.*
35. Швецова, Е. В. Информационно-транспортные системы в контексте городских перевозок / Е. В. Швецова // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*. – 2024. – № 1(49). – С. 89-94. – DOI 10.52928/2070-1616-2024-49-1-89-94. – EDN WAJROF.
36. Azemsha S. / The Study of the Trolley Buses Occupancy / S. Azemsha // *Global Journal of Management and Business Research: F Real Estate, Event and Tourism Management* – 2019. – Volume 19 Issue 1 Version 1.0 – P. 6–15. https://globaljournals.org/GJMBR_Volume19/2-The-Study-of-the-Trolley-Buses.pdf
37. Аземша С.А. / Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Могилеве / С.А. Аземша, Т.В. Грищенко, О.О. Ясинская // *Вестник Полоцкого государственного технического университета. Серия В «Промышленность. Прикладные науки»*. – 2020. – № 11. – С. 62–69.
38. Azemsha Siarhei. The Study of Public Transport Occupancy Rate Patterns in Belarusian cities / S. Azemsha, D. Kapski // *International Journal of Engineering Inventions* e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491 Volume 11, Issue 12 [December. 2022] PP: 128-134 <https://ijejournal.com/papers/Vol11-Issue12/1112128134.pdf>
39. Аземша С.А. / Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Светлогорске / С.А. Аземша, Т.В. Грищенко, О.О. Ясинская // *Вестник Брестского государственного технического университета «Физика, математика, информатика»*. – 2019. – № 5 (118). – С. 37–40.
40. Klinkhardt, C., Kandler, K., Kostorz, N., Heilig, M., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2023). Integrating Autonomous Buses as Door-to-Door and First-/Last-Mile Service into Public Transport: Findings from a Stated Choice Experiment. *Transportation Research Record*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/03611981231175900>
41. Аземша С.А. Разработка предложений по повышению эффективности работы общественного городского пассажирского транспорта. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2019;16(5):544-557. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-5-544-557>
42. Аземша, С. А. Обоснование оптимальной вместимости модуля в составе пассажирского транспортного средства для регулярных городских перевозок / С. А. Аземша // *Транспорт Урала*. – 2023. – № 2(77). – С. 71-78. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-2-71-78. – EDN RMSUJJ.
43. Аземша С.А. Совершенствование технологии работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2024;21(3):396-411. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>. EDN: FIDYXY.
44. Jiyu Zhang, Ying-En Ge, Chunyan Tang, Meisu Zhong, Optimising modular-autonomous-vehicle transit service employing coupling–decoupling operations plus skip-stop strategy, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 184, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103450>
45. Zhuang Dai, Xiaoyue Cathy Liu, Xi Chen, Xiaolei Ma, Joint optimization of scheduling and capacity for mixed traffic with autonomous and human-driven buses: A dynamic programming approach, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 114, 2020, Pages 598-619, ISSN 0968-090X, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.03.001>.
46. Shi, X., Chen, Z., Pei, M., Li, X., 2020. Variable-capacity operations with modular transits for shared-use corridors. *Transp. Res. Rec.* 2674, 230–244.
47. Qingyun Tian, Yun Hui Lin, David Z.W. Wang, Yang Liu. Planning for modular-vehicle transit service system: Model formulation and solution methods, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 138, 2022, 103627, ISSN 0968-090X, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.103627>.
48. Chen, Z., Li, X., Qu, X., 2022. A continuous model for designing corridor systems with modular autonomous vehicles enabling station-wise docking. *Transp. Sci.* 56, 1–30.
49. Wang, Y., Ceder, A., Cao, Z., Zhang, S., 2023. Optimal public transport timetabling with autonomous-vehicle units using coupling and decoupling tactics. *Transportmet. A: Transport Sci.* <https://doi.org/10.1080/23249935.2023.2220423>
50. Tian, Q., Lin, Y., Wang, D., 2023. Joint scheduling and formation design for modular-vehicle transit service with time-dependent demand. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 147 (2023), 103986.