

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

С. В. СКИРКОВСКИЙ, В. Н. СЕДЮКЕВИЧ

ГОРОДСКОЙ НАЗЕМНЫЙ
МАРШРУТИЗИРОВАННЫЙ
ТРАНСПОРТ: РЕШЕНИЯ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ
ПЕРЕВОЗОК

Гомель 2019

Скирковский, С. В. Городской наземный маршрутизированный транспорт: решения по организации перевозок : [монография] / С. В. Скирковский, В. Н. Седюкевич. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 174 с. – ISBN 978-985-554-861-5

Рассматриваются мероприятия, направленные на повышение эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом на основе оптимизации вместимости транспортных средств, работающих на маршрутах, в зависимости от изменения величины пассажиропотока по часам суток и выбора рациональной формы организации работы.

Для научных работников и специалистов, занимающихся вопросами организации перевозок пассажиров автомобильным и городским электрическим транспортом, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов автотранспортных специальностей.

Табл. 35. Ил. 40. Библиогр.: 156 назв.

*Рекомендовано к изданию Советом
Белорусского государственного университета транспорта*

Р е ц е н з е н т ы:

декан автотракторного факультета БНТУ, профессор кафедры транспортных систем и технологий д-р техн. наук *Д. В. Капский*;
профессор кафедры экономики и финансов Гомельского филиала учреждения образования Федерации профсоюзов Беларуси
«Международный университет «МИТСО» д-р техн. наук *А. В. Шилович*;
доцент кафедры управления автомобильными перевозками и дорожным движением БелГУТа канд. техн. наук *А. А. Михальченко*

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ГОРОДА ГОМЕЛЯ.....	8
1.1 Городской наземный маршрутизированный транспорт, состояние, пути развития.....	8
1.2 Государственное регулирование городского пассажирских перевозок в Республике Беларусь.....	17
1.3 Краткая характеристика системы городского наземного маршрутизированного транспорта города Гомеля.....	25
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ПассажиРОВ НАЗЕМНЫМ ГОРОДСКИМ МАРШРУТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ.....	31
2.1 Оценка эффективности перевозки пассажиров.....	31
2.2 Закономерности распределения пассажиропотока во времени, по направле- ниям и участкам.....	34
2.3 Анализ методик выбора вместимости и количества автомобильных пассажирс- ких транспортных средств для работы на маршрутах.....	41
2.4 Исследование методов оценки затрат пассажиров на передвижение.....	49
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ НАЗЕМНЫМ МАРШРУТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ.....	54
3.1 Исследование влияния факторов на результативность работы городского маршрутизированного транспорта.....	54
3.2 Анализ факторов, влияющих на систему городских пассажирских перевозок.....	66
3.3 Определение оптимального значения вместимости пассажирского транспорт- ного средства.....	81
3.4 Распределение пассажирских транспортных средств по маршрутам.....	88
3.5 Выбор формы организации работы пассажирских транспортных средств на маршруте.....	90
Выводы.....	98
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАССАЖИРО- ПОТОКА ПО ЧАСАМ СУТОК НА МАРШРУТЕ.....	99
4.1 Объект и методика проведения исследований.....	99
4.2 Определение закономерностей изменения пассажиропотока во времени.....	109
4.3 Подтверждение адекватности модели определения закономерностей измене- ния пассажиропотоков во времени.....	114

5 МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВА-	
НИЙ НА ПРАКТИКЕ	123
5.1 Методика повышения эффективности перевозок пассажиров	
городским маршрутизированным транспортом	123
5.2 Разработка алгоритма и компьютерной программы оптимизации параметров	
функционирования городского маршрутизированного транспорта	145
5.3 Методика оценки эффективности предлагаемых решений	157
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	164

ВВЕДЕНИЕ

Городской пассажирский общественный транспорт оказывает важнейшее влияние на мобильность населения и является одним из основных способов его перемещений к местам приложения труда и отдыха.

Количество работающих на каждом предприятии при отсутствии городского пассажирского транспорта определяется зоной пешеходной доступности и является в таком случае весьма ограниченной величиной. Это в значительной мере обуславливает раздробленность производства, затрудняет его развитие.

Городской пассажирский транспорт, не относясь к сфере материального производства, а являясь сферой обслуживания, не создает материальных благ, а лишь способствует их производству в местах приложения труда граждан. От качества работы городского пассажирского транспорта зависит своевременная доставка граждан города на работу, к местам отдыха, что в значительной мере определяет ритм функционирования сферы производства и услуг, единство которых не вызывает сомнений. Стремление общества к прогрессу обусловило его постоянно растущую потребность в быстром и гарантированном перемещении на значительные по городским меркам расстояния. Вследствие этого общество создало сферу производства и эксплуатации городских транспортных средств, отраслей и подотраслей.

В сложившихся условиях значительное количество мероприятий, направленных на совершенствование городских пассажирских перевозок, может удовлетворять или общественным интересам, или ведомственным. Например, чем больше транспортных средств работает на маршрутах города, тем меньше приходится ожидать посадки на остановочных пунктах, тем свободнее салоны автобусов и удобнее поездка. В то же время, чем больше транспортных средств на маршрутах, тем больше убытки транспортных предприятий и хуже их финансовое положение, что отрицательно сказывается на трудовой деятельности коллектива. В сложившейся ситуации необходимо использовать такие методы организации перевозок пассажиров в городах, которые удовлетворяли бы одновременно общественные и ведомственные интересы. Транспортные предприятия оценивают степень эффективности того или иного мероприятия, направленного на совершенствование своей деятельности из условий максимальной прибыли. Общество, в свою очередь, воспринимает эффективность деятельности городского пассажирского транспорта с учетом не только прибыльности его деятельности, но и социальных последствий в результате транспортного передвижения пассажиров.

Способность пассажирского автомобильного транспорта оперативно реагировать на изменение спроса на перевозки, возможность корректировки маршрутной сети, пассажироместимости и частоты движения пассажирских транспортных средств создают дополнительную привлекательность этому виду транспорта.

Городские перевозки пассажиров в регулярном сообщении являются социально значимыми, тарифы на них устанавливаются на уровне платежеспособного спроса населения, и, учитывая снижение объемов перевозок, окупаемость обеспечивается на уровне 75 %. Социальная значимость таких перевозок очевидна, и государство поддерживает их за счет использования местных бюджетов на приобретение новых транспортных средств и субсидий для компенсации убытков, возникающих при выполнении данного вида перевозок [1].

Поэтому, с одной стороны, необходимо повысить самоокупаемость и соответственно сократить размеры субсидий на городские перевозки пассажиров, а с другой – требуется повышение качества обслуживания пассажиров.

Деятельность пассажирских транспортных предприятий общего пользования в Республике Беларусь регламентируется Законом об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках [2], Законом о городском электрическом транспорте и метрополитене [3], Правилами перевозок пассажиров городским электрическим транспортом [4], Правилами автомобильных перевозок пассажиров [5,6], положением об операторе автомобильных перевозок пассажиров, системой государственных социальных стандартов [7].

В настоящее время в Республике Беларусь городские перевозки пассажиров автобусами полностью обеспечивают выполнение требований государственных социальных стандартов по обслуживанию населения в области транспорта, в части выполнения запланированного количества рейсов и предоставления необходимого количества пассажиромест [8].

Большое влияние на организацию перевозок пассажиров и повышение эффективности использования пассажирского транспорта оказывает неравномерность распределения пассажиропотоков во времени. Значительные колебания пассажиропотоков наблюдаются по часам суток. Деятельность предприятий пассажирского транспорта по организации перевозок пассажиров, сводится, в основном, к выполнению запланированного числа рейсов и постоянном наращивании провозных способностей, что приводит к неэффективному использованию транспортных средств, росту затрат на выполнение перевозок и, как следствие, снижению эффективности и привлекательности общественного транспорта.

Изношенность парка пассажирских транспортных средств в нашей республике достигает 70 %. Расширение номенклатуры выпускаемой автомобильной промышленностью пассажирских транспортных средств и планы по обновлению в Беларуси парка пассажирских транспортных средств, за-

нятых на перевозке пассажиров, предусмотренные Государственной программой развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 гг., ежегодно в среднем на 10 %, создает условия для совершенствования структуры парка предприятий пассажирского транспорта, а также применения пассажирских транспортных средств различной вместимости в различные периоды суток для максимального соответствия провозной способности парка транспортных средств, изменяющемуся во времени пассажиропотоку.

