

УДК 656.13

DOI 10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПОВЫШЕНИЯ ОКУПАЕМОСТИ РАБОТЫ
ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА
ЕЖЕДНЕВНЫМ ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ПАССАЖИРОНАПРЯЖЕННОСТИ**

канд. техн. наук, доц. С.А. АЗЕМША, С.Ю. ЯНКОВИЧ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)
канд. техн. наук, доц. А.И. ПЕТРОВ
(Тюменский индустриальный университет)

Размер пассажиропотока является одной из основополагающих величин при организации городских пассажирских перевозок в регулярном сообщении. Он определяет количество пассажирских транспортных средств (ПТС) на маршруте, их вместимость, интервалы движения. При этом величина пассажиропотока не является постоянной и может меняться ежедневно в зависимости от дня недели, месяца года и прочих факторов. В то же время количество ПТС, работающих на маршруте, их вместимость и интервалы движения, как правило, изменяются только по типу дня недели (будний/выходной) и сезону (летнее/зимнее расписание). В таких условиях зачастую наблюдается избыток провозных возможностей по сравнению с имеющейся мощностью пассажиропотока, что ведет к неоправданному росту себестоимости работы городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ). Поэтому создание условий, при которых провозные возможности ПТС будут максимально приближаться к величине пассажиропотока, позволит повысить окупаемость работы ГОПТ.

Цель публикации – установить факторы, значимо влияющие на величину суточного пассажиропотока, и оценить целесообразность ежедневной подстройки провозных возможностей ПТС под прогнозную величину пассажиропотока с учетом таких факторов.

Ключевые слова: *пассажиропоток, пассажирский модуль, неравномерность, прогнозирование, вместимость.*

Введение. Анализ неравномерности пассажиропотока при пассажирских перевозках в научной литературе уделено немало внимания.

Так, в [1, с. 30] показана модель временного ряда (тренда) годового пассажиропотока от фактора времени. Кроме того, авторы использовали ряд Фурье для анализа и прогнозирования внутригодовых колебаний модели сезонной волны (сезонных колебаний). На основании полученных прогнозных данных по пассажиропотоку авторы рекомендуют различные мероприятия по обеспечению рентабельности работы: увеличение тарифа, снижение вместимости работающего на маршруте автобуса, увеличение интервала движения.

В работе¹ предлагается ежедневно, на основании данных о существующем спросе на транспортные услуги и сведений об имеющемся в автопредприятии подвижном составе, решать транспортную задачу с целью оптимального распределения автомобильных транспортных средств по маршрутной сети.

В [2] отмечается, что факторами, влияющими на величину пассажиропотока на маршруте, являются: час суток, день недели и сезон года. Авторами было отмечено, что величины пассажиропотока на маршруте сильно варьируются по дням недели и часам суток.

В [3] исследуется уровень наполняемости общественного пассажирского транспорта в Словакии. Анализ наполняемости троллейбусов был выполнен на четырех городских троллейбусных маршрутах, общее количество исследованных рейсов – 631. Было подсчитано, что средняя степень использования вместимости на рассмотренных маршрутах составляет 33,43% для одиночных транспортных средств и 31,83 для сочлененных. Следовательно, перевозчику целесообразнее было бы провести перераспределение работы троллейбусов разной вместимости. В качестве будущих перспективных способов решения обозначенной в статье проблемы, по мнению авторов, может стать модель, которая будет обновляться в течение определенного периода из-за возможных изменений пассажиропотока. Таким образом, перевозчик может соответствующим образом реагировать на изменения спроса и сократить время перевозки пассажира и себестоимость перевозки, используя подходящее транспортное средство.

В работе² на протяжении 2001 года анализировались данные пассажиропотока по каждому рейсу одного из автомобильных перевозчиков г. Нефтеюганска. На основании полученной информации подсчитывался

¹ Circulation of Vehicles as an Important Parameter of Public Transport Efficiency. URL: https://www.researchgate.net/publication/293743648_Circulation_of_Vehicles_as_an_Important_Parameter_of_Public_Transport_Efficiency?enrichId=rgreq-37625068ec8741e8087a503f56c56e97-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI5Mzc0MzY0ODtBUzozMjc0OTUzNjM2NDU0NDVAMTQ1NTA5MjM4NzY3Mw%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf

² Петров А.И., Абдулмажидов А.И. Исследование приспособленности системы городского пассажирского автомобильного транспорта Нефтеюганска к неравномерности пассажиропотоков // Транспортный комплекс-2002: материалы науч.-практ. семинара Междунар. выставки-ярмарки «Город-2002», «АЗС комплекс-200», «Автосалон-200» / г. Тюмень (21–24 мая 2002 г.). – Тюмень: Тюмен. гос. нефтегазовый ун-т, 2002. – С. 154–156.

коэффициент, показывающий соотношение используемых перевозчиком ресурсов и потребностей жителей в перевозках. Для дней недели, в которых значения коэффициента приспособленности системы общественного транспорта к потребностям населения в перевозках больше чем 1,2, авторы предлагают уменьшить количество выпускаемых на линию автобусов.

В [4] проведена аналитическая работа, позволившая определить статистические характеристики критериев оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) в ряде городов Республики Беларусь. В качестве критериев оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) использовались:

- средняя наполняемость за рейс (Np), пасс., – отношение выполненных за рейс пассажиро-километров к длине рейса;

- коэффициент рейсовой вместимости ($Kpvm$) – отношение выполненных за рейс пассажиро-километров транспортной работы к максимально возможной транспортной работе, определяемой произведением вместимости автобуса и расстоянием поездки;

- коэффициент пассажиронапряженности ($Kпн$) – отношение максимального пассажиропотока за рейс (пассажиронапряженности) к вместимости автобуса.

Как было установлено, имеются значимые различия в показанных выше критериях оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) по маршрутам их работы, дням недели, часам суток. Также получено, что средняя эффективность использования вместимости пассажирских транспортных средств составляет порядка 30%, что согласуется с данными, приведенными в [3].

Поскольку мощность пассажиропотока сильно вариативна по маршрутам, дням недели, часам суток и т.д., это приводит к несоответствию имеющейся провозной возможности ГОПТ и мощности пассажиропотока и проявляется одним из следующих способов:

- дефицит провозных возможностей – наблюдается в пиковые периоды и приводит к переизбытку пассажиров. Такие ситуации опасны тем, что сильно снижают качество предоставляемых пассажирам услуг и чреват отказом от дальнейшего пользования ГОПТ;

- профицит провозных возможностей – в непииковые периоды и приводит к низкому использованию вместимости ПТС. Такие ситуации дают неоправданно высокую себестоимость выполнения транспортной работы и, как следствие, снижение окупаемости работы ГОПТ.

На практике вопросы дефицита провозных возможностей решаются увеличением вместимости работающих на маршруте ПТС. В итоге это усугубляет проблему профицита провозных возможностей в отличные от пиковых часы (рисунок 1).

На рисунке 1 показан оборотный рейс на маятниковом маршруте, состоящий из i -й и следующей за ней $(i + 1)$ -й ездки. При этом объем пассажиропотока при i -й ездке больше, чем при $(i + 1)$ -й, и определяется пассажиронапряженностью в 95 и 35 пассажиров соответственно (рисунок 1, a).

В таких условиях в настоящее время провозная способность ГОПТ будет определяться максимальной пассажиронапряженностью, под которую будет подобрана вместимость ПТС. Например, пусть такая вместимость составит 100 пассажиров. Тогда коэффициент пассажиронапряженности за i -й и $(i + 1)$ -й ездками составит

$$\text{вит} \frac{95 + 35}{100 + 100} = 0,6. \text{ При росте пассажиронапряженности, например, до 115 пасс (рисунок 1, } b), \text{ необходимо}$$

увеличить и провозную способность ГОПТ. Выпускать два ПТС суммарной вместимостью не меньше чем пассажиронапряженности и одновременно с этим уменьшить интервал движения на маршруте нецелесообразно с точки зрения резкого роста себестоимости такой перевозки. Поэтому на практике отдают предпочтение варианту увеличения вместимости ПТС, работающего на данном маршруте. Для случая, изображенного на рисунке 1, b , это может быть, например, 120 пассажиров. Тогда коэффициент пассажиронапряженности за две ездки составит

$$\text{вит} \frac{115 + 35}{120 + 120} = 0,625, \text{ что меньше первоначального коэффициента пассажиронапряженности, рассчитанного для}$$

рисунка 1, a . Как видно, такая мера ведет к ухудшению использования вместимости ПТС, а следовательно, к неоправданно высокой себестоимости перевозки и низкой окупаемости работы ГОПТ.

В условиях профицита провозных возможностей ($(i + 1)$ -я ездка на рисунке 1) перевозчики могут:

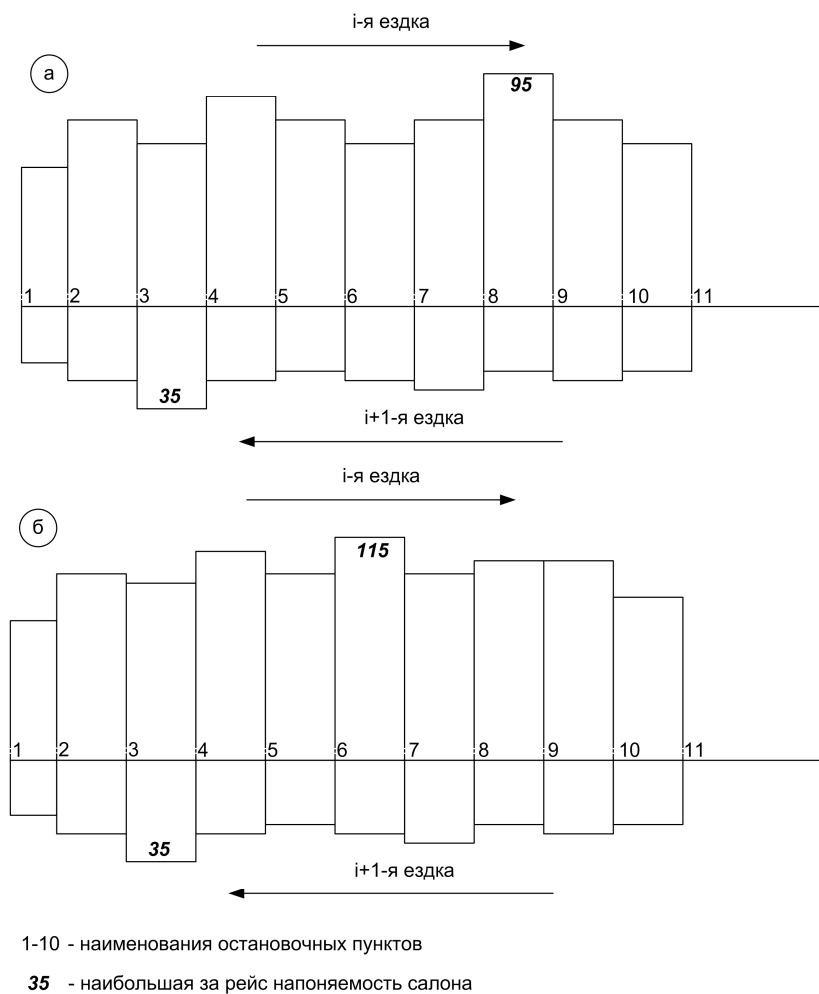
- увеличить интервал движения на маршруте. Эта мера приводит к росту времени ожидания пассажирами, снижению качества предоставляемых услуг и, соответственно, к возможному отказу от услуг ГОПТ;