Наиболее значимым, в практической деятельности, критерием оценки качества транспортного обслуживания населения, являются общие затраты времени жителей на передвижение и стоимость проезда.

Повысить эффективность работы городской пассажирской транспортной системы можно путем оптимизации отдельных параметров ее работы и особенно в периоды спада пассажиропотока. Этого можно достичь, оптимизировав вместимость транспортных средств и установлением момента перехода от интервальной работы в часы «пик» на работу по расписанию в моменты спада пассажиропотока. Оптимизация вместимости позволяет сократить затраты пассажирских предприятий на выполнение перевозок, а работа транспортных средств по расписанию при низкой частоте их движения дает сокращение потерь времени пассажиров в ожидании посадки и увеличение коэффициента наполняемости ПТС.

Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом, являются актуальными и важными.

1 ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ГОРОДА ГОМЕЛЯ

1.1 Городской наземный маршрутизированный транспорт, состояние, пути развития

Городской наземный маршрутизированный транспорт осуществляет перевозку пассажиров по заранее определенным маршрутам движения в регулярном сообщении. Перевозки пассажиров в регулярном сообщении подразделяются на перевозки пассажиров транспортом общего пользования и иные перевозки пассажиров в регулярном сообщении.

Транспорт общего пользования – это транспорт, удовлетворяющий потребности организаций всех видов экономической деятельности и населения в перевозках пассажиров, осуществляющий общедоступное транспортное обслуживание населения. К нему относится пассажирский транспорт, доступный и востребованный к использованию всеми слоями населения за определенную плату и на условиях публичного договора. Перевозка общественным транспортом является унифицированной по своим условиям, по сути, имеет ряд свойств, присущих общественным благам. Следовательно, под категорию общественного транспорта не подпадают, например, школьные, служебные, специальные и туристические перевозки.

Для Беларуси характерен высокий уровень урбанизации, поскольку согласно результатам переписи населения около 6 млн человек являются городскими жителями. По официальной статистике около 80 % валового производства Беларуси сосредоточено в городах. Для каждого региона нашей страны характерна определенная специфика общественного транспорта, обуславливаемая демографической ситуацией, географическим положением, а также уровнем развития и специализацией региональной экономики.

Одним жителем нашей страны совершается ежегодно в среднем около 240 поездок. Для экономически активного населения, в особенности городских жителей, интенсивность использования общественного транспорта доходит до 750–800 поездок в год. Следует отметить, что свыше 60 % всех поездок совершается в целях участия в общественном производстве, хотя доля экономически активного населения составляет лишь 48 % от общего числа жителей страны [1].

Необходимость в массовом городском транспорте возникла в XVIII в., когда крупнейшие города мира достигли значительных размеров, и дальнейшее их развитие сдерживалось отсутствием транспортных средств, обеспечивающих связь между основными районами города. Широчайшее развитие он получил в XIX и первой половине XX вв. Однако на период 1930–1960-х годов во многих странах происходил процесс свёртывания общественного транспорта из-за конкуренции с личными легковыми транспортными средствами, становившимися всё более доступными широким слоям населения.

Личный автомобиль обеспечивает гораздо большую скорость поездки при высоком комфорте, однако автомобилизация порождает множество проблем: перегрузка улиц и нехватка мест для стоянки автомобилей; напряжённое автомобильное движение создаёт сильный шум и загрязнение воздуха. Обеспечение подвижности автомобилизованного населения требует больших затрат.

Существуют различные взгляды на взаимоотношения общественного и индивидуального транспорта, в т.ч. два диаметрально противоположных: крайняя «автомобильная» точка зрения предполагает тотальную автомобилизацию населения и полное искоренение общественного транспорта как ненужного и создающего помехи в движении индивидуального транспорта и крайняя «антиавтомобильная», которая полагает, что индивидуальный автомобиль является безусловным злом. В настоящее время в транспортном планировании избегают обеих крайностей, стараясь соблюсти баланс интересов между удобством пассажиров и социальным и природным равновесием [9].

В Республике Беларусь в целом, и в частности в Гомеле, в силу различных причин большинство населения выражает недовольство работой общественного транспорта. Вместе с тем, несмотря на имеющиеся недостатки в работе городского наземного транспорта и сложившееся к нему отношение, общественный транспорт обеспечивает значительно более экономичное использование проезжей части дорог при обслуживании пассажиропотоков, а следовательно, улучшает общую провозную способность улично-дорожной сети. Кроме этого общественный транспорт города стал более экономичен (из расчета количества потребленного энергоносителя на перевозку одного пассажира по сравнению с личным легковым транспортом), а также более безопасен, учитывая профессиональное управление, поэтому риск попасть в дорожно-транспортное происшествие для пассажира общественного транспорта статистически намного ниже, чем для пассажира легкового автомобиля [10, 11].

При надлежащей организации работы общественного транспорта он может и должен составить достойную конкуренцию личному транспорту в повседневном обслуживании пассажиропотоков, в первую очередь, в населенных пунктах. В этих целях на протяжении последних лет в Республике Беларусь в рамках исполнения государственных программ ведутся соответ-

ствующие работы: модернизируется парк транспортных средств, оптимизируется маршрутная сеть, в работу общественного транспорта внедряются информационные технологии.

Законом Республики Беларусь «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» установлено, что транспорт общего пользования – это транспорт, используемый для выполнения перевозок пассажиров на основании публичного договора, то есть по обращению любого гражданина или юридического лица, и по регулируемым или объявленным тарифам [2].

Созданию в городах транспортных систем, способствующих благоприятному функционированию транспортных коммуникаций города и управлению автомобильными потоками в начале прошлого века послужило стремительное развитие автомобилизации общества и естественное увеличение транспортной подвижности населения [12].

Постоянный рост интенсивности движения предъявлял все более высокие требования к созданным системам, от их совершенства зависело успешное функционирование всего города как среды жизнедеятельности его населения. Развитие транспортной системы города в сегодняшних условиях должно способствовать обеспечению бесперебойного и безопасного движения транспортных потоков по дорожным сетям городов и снижению транспортных издержек при всех видах перевозок [9, 10].

В нашей стране нет единого закона о перевозках, работа каждого действующего вида транспорта регулируется отдельными нормативными правовыми актами. Общее определение перевозок наземным транспортом содержится в ст.743 Гражданского кодекса Республики Беларусь, в соответствии с которой *перевозка* признается перевозкой транспортом общего пользования, если из законодательных актов или выданного перевозчику специального разрешения (лицензии) вытекает, что перевозчик обязан осуществлять перевозки грузов, пассажиров и багажа при обращении любого гражданина или юридического лица [1].

Закон «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» [2] определяет перевозку автомобильным транспортом общего пользования опосредованно через понятие регулярных перевозок. Регулярными признаются систематические автомобильные перевозки пассажиров, выполняемые согласно расписаниям либо интервалам движения транспортных средств с установленным началом и окончанием работы по определенным маршрутам с местами посадки и высадки пассажиров, оборудованными в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов.

Двадцатый век часто называют веком урбанизации, т.е. стремительного роста городов как по числу, так и по размерам. Вместе с городами развивались и городские транспортные системы, образовавшие самостоятельную отрасль – городской пассажирский транспорт. Он включает в себя несколь-

ко видов транспорта: автомобильный, городской электрический и метрополитен [24].

В современных, особенно крупных городах в перевозках пассажиров широко используются различные виды городского пассажирского транспорта. В таблице 1.1 приведена сравнительная их характеристика.

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика видов городского транспорта

Параметр	Метро		Моно-рельс	Трамвай скоростной	Трамвай	Троллейбус	Автобус
	мелкого заложения	эстакадное (легкое)					
Стоимость км линии (двойного пути), тыс. евро	65 000	20 000	15 000	2 000	1 400	400	150
Возможность внеуличного движения	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет
Приведенная стоимость организации движения при максимальном пассажиропотоке, евро/пас.	722	667	2 500	67	78	50	30
Приведенная стоимость транспортных средств, евро/пас./год	34	50	500	80	80	80	120
Минимальный рекомендуемый пассажиропоток, тыс. пас./час	25	15	н/д	5	2	1	0,1
Максимальный пассажиропоток, тыс. пас./час	90	30	6	30	18	8	5
Маршрутная скорость, км\ч:							
минимальная	40	25	20	24	15	12	12
максимальная	45	35	25	30	24	20	20

Метрополитен является внеуличным электрическим транспортом, отличающимся высокой провозной способностью и обеспечивающим быстрое, безопасное и комфортабельное сообщение. Провозная способность метрополитена может достигать 40–50 тыс. пассажиров в час в одном направлении. По капиталовложениям метрополитен является одним из самых дорогостоящих видов транспорта, и поэтому его строят только в крупнейших городах с населением более 1 млн жителей на направлениях с мощными и устойчивыми пассажиропотоками. Благодаря метрополитену решается проблема массовых скоростных перевозок пассажиров, которая не по силам наземному маршрутизированному транспорту.

Скоростной трамвай сопоставим по стоимости строительства путей с обычным трамваем, а по провозной способности – с метро, более удобен, так как его остановки ближе к местам назначения поездов. Отличительным свойством трамвая является возможность работать как на скоростных, так и на обычных линиях [13].

Трамвай является уличным рельсовым видом транспорта с общим или обособленным путевым полотном в основном наземного исполнения. Провозная способность трамвая находится в пределах 12–15 тыс. пассажиров в час. По провозной способности это второй после метрополитена вид городского пассажирского транспорта. Трамвай – экономичный по эксплуатационным затратам и экологически чистый вид городского транспорта. Однако его маневренность по сравнению с другими уличными видами транспорта низкая, неисправности вызывают пробки и заторы, он создаёт шум. Поэтому в 1950–1960 гг. значение трамвая как массового общественного транспорта стало уменьшаться, и во многих городах трамвайное хозяйство стало сворачиваться. Трамваю необходимо для движения обособленное земляное полотно, которое занимает значительную ширину улицы и создает серьезные трудности в организации движения автомобильного транспорта. Это является основными причинами уменьшения плотности сети трамвая в крупных городах [64].

Троллейбус – безрельсовый наземный вид транспорта с энергообеспечением от подвесной контактной сети. Его провозная способность составляет 8–9 тыс. пассажиров в час. Троллейбусы недороги в эксплуатации, просты и надежны, экологически чисты, обладают высокими динамическими качествами. Однако сооружение контактной сети требует определенных затрат, она загромождает улицы и ухудшает их вид, связь с контактной сетью ограничивает маневренность и не позволяет осуществлять работу подвижного состава с разными режимами движения. Троллейбус целесообразно использовать в городах с населением более 250 тыс. жителей на линиях с устойчивыми пассажиропотоками не ниже 2–2,5 тыс. пассажиров в час в качестве как основного, так и вспомогательного вида транспорта.

Автобус – безрельсовый наземный вид транспорта с автономным энергоснабжением, обладающим высокой маневренностью и не требующий сооружения специальных путевых устройств. Провозная способность автобусного транспорта – 9–10 тыс. пассажиров в час. Автобус обеспечивает возможность легкого изменения маршрутной сети в соответствии с колебаниями пассажиропотоков и организации маршрутов в новых районах жилой застройки. Автобус является единственным видом транспорта в малых городах и рабочих поселках со сравнительно небольшими пассажиропотоками и вспомогательным на подвозящих и развозящих маршрутах в крупных и крупнейших городах.

К преимуществам автобуса можно отнести: большую маневренность; автономность (независимость от работы других видов транспорта); функционирование на общей сети дорог (не требует специально приспособленных путей, что минимизирует капитальные вложения); возможность организации работы в обычном, экспрессном, скоростном сообщениях; возможность организации комбинированного режима, удобство выхода-входа пассажиров на тротуар; более простую организацию экстренной перевозки по любому направлению [69].

Благодаря преимуществам автобуса перед другими видами и, несмотря на присущие ему недостатки, он получил значительное распространение. Автобусное сообщение организовано по всей стране.

Электробус (электрический автобус) – автономное безрельсовое механическое транспортное средство общего пользования, предназначенное для перевозки по дорогам людей и движущееся по установленному маршруту при помощи тягового электропривода, энергия для которого запасается на борту в накопителе.

Электробус средней или большой вместимости по принципу конструирования и применяемому электрооборудованию во многом похож на троллейбус, а в общей концепции – на электромобиль, каковым он и является.

Высокая стоимость экологически чистого транспорта, целесообразность закупки и производства электробусов вообще активно обсуждается в белорусском обществе и прессе [30].

Говоря о рациональных сферах применения различных видов городского пассажирского транспорта, можно констатировать, что скоростной и традиционный трамвай целесообразен на хордовых направлениях, а также на радиальных, где поток не превышает 25 тысяч пассажиров в час. Автобус следует развивать на маршрутах с низким или неустойчивым пассажиропотоком, а также на экспрессных безостановочных маршрутах и для движения по тем магистралям, где не предусмотрено движение троллейбуса. На участках, где пассажиропоток повыше – 2–5 тысяч пассажиров в час – целесообразно заменять автобус на троллейбус, учитывая его экологичность. При этом развитие безрельсовых видов транспорта эффективно на «беспробочных» улицах или при условии выделенной полосы, метро – для радиальных перевозок с высоким пассажиропотоком [26]. Использование же наземного транспорта только для подвоза к метро привело к отсутствию альтернативы и, как следствие привели к его перегрузке, поездкам в соседний район через центр [14].

Городской общественный пассажирский транспорт оказывает заметное влияние на экономическое и социальное развитие административно-территориальных единиц, способен выступать как средство ускорения или замедления развития городов, обеспечивает или, наоборот, препятствует получению населением жизненно важных услуг. Он предназначается для перевозок населения между центрами транспортного тяготения, к которым

относятся предприятия, организации, культурные, спортивные, бытовые и другие учреждения [15].

В современных условиях дальнейшее развитие и совершенствование экономики немыслимо без хорошо налаженного транспортного обеспечения. Транспортная система городов должна обеспечивать бесперебойное, безопасное, своевременное перемещение людей. Предельные затраты времени передвижений на работу в одну сторону зависят от величины города и в крупнейших городах для 90 % пассажиров не должны превышать 40 мин. Однако этот норматив не связан с другими качественными показателями транспортного обслуживания: наполнением подвижного состава, регулярностью движения, скоростью сообщения, то есть уровнем развития городского транспорта, времени, объемом работы городского пассажирского транспорта, называемым пассажиропотоком. Величина пассажиропотоков, их распределение по направлениям, колебания во времени, пиковые нагрузки учитываются при обосновании маршрутной сети, выборе транспортных средств, мощности подсистем энергоснабжения, устройств организации транспортного движения в пределах города [16].

Важное технико-экономическое значение имеет соотношение капитальных вложений и эксплуатационных расходов в элементы систем городского пассажирского транспорта. Системы, отличающиеся большой долей затрат на путевые сооружения и соответствующие устройства, обладают низкой маневренностью. Пример таких систем – метрополитен или надземные скоростные рельсовые дороги, монорельсовые системы транспорта. Если же капитальные вложения приходятся главным образом на транспортные средства, то такие системы отличаются высокой маневренностью и легкой приспособляемостью к изменениям пассажиропотоков (автобус и в меньшей степени троллейбус). Они используются для транспортного освоения вновь осваиваемых под городскую застройку территорий, так как не требуют длительного периода строительства объектов путевого хозяйства [9].

На долю городского пассажирского транспорта приходится основной объем перевозок, и для их выполнения привлекается значительный парк транспортных средств. Кроме того, он влияет на процессы расселения, формирование и застройку микрорайонов. Элементы городского пассажирского транспорта и их системные связи обеспечивают перевозки пассажиров в условиях конкретного города и тесно связаны с его характеристиками: функциональным зонированием, взаиморазмещением центров массового тяготения населения, планировочной и территориальной. Эти характеристики определяют, в основном, количество транспортных корреспонденции, их длину, затраты.

Транспортное обеспечение имеет огромное экономическое значение в жизни города. Взаимодействие промышленных предприятий, сфер обслуживания и торгово-потребительского рынка напрямую зависит от транспорта и экономика страны в целом напрямую зависит от способности транс-

портно-промышленного комплекса удовлетворить запросы потребительского рынка. Различные виды транспорта позволяют в кратчайшие сроки обеспечить доставку населения. Транспортная инфраструктура города в развитом государстве обеспечивает потребности различных социальных групп населения [68].