- снизить вместимость ПТС, которым выполняется $(i + 1)$ -я ездка.

Снижение вместимости ПТС, которым выполняется ездка, достигается назначением на данную ездку другого ПТС, вместимость которого в большей мере соответствует имеющейся пассажиронапряженности. Для условий рисунка 1 это может быть, например, вместимость 40 пассажиров. Тогда коэффициент пассажиронапряженности составит:

- для условий рисунка 1, a $\frac{95 + 35}{100 + 40} = 0,93$;

- для условий рисунка 1, b $\frac{115 + 35}{120 + 40} = 0,94$.



a – до роста пассажиропотока; ***b*** – после роста пассажиропотока

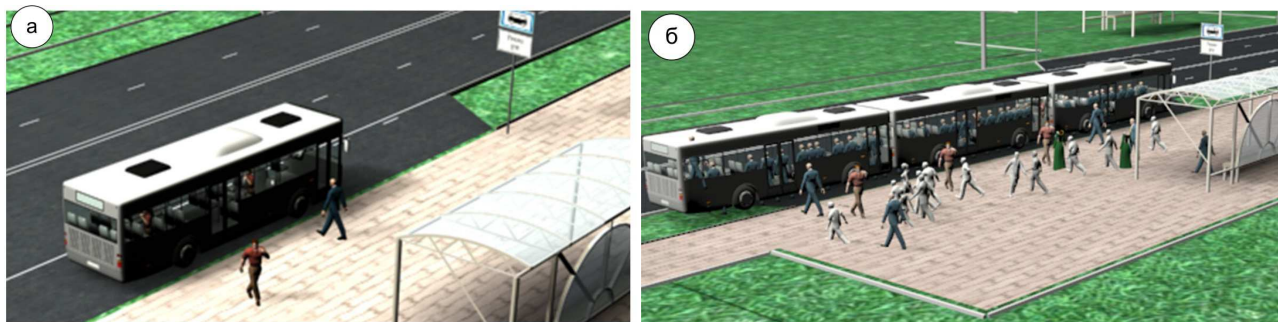
Рисунок 1. – Картограмма пассажиропотока за оборотный рейс

Таким образом, применение ПТС разной вместимости позволяет подстроить провозную возможность ГОПТ под имеющуюся мощность пассажиропотока, снизить себестоимость перевозки и повысить окупаемость работы ГОПТ. Однако в данном случае возникает ряд организационных вопросов. Первый: откуда должно взяться ПТС меньшей вместимости? Если оно ожидало выхода в рейс на конечном остановочном пункте, то водитель с ПТС большей вместимости пересаживается на ПТС меньшей вместимости и продолжает работать уже на нем. В этом случае будут иметь место простои ПТС без выполнения работы: в периоды большого пассажиропотока будет проставить ПТС малой вместимости, а в периоды спада пассажиропотока – ПТС большой вместимости. Если же водитель должен будет загнать ПТС большой вместимости в парк, затем пересест на ПТС малой вместимости и на нем продолжить работу, то возникают дополнительные непроизводительные нулевые пробеги. Также наличие парка ПТС разной вместимости предполагает наличие у перевозчика соответствующей ремонтной базы, склада запчастей, что опять же дополнительные затраты.

Чтобы избежать этих ошибок при подстройке провозной способности под имеющуюся величину пассажиропотока, в [5] предложено использование составов модульных ПТС, которые позволяют уменьшать или увеличивать пассажироместность в зависимости от величины пассажиронапряженности для каждого выполняемого рейса (рисунок 2). Тем самым снижается себестоимость выполнения перевозки и растет окупаемость работы ГОПТ. Так, в период спада пассажиропотока уменьшается пассажиронапряженность с коэффициентом пассажиронапряженности³, и рейс выполняется составом модульного ПТС, состоящим из одного модуля (рисунок 2, *a*). При росте пассажиропотока увеличивается и пассажиронапряженность³. Поэтому на конечных остановочных пунктах в состав модульного ПТС добавляется необходимое количество модулей, обеспечивающих

³ Аземша С.А. Определение статистической связи между параметрами пассажиропотока и маршрута при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Логистический аудит транспорта и цепей поставок: материалы II междунар. науч.-практ. конф. / Тюмень (26 апр. 2019 г.) / отв. ред. С.А. Эртман. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 8–15.

при выполнении данного рейса суммарную вместимость состава модульного ПТС не меньше пассажиронапряженности (рисунок 2, б). При этом для минимизации себестоимости выполнения такого рейса разница между вместимостью состава модульного ПТС и пассажиронапряженностью должна быть минимальной.



а – один модуль при спаде пассажиропотока; б – три модуля в период роста пассажиропотока

Рисунок 2. – Использование составов модульных ПТС с различным количеством модулей

Предложенный в [5] механизм подстройки провозной способности под имеющуюся мощность пассажиропотока подразумевает наличие данных о пассажиронапряженности для каждого рейса на каждом маршруте. В то же время проведенный анализ литературы показал, что имеется неравномерность пассажиропотока и для каждого отдельного рейса в зависимости от дня недели, сезона года и пр. факторов. Т.е. если на какой то день k для i -й ездки на j -м маршруте величина пассажиронапряженности составляет, например, 70 пассажиров ($P_{kij} = 70$) и для ее выполнения необходим состав модульных ПТС вместимость V_{kij} , такой что $V_{kij} - P_{kij} \rightarrow \min$, при $V_{kij} - P_{kij} > 0$, то в другой день значение пассажиронапряженности будет иное ($P_{lij} \neq P_{kij}$), что, возможно, повлечет за собой назначение для выполнения данной ездки иного состава модульного ПТС ($V_{lij} \neq V_{kij}$). Концептуальный механизм такого планирования описан в [6].

Очевидно, что такая подстройка подразумевает определенное оснащение ПТС дополнительным оборудованием, позволяющим вести подсчет числа входящих/выходящих или перевезенных пассажиров. Кроме того, на основании этих данных должно производиться прогнозирование пассажиронапряженности на последующий день с последующим назначением на каждый рейс каждого маршрута своего состава модульного ПТС. Очевидно, что подобное дооснащение ПТС потребует определенных затрат. Поэтому целью данной работы является установить факторы, значимо влияющие на величину суточного пассажиропотока, и оценить целесообразность ежедневной подстройки провозных возможностей ПТС под прогнозную величину пассажиропотока с учетом таких факторов.

Основная часть. Для реализации сформулированной цели необходимо установить факторы, влияющие на величину суточного пассажиропотока. В качестве исходных данных выступали:

1. Календарная информация:

- день недели (D) – категориальная переменная, указывающая день недели. Принимает семь значений: от понедельника до воскресенья;
- месяц года (M) – категориальная переменная, указывающая месяц года. Принимает 12 значений: от января до декабря;
- календарный год (G) – категориальная переменная, указывающая календарный год. Принимает три значения: 2020, 2021 и 2022;
- праздник/выходной (H) – категориальная переменная, показывающая является ли данный день праздником/выходным или нет. Принимает два значения: «Да» и «Нет».

2. Фактическая информация о погоде на 8 часов утра каждого дня⁴:

- осадки (O) – категориальная переменная, показывающая наличие и характеристики осадков. Принимает следующие значения: без осадков; ливень (ливни); дождь; снег или дождь со снегом; туман или ледяной туман или сильная мгла; морось; облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода; песчаная или пыльная буря или снежная низовая метель; облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода; гроза (грозы) с осадками или без них; облака покрывали более половины неба в течение одной части соответствующего периода и половину или менее в течение другой части периода;
- облачность (C) – непрерывная переменная, показывающая облачность в %;
- скорость ветра (F) – скорость ветра, м/с;

⁴ Погода в 240 странах мира [Электронный ресурс] / Архив погоды в Тюмени. URL: https://tp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%A2%D1%8E%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8 (дата обращения: 19.03.2023).

- ветер (W) – категориальная переменная, показывающая направление ветра;
- температура (T) – непрерывная переменная, показывающая температуру воздуха в градусах Цельсия.

3. Суточный объем перевозок на всех маршрутах города (P) – непрерывная переменная, показывающая суточный объем перевозок пассажирским транспортом в г. Тюмени. Предоставлено автомобильными перевозчиками Тюмени за период с 22 июня 2020 г. по 13 ноября 2022 г.

Выдвигается гипотеза о значимости влияния календарной информации и информации о погоде на суточный объем перевозок.

В таблице 1 приведены основные статистические характеристики зависимой переменной (P), на рисунке 3 – гистограмма частот ее распределения, на рисунке 4 – диаграмма размаха.

Таблица 1. – Основные статистические характеристики суточного объема перевозок

Переменная	N наблюдений	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Асимметрия	Стандарт. откл. Асимметрии	Экссесс	Стандарт. откл. Экссесс
P	875	316458,7	324756,0	54487,00	453409,0	85142,71	-0,396469	0,082666	-0,910821	0,165146

Согласно таблице 1, среднее значение суточного объема перевозок составляет 307 073,9 пассажира, а стандартное отклонение равно 92 177,9 пассажира. При этом размах выборки составляет 398 922 пассажира. Все это говорит о достаточно высокой неравномерности этой величины и показывает резерв повышения окупаемости перевозок путем подстройки вместимости ПТС под мощность пассажиропотока в каждый конкретный день.

Из рисунков 3 и 4 следует, что распределение зависимой переменной отлично от нормального закона распределения.