Городской общественный транспорт в силу своей специфики является структурным компонентом городской инфраструктуры. Потребность в городском пассажирском транспорте исторически возникает, когда в результате роста городов их территориальные размеры превышают зону пешеходной доступности городского центра, оцениваемую затратами времени на пешеходный подход от периферии к центру города. Обычно зону максимальной пешеходной доступности городского центра принимают в моноцентрических городах 30 мин. При этом максимальный радиус пешеходной доступности составляет 2 км, а предельные территориальные размеры «пешеходного» города – 12,56 км². Выход территориальных размеров городов за пределы зоны пешеходной доступности вызывает необходимость развития городского пассажирского транспорта. Каждый этап технического развития транспорта расширяет возможности общества, увеличивает его производительные силы. Как правило, выделяется **три этапа развития города и его транспортных структур** [26].

На первом этапе транспортные связи способствуют открытию новых возможностей развития города, а именно созданию новых типов городских инфраструктур, строительству как промышленных объектов, так и объектов социального обслуживания населения.

На втором этапе происходит повышение качества обслуживания городского населения, так как функционирование пассажирского транспорта во многом определяет социально-экономический потенциал города, который через фактор транспортной доступности влияет на формирование цен на рынке недвижимости, способствует повышению экономической активности населения.

На третьем этапе улучшение транспортного обслуживания способствует дальнейшей урбанизации городского и пригородного транспорта и прироста вновь осваиваемых под застройку территорий. Скоростные виды городского пассажирского транспорта (метрополитен, пригородное железнодорожное сообщение, скоростной трамвай, автобусы-экспрессы и полукспрессы) обеспечивают увеличение линейных размеров города до нескольких десятков километров, а площадь – до 1000 квадратных километров и более. Изменяется характер расселения, особенно в зонах влияния крупных и крупнейших городов. Одна из тенденций в современной урбанизации – это образование и быстрый рост пригородов, что было характерно не только для крупнейших и крупных городов, но и даже для малых и средних населенных мест [17].

В Республике Беларусь услуги по перевозке пассажиров и грузов на автотранспортном рынке страны оказывают:

– на автомобильном транспорте – 30483 субъекта хозяйствования, имеющих лицензию (разрешение) на право осуществления деятельности в области автомобильного транспорта, из них 603 осуществляют перевозки населения автобусами и 10965 – автомобилями-такси;

– на городском электрическом транспорте – 8 организаций коммунальной формы собственности [1].

Автобусными перевозками постоянно пользуются 60 % граждан страны, проживающих в 120 населенных пунктах городского типа, а также 754 сельских населенных пунктах, обеспечивается около 85 % потребностей населения в городском и пригородном сообщении.

Перевозки пассажиров троллейбусами выполняются в городах Минске, Бресте, Витебске, Гродно, Гомеле, Могилеве и Бобруйске. Троллейбусами и трамваями в 2018 г. перевезено более 470 млн пассажиров. Пассажирооборот городского электрического транспорта составил около 2,6 млрд пассажиро-километров [17].

В последние годы сложилась устойчивая тенденция падения объема автомобильных перевозок пассажиров [17]. Снижение пассажирооборота произошло по причине низкой скорости движения пассажирских транспортных средств, увеличения количества легковых автомобилей в собственности граждан и отсутствия эффективного контроля за полной оплатой проезда. Снизилась привлекательность пассажирских перевозок автомобильным и городским электрическим транспортом, так как улично-дорожная сеть не рассчитана на имеющееся количество транспорта.

Тенденция снижения объема перевозок пассажиров, выполняемых транспортом общего пользования, характерна и для городского электрического транспорта, услугами которого имеют возможность постоянно пользоваться более 4,2 млн человек, проживающих в девяти крупных городах, или около 59 % от всего городского населения республики. Вместе с тем в 2016–2017 гг. удалось достичь уровня 1995 г. по объему перевозок пассажиров таксомоторным транспортом – более 10 млн пас., а к 2019 г. почти вдвое превысить – более 18 млн пас.

Более 90 % перевозок пассажиров в регулярном сообщении обеспечивается организациями автомобильного транспорта общего пользования коммунальной собственности.

Варианты систем городского пассажирского маршрутизированного транспорта необходимо оценивать комплексно, учитывая их народнохозяйственный эффект в сфере деятельности самого транспорта и косвенный (социально-экономический), возникающий в смежных отраслях. Так, например, экономится время и энергия человека, улучшается состояние окружающей среды, снижается воздействие шума и вибрации на городскую застройку. *Основ-*

ной задачей организации движения городского транспорта является обеспечение наиболее высокого качества перевозок пассажиров при минимальных затратах на их выполнение.

Таким образом, городской пассажирский маршрутизированный транспорт является важнейшим и капиталоемким элементом транспортной инфраструктуры, на долю которого приходится основной объем перевозок, и для их выполнения привлекается значительный парк транспортных средств. Кроме того, он влияет на процессы расселения, формирование и застройку микрорайонов. Автомобильный пассажирский транспорт является основным видом транспорта для поездок на короткие и средние расстояния. Городской общественный пассажирский транспорт занимает особое место в общественной жизни. Он входит в комплекс отраслей социальной инфраструктуры, т.е. отраслей, связанных с воспроизводством рабочей силы и жизнедеятельностью населения, наряду со здравоохранением, образованием и пр.

1.2 Государственное регулирование городских пассажирских перевозок в Республике Беларусь

Роль государственного регулирования достаточно велика и жизненно важна для населения, преимущественно, в области социально значимых услуг, к каким относится и общественный транспорт. основополагающая роль городского пассажирского транспорта заключается в экономии времени населения, затрачиваемого на преодоление расстояния между пространственно разобщенными элементами города. Необходимость государственного воздействия на эту сферу экономики ни у кого не вызывает сомнения, однако и ученые, и практики оживленно спорят о мерах этого воздействия [1].

Государственное управление транспортной деятельностью в Республике Беларусь осуществляется Советом Министров Республики Беларусь, Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, иными соответствующими республиканскими органами государственного управления и местными исполнительными и распорядительными органами в пределах их компетенции в целях реализации возложенных на них функций по управлению подведомственными им субъектами транспортной деятельности в соответствии с актами законодательства Республики Беларусь.

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь осуществляет государственное регулирование и управление в области автомобильного, городского электрического транспорта и метрополитена, деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, выполняющих:

- перевозочную и транспортно-экспедиционную деятельность;
- работы (услуги), связанные с обслуживанием пассажиров, грузов, транспортных средств, ремонтом транспортных средств и оборудования;

- обследование, проектирование, строительство, реконструкцию, ремонт, содержание республиканских автомобильных дорог и др.;
- научные исследования;
- подготовку кадров;
- информационное обеспечение и иные работы в этой области.

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь является республиканским органом государственного управления и подчиняется Совету Министров Республики Беларусь.

Существующая на сегодняшний день система управления общественным транспортом в Беларуси характеризуется значительной степенью централизованности. Министерство транспорта продолжает оставаться основным органом, отвечающим за деятельность государственных транспортных предприятий в области перевозки пассажиров. Фактически оно осуществляет функции оперативного управления субъектами хозяйствования, что отрицательно сказывается на способности министерства реализовывать государственную политику в области транспорта.

В сфере транспорта полномочия местных органов управления и самоуправления имеют в основном организационный характер. Например, органы местного управления и самоуправления обязаны организовать и обеспечить транспортное сообщение внутри и между населенными пунктами, обеспечить население транспортными услугами и т.д.

Структура управления автомобильным пассажирским транспортом в Беларуси схематично представлена на рисунке 1.1 [1].



Рисунок 1.1 – Структура управления автомобильным пассажирским транспортом в Беларуси

Объектом государственного регулирования в сфере организации процесса перевозок населения является профессиональная деятельность транспортных организаций и предприятий (в том числе физических лиц – пред-

принимателей) различного организационно-правового статуса и форм собственности, которые на различных этапах решают те или иные задачи перевозочного процесса.

Государственное регулирование транспортной деятельности в Республике Беларусь включает:

- формирование нормативно-правовой базы, регламентирующей транспортную деятельность;

- формирование системы информационного обеспечения органов управления транспортной деятельностью;

- разработку и реализацию направлений и программ развития транспортной деятельности, а также ее государственную поддержку;

- обеспечение условий для развития рынка транспортных работ и услуг, конкурентной среды в области транспортной деятельности через подтверждение соответствия объектов транспортной деятельности, транспортных работ и услуг требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, лицензирование, разгосударствление и приватизацию, проведение налоговой, тарифной и другой государственной политики;

- установление требований по обеспечению безопасности транспортной деятельности, а также норм охраны окружающей среды;

- соблюдение принципов международного сотрудничества в области транспортной деятельности, определение условий и порядка взаимоотношений национальных и иностранных субъектов этого вида деятельности.