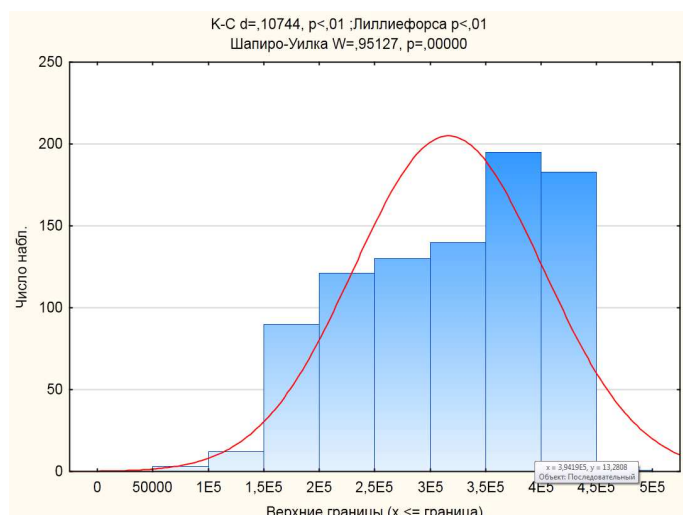


Рисунок 3. – Гистограмма распределения частот суточного объема перевозок

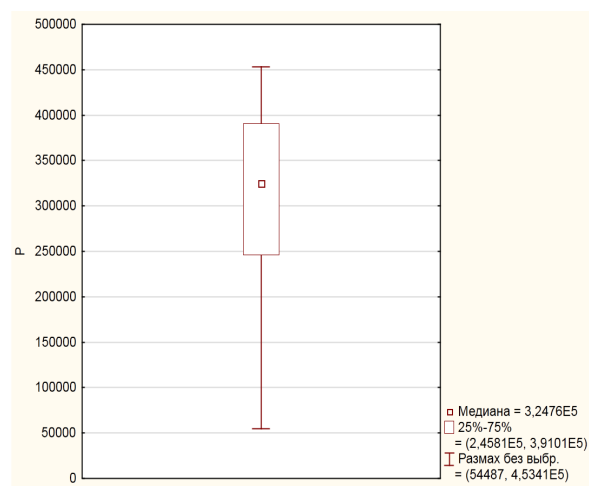


Рисунок 4. – Диаграмма размаха суточного объема перевозок

Динамика изменения суточного объема перевозки пассажиров за рассматриваемый период представлена на рисунке 5. Заметно, что наблюдаются определенные сезонные колебания исследуемой величины. В то же время необходимо отметить наличие большого разброса в суточном объеме перевозки пассажиров, учет которых может дать резервы повышения эффективности использования вместимости ПТС и на этой основе повышение окупаемости работы ГОПТ.

Для углубленной оценки степени влияния независимых переменных на зависимую, а также получения модели, описывающей такую зависимость, в Statistica 13.3 (Serial number JRR709H998119TE-A) с применением технологий интеллектуального анализа данных (Data Mining) была построена математическая модель. Такие технологии обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими методами анализа, что и определяет целесообразность их применения для достижения цели данного исследования. При этом для построения моделей применялись методы C@RT, случайного леса, бустинга деревьев, нейронных сетей, опорных векторов. В таблице 2 приведена информация о значимости вклада каждой независимой переменной в значения зависимой. Ряд переменных незначимо влияют на величину зависимой переменной. Поэтому указанные независимые переменные (C , F) были удалены из модели.

Для оставшихся независимых переменных наилучшую связь с существующими исходными данными показала модель, полученная применением нейронной сети (многослойного перцептрона) архитектуры

MLP 53-10-1 алгоритмом обучения BFGS 31, экспоненциальными функциями активации скрытых и выходных нейронов. Указанная модель обеспечивает коэффициент корреляции для обучающей выборки, равный 0,96, а для тестовой – 0,94.

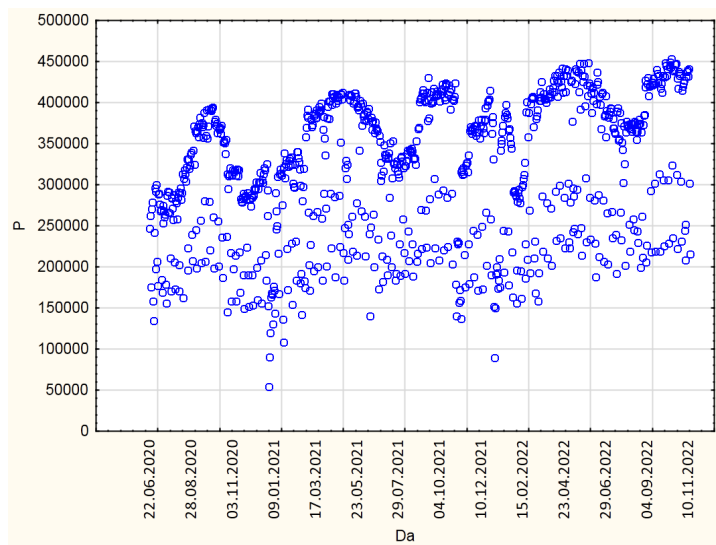


Рисунок 5. – Динамика изменения суточного объема перевозок за рассматриваемый период

Таблица 2. – Значимость вклада независимых переменных в значения зависимой

Независимая переменная	F -значение	p -значение
H	100	1,000000
D	81	0,810889
M	69	0,693560
G	57	0,570532
T	30	0,300515
W	9	0,089880
O	7	0,072942

Таким образом, на величину зависимой переменной значимо влияют:

1. Календарная информация:
 - вид дня (праздник/выходной, H);
 - день недели (D);
 - месяц года (M);
 - календарный год (G).
2. Информация о погоде:
 - температура (T);
 - осадки (O);
 - ветер (W).