Принятие в 1998 г. Закона «Об основах транспортной деятельности» послужило началом отсчета процесса формирования национального транспортного законодательства. Именно этот закон стал не только фундаментом, но и установил единые принципы и подходы к его формированию, сквозную терминологию и механизмы реализации основных правовых предписаний. В последующие годы на его основе был принят целый пакет транспортных законов и кодексов отраслевого и общетранспортного характера.

Вступление в силу Закона «Об основах транспортной деятельности» дало импульс поиску оптимального сочетания государственно-нормативных методов управления на транспорте и договорных отношений между производителями и потребителями транспортных работ и услуг.

Актуальным направлением совершенствования законодательства является его рекодификация, когда на законодательный уровень переносятся нормативные предписания, имеющие существенный характер (правовые последствия), но содержащиеся в актах более низкой юридической силы, принятых на правительственном или отраслевом уровне.

В последней редакции Закона «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» впервые использован термин «организация автомобильных перевозок пассажиров» и дано его определение как совокупность

организационных действий и технологических операций по обеспечению выполнения автомобильных перевозок пассажиров. При этом деятельность оператора (основной фигуры процесса организации автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении) впервые законодательно была поставлена на договорную основу [1].

Если национальное законодательство в области автомобильных перевозок пассажиров разработано достаточно хорошо, то правовое регулирование отношений, вытекающих из городских и пригородных перевозок пассажиров в регулярном сообщении наземным электрическим транспортом или метро, вовсе отсутствует или осуществляется устаревшими нормативными актами. Вместе с тем все перевозки пассажиров имеют общественно значимый характер, а их организация, обеспечение и правовое регулирование опосредованно реализуют социальную функцию государства в части создания доступного и обеспеченного государственной защитой рынка транспортных услуг [1].

Основу законодательства в области транспортного обслуживания населения в Республике Беларусь составляют:

- Гражданский кодекс Республики Беларусь;
- законы «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь», «Об основах транспортной деятельности», «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках», другие транспортные уставы и кодексы;
- правовые предписания из смежных отраслей права, в том числе административного, трудового и антимонопольного;
- иные законодательные акты, регулирующие отношения в области общественного транспорта;
- нормы международных договоров, действующих в Республике Беларусь;
- нормы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики;
- подзаконные нормативные правовые акты (Правительства, министерств и местных органов власти);
- технические нормативные правовые акты, в том числе иные нормы, нормативы и технические условия.

В современных условиях транспортные услуги выросли в крупную составляющую образа жизни населения. Однако экономические и социальные проблемы всякий рынок, в том числе и транспортных услуг, не в силах решать самостоятельно. Поэтому потребность государства в содержании и развитии различных учреждений сервиса без научно обоснованной государственной экономической политики не может быть удовлетворена [2].

Необходимость государственного регулирования деятельности предприятий, занимающихся пассажирскими перевозками, подтверждается целым

рядом причин. Основная часть их проявляется в признаках, присущих современному периоду автомобилизации общества в целом. Среди наиболее ярких можно выделить прекращение деятельности специализированных, государственных и общественных формирований, занимающихся вопросами обеспечения безопасности дорожного движения; увеличение в сфере эксплуатации доли поддержанных автомобилей и автобусов отечественного и иностранного производства; увеличение числа водителей, не имеющих достаточных навыков вождения; резкое ухудшение качества ремонтно-профилактических работ; расширение участия в пассажирских перевозках частных автотранспортных предприятий и индивидуальных предпринимателей [9].

Важным направлением государственного регулирования сферы пассажирских перевозок является процесс *ценообразования на транспорте*. Зачастую крупные автотранспортные предприятия, занимающиеся пассажирскими перевозками, являются естественными транспортными монополистами. Негативные последствия их деятельности на рынке могут быть сведены к минимуму только путем сохранения за государством функций контроля за уровнем цен и качеством обслуживания пассажиров. Государственный контроль должен быть направлен прежде всего на ограничение необоснованного роста стоимости транспортных услуг. Тарифы на перевозки пассажиров на автомобильном транспорте тесно связаны с ценами, действующими в экономике. Изменение цен на топливно-энергетические ресурсы неизбежно приводят к росту уровня цен на автомобильные перевозки. В свою очередь, повышение тарифов отрицательно сказывается на потребителях услуг, что вызывает социальное напряжение в обществе [2].

Особенностью тарифов на проезд в автобусах городского сообщения является то, что они практически во всех регионах Беларуси не покрывают текущих затрат, которые несут пассажирские автоперевозчики. Утверждая регулируемые тарифы на проезд в городских автобусах, органы государственного управления руководствуются главным образом социальными нуждами потребителей транспортных услуг, а не коммерческими интересами перевозчиков. Все убытки от существования нерентабельных социальных маршрутов возмещаются дотациями из местного бюджета. Возмещение расходов от перевозки льготных категорий пассажиров осуществляется государственными органами по остаточному принципу [1].

Средства на возмещение расходов, связанных с предоставлением льгот по проезду за счет республиканского бюджета, предусматриваются в установленном порядке при формировании проекта республиканского бюджета на очередной финансовый год на основании представленного Минтрансом в Министерство финансов расчета суммы бюджетных средств, необходимых для возмещения расходов на предоставление социальных льгот. Указанный расчет производится на основании данных о фактически сложившихся ве-

личинах расходов, связанных с предоставлением льгот по проезду за счет республиканского бюджета, за предшествующий год, полученных от областных и столичного автотранспортных предприятий. Сумма необходимых бюджетных средств определяется с учетом планируемого роста тарифов на данные виды услуг, а также прогнозных показателей по уровню инфляции, установленному на очередной финансовый год.

Субсидии, выделяемые из местных бюджетов, являются одним из источников возмещения части затрат по городским и пригородным перевозкам пассажиров, включая расходы, связанные с предоставлением льгот на услуги пассажирского транспорта в соответствии с законодательством Беларуси. При формировании проекта бюджета на очередной финансовый год Министерству финансов представляются расчеты областными и Минским городским финансовыми управлениями раздельно по видам транспорта и сообщений, которые используются в соответствующих административно-территориальных единицах.

Минтранс представляет данные по областям и Минску по перевозкам пассажиров автобусами, городским электрическим транспортом и внутренним водным транспортом раздельно по видам сообщений (городские и пригородные) [2].

Расчеты содержат данные:

- о затратах по перевозкам пассажиров в каждой области и Минске по видам транспорта и сообщений (городские, пригородные) с расшифровкой основных статей затрат;
- об объемах выполняемых работ в натуральном измерении;
- расчеты себестоимости единицы транспортной работы по каждому из видов транспорта (машино-место-километр, километр пробега, перевезенный пассажир и др.);
- фактические затраты;
- плановые затраты за прошедший финансовый (бюджетный) год;
- уточненные ожидаемые затраты на текущий год;
- уточненные ожидаемые затраты, планируемые на следующий финансовый год;
- источники возмещения затрат (субсидии, выручка от реализации билетной продукции с указанием прогнозируемых на очередной финансовый год тарифов и прочие собственные доходы организаций транспорта).

Отдельно представляются данные о потерях доходов: фактические – за прошедший год, ожидаемые – на текущий, планируемые на следующий финансовый год общие расходы, связанные с предоставлением льгот на услуги транспорта.

Расчетные объемы бюджетных субсидий на указанные цели (на расходы по перевозке пассажиров в городском и пригородном сообщениях, не относимые на себестоимость) ежегодно определяются Министерством финансов

при формировании проекта республиканского бюджета на очередной финансовый год в размере 3 % от первоначальных плановых затрат по областям и 5 % – по Минску по оказанию этого вида услуг.

Что касается предоставления населению услуг транспорта общественного пользования, то в белорусском законодательстве круг субъектов, задействованных в процессе организации перевозок, определен: население (то есть фактические пользователи услуги), заказчик (местная власть), оператор (субъект, ответственный за организацию перевозок) и непосредственно сам перевозчик (рисунок 1.2). В данной сфере национальное законодательство практически ничем не отличается от европейского, предполагающего такую же субъектность [1].