На рисунке 6 приведена диаграмма размаха суточного объема перевозок по будним и выходным дням. Медиана среднесуточного объема перевозок в будний день примерно на 70% выше, чем в выходные и праздничные дни. При этом размах выборки уменьшился с 398 922 (см. разницу между минимумом и максимумом в таблице 1) до 301 270 при буднем расписании и 344 138 (см. разницу между минимумом и максимумом на диаграмме размаха на рисунке 6) при выходном (праздничном), что говорит о том, что дифференциация расписания на будний и выходной (праздничный) обеспечивает более точную подстройку провозных возможностей парка ПТС под мощность пассажиропотока и, следовательно, способствует повышению экономической эффективности работы ГОПТ. Оценка значимости различий в этих двух выборках, произведенная по критериям Вальда–Вольфовица, Колмогорова–Смирнова и U -критерию Манна–Уитни, показала значимость этих различий. На практике увеличение эффективности использования ПТС в таких условиях достигается корректировкой расписания движения в сторону уменьшения количества рейсов, выполняемых в выходные и праздничные дни, а также выпуском ПТС меньшей вместимости (при их наличии).

Кроме того, из рисунка 6 видно, что существует большой разброс в объеме перевезенных пассажиров внутри будних, а также праздничных и выходных дней. Для будних дней имеется ярко выраженная сезонность (рисунк 7). Для выходных и праздничных дней таких явных колебаний не наблюдается.

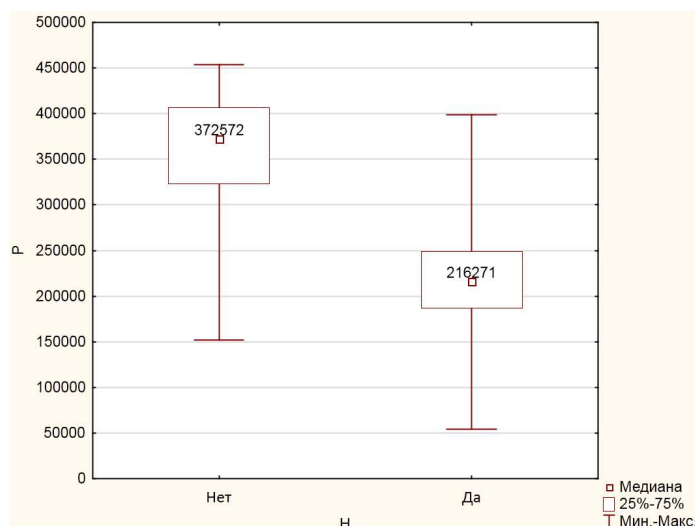
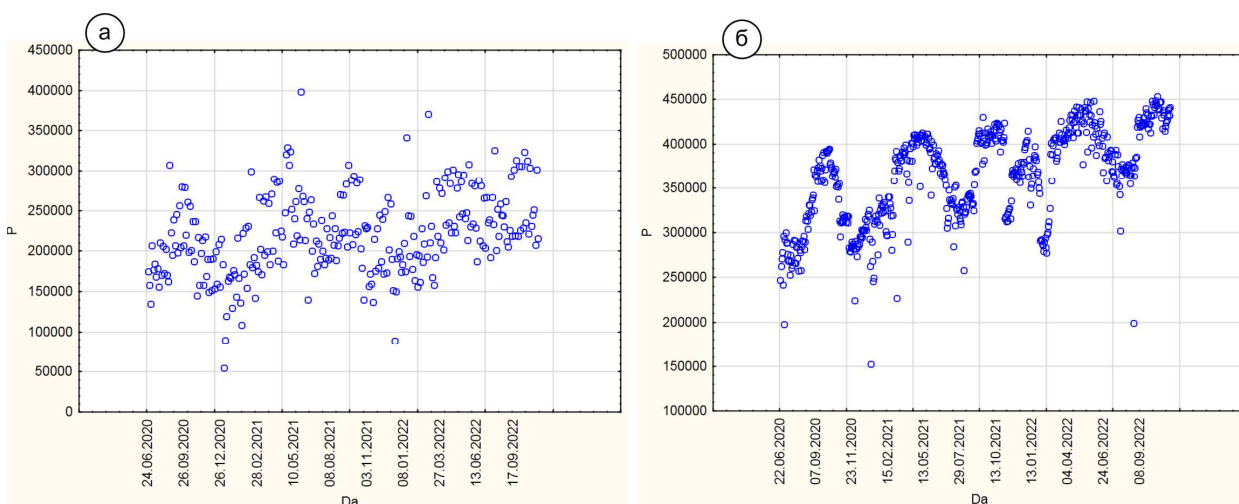


Рисунок 6. – Диаграммы размаха среднесуточного объема перевозок по будним («Нет»), выходным и праздничным дням («Да»)



а – выходные и праздничные дни; б – будние дни

Рисунок 7. – Динамика изменения суточного объема перевозок

В Тюмени летнее расписание действует примерно с 30 апреля по 30 октября⁵. Остальной период действует зимнее расписание. Диаграммы размаха среднесуточного объема перевозок с учетом сезонности расписания и его вида в зависимости от буднего или выходного дня представлены на рисунке 8. Согласно рисунку 8, медиана объема перевезенных пассажиров по выходным дням при летнем и зимнем расписаниях примерно равны. Аналогичная ситуация наблюдается и для будних дней. Анализ значимости различий между ними, выполненный при помощи критерия Краскела–Уоллиса, показал отсутствие значимости таких различий. Т.е. в будние дни в летний период суточный объем перевезенных пассажиров незначимо отличается от значения аналогичного показателя в зимний период. Аналогично и для праздничных (выходных) дней.