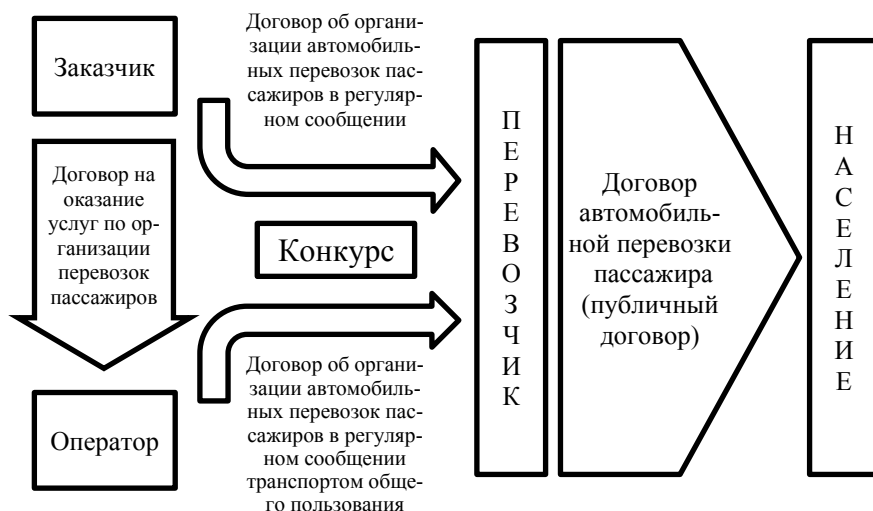


Рисунок 1.2 – Система договорных отношений на рынке автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении

В большинстве районов Республики Беларусь местные власти передали функции оператора перевозок государственным транспортным предприятиям. И здесь уже наблюдается расхождение с европейской практикой: автопарки являются не учреждениями, а предприятиями, которые к тому же осуществляют перевозки. То есть функции как планирования, так и осуществления перевозок сосредоточены в руках одного субъекта. Кроме того, его наделили правами регулирования рынка.

Решением Минского областного исполнительного комитета от 19.03.2010 г. № 289 оператором пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении по маршрутам, проходящим по территориям двух и более административно-территориальных единиц Минской

области, и междугородных внутриобластных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении назначено открытое акционерное общество «Миноблавтотранс», которое одновременно является крупнейшим автомобильным перевозчиком области. Аналогичная ситуация сложилась в Витебской, Гродненской и Могилевской областях.

В Гомеле же до 2011 г. существовало три оператора автомобильных перевозок пассажиров: ОАО «Гомельоблавтотранс», ОАО «Гомельский автобусный парк № 1» и ОАО «Автобусный парк № 6 г. Гомеля», каждый из которых одновременно являлся перевозчиком пассажиров. Создание государственного предприятия «Гомельоблпассажиртранс» позволило объединить функции оператора в городском, пригородном и междугородном регулярных сообщениях в одном юридическом лице [18].

Совершенствование кадрового потенциала сферы транспортных услуг в нынешних условиях хозяйствования также становится значимым направлением государственного воздействия. Повышение уровня профессиональной подготовки и квалификации водителей и работников автотранспортных предприятий, способных трудиться в условиях рынка, обучение управленческого персонала являются первоочередными потребностями кадрового обеспечения сферы пассажирских перевозок. Особое внимание должно быть направлено на индивидуальное предпринимательство, доля которого в автомобильном пассажирском транспорте достаточно велика. Сектор индивидуальных перевозчиков сегодня пополняется как за счет профессионалов (зачастую ранее работавших на автотранспортных предприятиях), так и за счет людей, не имеющих навыков и профессиональных знаний в сфере транспортных услуг.

Комплекс регулирования транспортной системы включает и экономические методы, и нормативно-правовое регулирование. В свою очередь, нормативно-правовые методы подразделяются на две области: обеспечение безопасности и регулирование рынка транспортных услуг. Обеспечение безопасности включает правила дорожного движения, устав автомобильного транспорта, правила по перевозкам грузов и пассажиров, стандарты по экологической безопасности и другие, не менее важные документы. Лицензирование, квоты и ограничения следует отнести к методам регулирования рынка транспортных услуг.

В настоящее время регулирование перевозочной деятельности осуществляется, в основном, путем лицензирования. В мировой практике первой ступенью государственного регулирования является задача оценки квалификации и уровня организации перевозочного процесса требованиям безопасности движения. Этим занимаются органы сертификации.

Тарифное регулирование является одним из основных направлений регулирования рынка общественных пассажирских перевозок. Тарифы формируются отдельно по каждому виду транспорта. Например, для автомо-

бильного транспорта используется постановление Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 12.04.2001 г. № 74/8 «Об утверждении Положения о порядке формирования тарифов на перевозку грузов и пассажиров автомобильным транспортом в Республике Беларусь». В городе Гомеле, например, формирование тарифов на автомобильные перевозки общественным транспортом осуществляется в соответствии с решениями Гомельского областного исполнительного комитета.

Во многих случаях транспорт является естественной монополией, что представляет собой сдерживающий фактор его развития. Предоставление же услуг частными перевозчиками, наоборот, сильно подвержено конкурентной борьбе. Это ведет к снижению заработной платы работников в отрасли. Социальные затраты транспорта очень велики, в связи с этим их необходимо учитывать и перераспределять. Автомобильный транспорт не может существовать без таких элементов, как автомобильные дороги, остановки, стоянки и т.п. Это обуславливает дополнительное финансирование.

1.3 Краткая характеристика системы городского наземного маршрутизированного транспорта города Гомеля

Городские пассажирские перевозки в Гомеле осуществляются двумя видами общественного транспорта: автомобильным и городским электрическим (троллейбусы);

Оплата проезда осуществляется путем предварительного приобретения проездных документов, выполненных на бумажных носителях, а также путем оплаты стоимости проезда наличными денежными средствами кондуктору или водителю транспортного средства.

При оплате проезда в городском транспорте применяется единый тариф, не зависящий от протяженности маршрута того или иного транспортного средства; стоимость проезда в пригородном и междугородном транспорте тарифицируется в зависимости от дальности следования.

На данный момент в городе Гомеле осуществляют перевозку пассажиров три предприятия: филиал «Автобусный парк № 6» ОАО «Гомельоблавто-транс», филиал «Автобусный парк № 1» ОАО «Гомельоблавтотранс», КУП «Горэлектротранспорт», а так же частные перевозчики. В роли контролирующей организации пассажирских перевозок выступает государственное предприятие «Гомельоблпассажиртранс». На регулярных экспрессных маршрутах перевозка пассажиров выполняется более чем 300 автобусами категории М2 частных перевозчиков [18].

Основной задачей предприятия «Гомельоблпассажи́ртранс» является выполнение функций оператора автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении. Кроме того, предприятие осуществляет следующие функции:

- формирование схемы маршрутной сети на территории Гомельской области;
- подготовка и проведение конкурсов на право выполнения автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении, а также заключение договоров об организации таких перевозок;
- разработка и ведение паспортов маршрутов автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении;
- обследование состояния дорог, улиц городов, пассажирских терминалов и остановочных пунктов на маршрутах автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении;
- изучение пассажиропотоков на маршрутах автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении, внесение при необходимости изменений в расписания либо интервалы движения транспортных средств;
- проверка наличия у пассажиров билетов на проезд по маршрутам автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении;
- контроль правильности выдачи проездных билетов пассажирам и проведения сбора выручки от перевозки пассажиров и багажа водителями, кондукторами и другими должностными лицами автомобильных перевозчиков и пассажирских терминалов;
- иные услуги по организации пассажирских перевозок в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Анализируя показатели финансово-хозяйственной деятельности государственного предприятия «Гомельоблпассажи́ртранс» за 2018 год и 6 месяцев 2019 года, можно отметить положительную тенденцию развития.

КУП «Горэлектротранспорт». Гомельское троллейбусное управление основано в 1962 году. В 1993 году Гомельское троллейбусное управление переименовано в Гомельское предприятие «Горэлектротранспорт», а в 2000 году – в коммунальное унитарное предприятие «Горэлектротранспорт» в составе производственного объединения жилищно-коммунального хозяйства Гомельского горисполкома.

В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 июля 2006 г. № 985 «Вопросы Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь» государственное регулирование и управление городским электрическим транспортом передано Министерству транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Функции оперативного управления предприятием остаются за КПУП «Гомельское городское ЖКХ».