Также рисунок 8 иллюстрирует наличие существенного размаха в значениях суточного объема перевозок внутри изображенных групп. Все это показывает недостаточную эффективность реализации летнего и зимнего расписаний движения ГОПТ, т.к. сохраняется большой разброс значений объема перевезенных пассажиров внутри таких групп расписания. При этом максимальное значение размаха выборки объема перевезенных пассажиров уменьшилось с 344 138 пассажиров при выходном расписании до 316 082 пассажиров при зимнем расписании выходного дня. Дальнейшая дифференциация расписания движения с учетом вида дня (праздник/выходной, *H*), дня недели (*D*), месяца года (*M*) и календарного года (*Г*) показывает сни-

⁵ ООО «Селдон Новости» [Электронный ресурс] / 33 тюменских автобуса перешли с летних маршрутов на зимнее расписание. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/274846774> (дата обращения: 19.03.2023).

жение показателей размаха внутри полученных групп. Установлено при этом максимальные значения показателей размаха будут составлять 252 769 пассажиров. Наибольший размах наблюдается в воскресные дни зимнего расписания 2022 г.

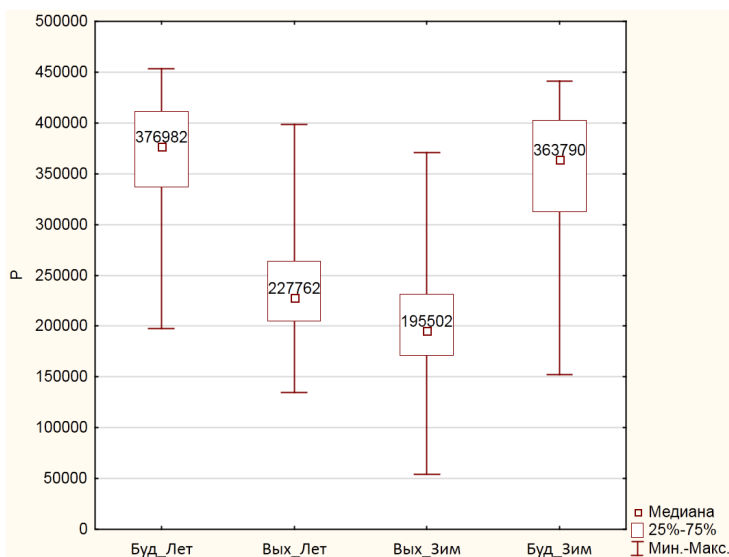


Рисунок 8. – Диаграммы размаха среднесуточного объема перевозок по будним дням при летнем расписании («Буд_Лет»), выходным дням при летнем расписании («Вых_Лет»), выходным дням при зимнем расписании («Вых_Зим»), будним дням при зимнем расписании («Буд_Зим»)

Заключение. На суточный объем перевозок пассажиров в г. Тюмени значимо влияют день недели, месяц года, календарный год, праздник/выходной, осадки, ветер, температура. Учет этих факторов позволяет прогнозировать значение суточного пассажиропотока и на основании этого подстраивать вместимость работающих ПТС под фактическое значение пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута.

Для реализации такого подхода необходим сбор и накопление данных о перечисленных выше факторах, значимо влияющих на величину пассажиропотока. Использование систем автоматического подсчета количества перевезенных пассажиров позволит накопить информацию о закономерностях изменения пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута. Прогнозирование с учетом таких закономерностей на каждом рейсе каждого маршрута пассажиронапряженности позволит подстроить под ее величину вместимость ПТС, выполняющих данный рейс. При этом предполагается использовать состав модульных ПТС, позволяющих уменьшать или увеличивать пассажироместимость в зависимости от величины пассажиронапряженности для каждого выполняемого рейса, тем самым снижая себестоимость выполнения перевозки и повышая окупаемость работы ГОПТ. Т.е. на каждый день k для каждой j -й ездки каждого на i -го маршрута можно получить прогнозное значение пассажиронапряженности Q_{kij} и под нее подстроить вместимость состава модульных ПТС (V_{kij}) таким образом, чтобы обеспечивалась минимальная разница между этими величинами. В период спада пассажиропотока уменьшается и пассажиронапряженность, и рейс выполняется составом модульного ПТС из одного модуля. При росте пассажиропотока увеличивается и пассажиронапряженность. Поэтому на конечных остановочных пунктах в состав модульного ПТС добавляется необходимое количество модулей, обеспечивающих при выполнении данного рейса суммарную вместимость состава модульного ПТС не меньше пассажиронапряженности. При этом для минимизации себестоимости выполнения такого рейса разница между вместимостью состава модульного ПТС и пассажиронапряженности должна быть минимальной. Такой подход позволит подстраивать вместимость модульного ПТС под существующую пассажиронапряженность не только по маршрутам, дням недели, часам суток, но и динамически – на каждый день, каждый рейс на каждом маршруте.