Форма собственности – государственная, имущество находится в коммунальной собственности г. Гомеля, право владения, пользования и распоряжения имуществом принадлежит Гомельскому городскому Совету депутатов в лице Гомельского городского исполнительного комитета. Имущество предприятия принадлежит ему на праве хозяйственного ведения.

Основным видом деятельности предприятия является внутригородская перевозка пассажиров троллейбусами. Плановое задание по объемам выполнения транспортной работы устанавливается городским исполнительным комитетом.

Перевозка пассажиров производится на 22 городских троллейбусных маршрутах. В рабочие дни в час «пик» на линию выходит 175 троллейбусов, в субботние и воскресные – 105 троллейбусов. Ежедневно предприятие перевозит до 246,0 тыс. пассажиров [18, 19].

В настоящее время КУП «Горэлектротранспорт» состоит из двух депо общей вместимостью 235 машиномест с технологическим оборудованием, энергослужбы, гаража, ремонтно-строительного участка, административно-управленческого аппарата. По состоянию на 2018 г. предприятие имеет на балансе 203 троллейбуса. Протяженность контактной питающей сети в однопутном направлении (в два провода) составляет 1461,4 км, общая мощность тяговых подстанций на конец квартала – 34252 кВт. Все 19 тяговых подстанций работают на телеуправлении. Протяженность питающей сети постоянного тока – 83,6 км. Обновление подвижного состава с учетом выделенных бюджетных субсидий на обновление составило: в 2009 г. – 6,5 %, 2010 г. – 8,6 %, 2011 г. – 9,3 %, 2012 г. – 4,8 %, 2018 г. – 3,1 %.

Филиал «Автобусный парк № 6» ОАО «Гомельоблавтотранс» образован в 1991 г. после разделения автобусного парка № 1 на два предприятия с передачей автобусов и городских маршрутов. В 2010 г. парк стал открытым акционерным обществом. Выполняет пассажирские перевозки по большей части городских маршрутов. Кроме того, парк оказывает и другие услуги:

- обслуживает несколько пригородных маршрутов;
- выполняет грузовые и заказные перевозки;
- проводит обслуживание, ремонт и диагностику транспортных средств;
- предоставляет помещения в аренду;
- выполняет технические и медицинские осмотры;
- размещает рекламу на бортах и в салонах транспорта.

Основные показатели по состоянию на 2018 г. [18, 19]:

– количество автобусов категории МЗ – 190 транспортных единиц, в т.ч.: МАЗ-105–119 единиц, МАЗ-107 – 31 единица, МАЗ-104 и МАЗ-103 – по одной единице, МАЗ-203 – 2 единицы, МАЗ-206 – 3 единицы, МАЗ-215 – 4 единицы и «Радимич» А092 – 22 единицы;

– объем перевозок пассажиров за 2018 г. – более 68 млн пассажиров.

Филиал «Автобусный парк № 1» ОАО «Гомельоблавтотранс» сегодня – это многопрофильное автотранспортное предприятие, выполняющее все виды автомобильных перевозок, как пассажирских, так и грузовых, с хорошей производственной базой, современным подвижным составом, высококвалифицированными водителями и специалистами. Предприятие традиционно занимает одну из лидирующих позиций на рынке транспортных услуг. Из года в

год увеличиваются объемы перевозок, развивается и совершенствуется маршрутная сеть, обновляется подвижной состав, осваиваются новые виды деятельности.

Основные показатели по состоянию на 2018 г. [17–19]:

– количество автобусов категории МЗ – 85 транспортных единиц, в том числе: МАЗ-105 – 76 единиц, МАЗ-107 – 1 единица, МАЗ-103 – 4 единицы, МАЗ-215 – 1 единица;

– объём перевозок за 2018 год – более 68 млн пассажиров.

Маршрутная сеть общественного транспорта города Гомеля представляет собой 81 автобусный маршрут, 30 троллейбусных маршрутов и 22 регулярных экспрессных маршрута (информация за 2019 г.). Автобусный парк № 6 обслуживает 59 городских маршрутов, автобусный парк № 1 – 33 городских маршрута, часть городских маршрутов обслуживается обоими автобусными парками.

Для выполнения перевозок пассажиров по автобусным маршрутам имеется 190 автобусов в автобусном парке № 6 и 85 автобусов – в автобусном парке № 1. Для выполнения перевозок по троллейбусным маршрутам имеются 229 троллейбусов в КУП «Горэлектротранспорт». В 2018 г. всеми видами общественного транспорта в городе Гомеле было перевезено 243,7 млн пассажиров. В общем объёме перевезённых пассажиров доля КУП «Горэлектротранспорт» составляет 36,8 %, автобусный парк № 6 – 35,5 %, автобусный парк № 1 – 18,5 %. Доля частных перевозчиков в общем объёме перевозок составляет 9,2 % [19].

Анализ системы пассажирских перевозок Республики Беларусь открывает следующие *проблемы и внутренние противоречия*:

– все виды пассажирского общественного транспорта, используемые в Республике Беларусь, имеют собственные, не взаимодействующие между собой системы и методы продажи билетов, контроля оплаты проезда и учета пассажиров. На некоторых видах общественного транспорта системы учета пассажиров вообще отсутствуют либо функционируют неэффективно;

– при расчете стоимости одной поездки в городском общественном транспорте не учитываются затраты на перевозку отдельно взятого пассажира в зависимости от дальности следования;

– многообразны инструменты оплаты проезда: разовые и многоразовые бумажные проездные документы, жетоны, магнитные и бесконтактные карточки, низок уровень защиты инструментов оплаты проезда от подделки;

– документы для оплаты проезда в городском общественном транспорте, приобретенные в одном регионе, недействительны для оплаты проезда в другом регионе;

– различная стоимость проезда в разных регионах.

Более всего данные проблемы свойственны городскому автомобильному транспорту, в результате не обеспечивается учет фактически оказанных

услуг в количественном выражении, следствием чего является отсутствие возможности:

- точно оценить окупаемость услуг, оказываемых тем или иным транспортным предприятием;
- провести расчеты с транспортными предприятиями согласно объему фактически оказанных услуг;
- оценить востребованность со стороны населения того или иного маршрута перевозки;
- оперативно реагировать на изменение пассажиропотоков.

Схожие проблемы характерны и для общественного транспорта города Гомеля. Так, численность населения города ежегодно в среднем увеличивается на 8 тыс. человек (на 1 января 2017 г. в Гомеле проживало более 535 тыс. человек [18, 19]).

В связи с активным ростом транспортной подвижности населения и малой конкурентноспособности общественного транспорта с личным, ежегодный рост автомобилизации в Республике составляет около 10-11 автомобилей на 1000 человек (автомобилизация же города Гомеля составляет более 256 автомобилей на тысячу человек).

Немаловажным является и тот факт, что на рост автомобилизации влияет также рост номинальной начисленной среднемесячной заработной платы. Так как прослеживается динамика роста среднемесячной зарплаты, она влечет за собой рост потребности людей в передвижении, которую более 65 % населения реализует личным транспортом, а оставшаяся часть – общественным транспортом, причем 73 % пассажиров общественного транспорта оплачивает свой проезд посредством проездных билетов (месячных либо декадных).

Количество маршрутов ежегодно увеличивается. Протяженность маршрутной сети растет приблизительно на 30 км в год. В 2019 г. в Гомеле действует около 115 городских маршрутов, протяженность которых составляет почти 865,3 км в одну сторону. Причем динамика изменения площади города, в среднем 4 км² в год, на данный момент она составляет 139,77 км² (в 2015 г. – 135,6 км² [19]).

Рост автомобилизации города сказывается и на статистике аварийности на дорогах: около 2500 ДТП в год, причем около 450 – это ДТП, в которых есть раненные люди. Данный факт показывает последствия уплотнения и перегруженности транспортной сети, возникающие отчасти из-за медленного роста площади города при активно растущей транспортной сети и автомобилизации.

Анализ статистических данных показывает, что с ростом доходов населения растет и его транспортная подвижность, реализуемая в основном на личных автомобилях, а не на общественном транспорте. Причем последствия приоритетного способа передвижения населения более негативны с точки зрения аварийности [10, 11], загрузки транспортной сети города, воз-

действия на окружающую среду и стабильности экономики республики. Увеличиваются и предложения транспортных услуг пассажирских перевозчиков. Однако при неоднократном исследовании средней дальности поездки пассажиров было установлено, что вместимость автобусов (троллейбусов) в часы пик используется чрезмерно (коэффициент использования вместимости достигает 1,1). В «межпик» и период дежурного движения коэффициент использования вместимости снижается до 0,2–0,1. В среднем за сутки этот показатель не превышает 0,3. Эти факты говорят о нерациональной маршрутной сети общественного транспорта, а также нерациональном распределении транспортных средств разной вместимости по маршрутам и периодам суток.