Дальнейшие работы в данном направлении целесообразно сосредоточить на сборе данных об изменении пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута и оценке влияния на эту величину календарных и погодных условий; обосновании вместимости модуля с учетом возможных вариантов их конструкции, конструкций сцепных устройств в составе модульного ПТС, ограничений, накладываемых на длину состава модульного ПТС; разработке методики управления парком модулей с учетом варьативности пассажиропотока каждого дня на каждом рейсе каждого маршрута, особенностей маршрутной сети, параметров конечных пунктов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – № 3(19). – С. 25–33.

2. Хвостов А.А., Шипилова Е.А., Ребриков Д.И. Планирование и обработка результатов исследования пассажиропотока в рамках маршрута / Научный вестн. Воронеж. гос. архитектурно-строител. ун-та. Сер.: Информац. Технологии в строител., социал. и эконом. системах. – 2013. – № 2. – С. 97–102.
3. Peter Medvid', Marián Gogola and Stanislav Kubaľák. Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – № 44. – P. 153–159. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.02.022
4. Аземша С.А., Грищенко Т.В., Ясинская О.О. Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Могилеве // Вестн. Полоц. гос. техн. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2020. – № 11. – С. 62–69.
5. Аземша С.А. Разработка предложений по повышению эффективности работы общественного городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. – 2019. – № 16(5). – С. 544–557. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-5-544-557
6. Аземша С.А., Янкович, С.Ю. Повышение эффективности пассажирских перевозок городским транспортом регулярного сообщения с учетом колебаний пассажиропотока // Вестн. Полоц. гос. техн. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2023. – № 1(47). – С. 65–70. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-47-1-65-70

REFERENCES

1. Belokurov, V.P., Motuzka, D.A. & Artemov, A.Yu. (2015). Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransporta pri osushchestvlenii sezonnykh passazhirsikh perevozk v gorodakh kurortnykh zon [Improving the efficiency of motor transport operation during the implementation of seasonal passenger transportation in the cities of resort areas]. *Tekhnologiya kole-snykh i gusenichnykh mashin [Technology of wheeled and tracked vehicles]*, 3(19), 25–33. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Khvostov, A.A., Shipilova, E.A. & Rebrikov, D.I. (2013). Planirovanie i obrabotka rezul'tatov issledovaniya passazhiropotoka v ramkakh marshruta [Planning and processing the results of a study of passenger traffic within the route]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Information technologies in building, social and economic systems]*, (2), 97–102. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Medvid', P., Gogola, M. & Kubaľák, S. (2020). Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, (44), 153–159. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.02.022 (In Engl.)
4. Azemsha, S.A., Grishchenko, T.V. & Yasinskaya, O.O. (2020). Issledovanie napolnyaemosti avtobusov pri gorodskikh perevozkakh passazhirov v g. Mogileve [Study of the occupancy of buses in urban transportation of passengers in the city of Mogilev]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State Technical University. Series B, Industry. Applied Science]*, (11), 62–69. (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Azemsha, S.A. (2019). Razrabotka predlozhenii po povysheniyu effektivnosti raboty obshchestvennogo gorodskogo passazhirsikogo transporta [Development of proposals to improve the efficiency of public urban passenger transport]. *Vestnik SibADI [The Russian Automobile and Highway Industry Journal Vestnik SibADI]*, 16(5), 544–557. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-5-544-557 (In Russ., abstr. in Engl.)
6. Azemsha, S.A. & Yankovich, S.Yu. (2023). Povyshenie effektivnosti passazhirsikh perevozk gorodskim transportom regul'yarnogo soobshcheniya s uchetom kolebanii passazhiropotoka [Improving the efficiency of passenger transportation by regular public transport, taking into account fluctuations in passenger traffic]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Sciences]*, 1(47), 65–70. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-47-1-65-70 (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 16.08.2023

**EVALUATION OF THE POTENTIAL TO INCREASE RETURN ON WORK
URBAN PASSENGER TRANSPORT DAILY PASSENGER VOLUME FORECAST**

S. AZEMSHA, S. YANKOVICH
(Belarusian State University of Transport, Gomel)
A. PETROV
(Industrial University of Tyumen)

The size of passenger traffic is one of the fundamental values in the organization of urban passenger traffic in regular traffic. It determines the number of passenger vehicles (PTS) on the route, their capacity, traffic intervals. At the same time, the volume of passenger traffic is not constant and can change daily depending on the day of the week, month of the year and other factors. At the same time, the number of vehicles operating on the route, their capacity and intervals of movement, as a rule, change only by the type of day of the week (weekday/weekend) and by season (summer/winter schedule). In such conditions, there is often an excess of carrying capacity compared to with the available capacity of passenger traffic, which leads to an unjustified increase in the cost of urban public passenger transport (OPPT). Therefore, the creation of conditions under which the transportation capacity of the PTS will be as close as possible to the size of the passenger traffic will increase the payback of the work of the GOPT.

The purpose of the publication is to establish factors that significantly affect the amount of daily passenger traffic and assess the feasibility of daily adjustment of the transportation capacity of the TCP to the forecast value of passenger traffic, taking into account such factors.

Keywords: passenger flow, passenger module, unevenness, forecasting, capacity.