Решить вышепоставленные задачи можно за счет комплексного решения вопросов повышения эффективности организации перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом.

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ НАЗЕМНЫМ ГОРОДСКИМ МАРШРУТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ

2.1 Оценка эффективности перевозки пассажиров

Эффективность процесса перевозки пассажиров следует оценивать в экономическом и социальном аспектах и их согласовании. Факторы экономической и социальной эффективности изменяются различными темпами и зачастую в различном направлении, иначе говоря, решения, эффективные в экономическом смысле, могут отрицательно сказаться на социальных аспектах, а именно повышении транспортной усталости, снижение качества перевозок.

Рассматривая вопросы экономической эффективности работы пассажирского городского транспорта, А. О. Аррак [20] предложил в качестве критериев оценки эффективности применять производительность транспортных средств, затраты, качество транспортного обслуживания населения, энергоемкость и материалоемкость, безопасность движения и охрана окружающей среды. Совершенно справедливо он отмечает противоречивость, возникающую при выборе единиц измерения объемов выполненной работы пассажирского транспорта (в пассажирах или пассажиро-километрах). Если перевозка совершена по кратчайшему пути, то в таком случае величина транспортной работы, отраженная в пассажиро-километрах, будет минимальна, что эффективно с точки зрения пассажира и неэффективно с точки зрения перевозчика. Если же производить измерения в количестве перевезенных пассажиров, то снизится показатель качества транспортного обслуживания ввиду увеличения коэффициента пересадочности. Повысить экономическую эффективность перевозок он предлагает за счет увеличения регулярности и культуры обслуживания, достижения оптимального уровня сменности, изучения пассажиропотоков и увеличения прямолинейности маршрутов.

Комплексным показателем оценки затрат перевозчиков, связанных с организацией и осуществлением перевозочного процесса, является себестоимость пассажирских автомобильных перевозок.

Себестоимость перевозок определяется отношением суммарных затрат (расходов), связанных с деятельностью транспортного предприятия за определенный период времени, к объему перевозок или транспортной работе, выполненной за тот же период времени [21]:

– себестоимость перевозки 1 пассажира, руб./пас.

$$S_{\text{п}} = S_{\text{рас}}/Q; \quad (2.1)$$

– себестоимость 1 пас·км, руб./пас·км,

$$S_{\text{пас.км}} = S_{\text{рас}}/P. \quad (2.2)$$

Все расходы, связанные с деятельностью предприятий по перевозке пассажиров, условно группируют на переменные $S_{\text{пер}}$ и постоянные $S_{\text{пос}}$.

К *переменным расходам* относят расходы, связанные с линейной работой (с движением) автомобилей, которые исчисляют на 1 км пробега: расходы на эксплуатационные материалы (топливо, смазочные материалы, антифриз и др.), на техническое обслуживание и текущий ремонт ПТС, на амортизационные отчисления от балансовой стоимости подвижного состава (на восстановление их первоначальной стоимости – реновацию и отчисления на капитальный ремонт ПТС), на ремонт и приобретение новых комплектов автомобильных шин и др.

К *постоянным расходам* относятся расходы, отнесенные на календарное время работы ПТС транспортного предприятия (обычно используют измеритель на 1 ч работы) независимо от того, где находился парк ПТС: на линии, в ремонте, простое и т. д. Эти расходы практически (в известной степени) не зависят от пробега ПТС [22].

А. В. Липенков в своей работе [23] предложил повысить *эффективность функционирования пассажирского транспорта* за счет оптимального подбора геометрических параметров остановочного пункта и снижения интенсивности движения пассажирских транспортных средств.

Снижение интенсивности движения на 30-40 % приведет к уменьшению времени простоя ПТС на остановочном пункте, однако в то же время снизит качество обслуживания пассажиров и увеличит время ожидания посадки пассажира в ПТС на остановочном пункте за счет увеличения интервалов их движения из-за необходимости использовать ТС большей вместимости.

Е. Е. Кравченко [24] предлагает повысить эффективность пассажирского транспорта путем использования служебного автобусного транспорта в процессах обслуживания населения в качестве пассажирского автомобильного транспорта общего пользования с использованием комплексного критерия качества. Автором рекомендуется решение такой задачи производить по критерию минимума суммарного времени проезда пассажиров между транспортными районами:

$$Z = \sum_{m=1}^n l_{im^{-1}im} \left(\sum_{k=0}^{m-1} v_{ik} - \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{l=0}^{m-1} v_{ikil} \right), \quad (2.3)$$

где n – количество транспортных районов; m – количество перегонов; l_{im} – расстояние по кратчайшему пути между районами; v_{ik} – суммарная интенсивность пассажиропотоков между транспортными районами i и j .

Недостатком такого подхода является повышение эффективности работы пассажирского транспорта в периоды наличия трудовых передвижений без оптимизации этого показателя в остальные периоды суток.

Ю. А. Славина среди многочисленных критериев эффективности выделяет комплексный показатель качества перевозок пассажиров, повысить который она предлагает за счет внедрения интеллектуальной информационной системы управления пассажирскими перевозками, основанной на обработке входной статистической информации, полученной в автоматическом режиме [25]. Недостатком такой методики является то, что система не оптимизирует параметры функционирования системы пассажирских перевозок, а производит расчет показателя качества на основе изменения входной информации и позволяет выбрать наилучший из имеющихся.

Д. А. Мотузка предлагает повысить эффективность функционирования транспортных предприятий путем формирования оптимальной структуры парка пассажирского автотранспорта за счет своевременного обновления АТС [26]. Такого же мнения придерживается Б. Н. Шарыпов [27], полагая, что повысить конкурентоспособность автобусов можно за счет своевременного обновления транспортных средств, снизив тем самым затраты на техническую эксплуатацию. И. И. Любимов в качестве критерия эффективности предлагает принять объем транспортной работы транспортного предприятия за определенный период времени и минимизацию затрат на содержание производственно-технической базы [28].

В. Н. Прохоров основными направлениями повышения эффективности видит рост уровня технической эксплуатации транспортных средств, укрепление материально-технической базы, повышение производительности труда и заинтересованности работников, экономия всех видов ресурсов [29]. В качестве критерия эффективности он предлагает суммарные удельные затраты на единицу выполненной транспортной работы. Однако такой подход не учитывает качества транспортного обслуживания и степень удовлетворенности требований пассажиров, что приведет в конечном итоге к увеличению времени ожидания транспортного средства на остановочном пункте, снижению качества перевозки за счет переполнения салона транспортных средств и увеличению транспортной усталости.

Л. С. Кригер в качестве критерия эффективности работы ГПТ предложил критерий минимизации транспортных расходов на перевозку пассажиров и индекс удовлетворенности пассажиров [30]. Совокупные затраты вклю-

чают затраты на топливо, электроэнергию (в зависимости от вида транспорта), затраты, связанные с приобретением ГСМ, проведением плановых ТО и ремонта, ремонтом и восстановлением шин, амортизационные отчисления, заработную плату водителей, а также прочие накладные расходы. Индекс удовлетворенности представляет собой степень удовлетворенности пассажиров качеством их перевозок.

Оптимальное решение достигается моделированием расписания движения ТС путем перебора возможных вариантов с целью достижения приемлемого уровня удовлетворенности при минимальных транспортных издержках, вместимость и количество ПТС не подлежат оптимизации, что является недостатком данной методики.

2.2 Закономерности распределения пассажиропотока во времени, по направлениям и участкам

Исходной базой для разработки мероприятий по совершенствованию процесса транспортного обслуживания населения является информация об особенностях формирования общей и транспортной подвижности населения, о размере и направлениях пассажиропотоков, их изменении в пространстве и во времени.

Передвижения людей представляют собой сложное социальное явление, формирующееся под влиянием множества разнообразных факторов, к которым относятся уровень развития общественного производства, социальная структура общества, уклад жизни, географическая среда и характер расселения, развитие техники, информации и связи, бюджет свободного времени, культурно-бытовые и общественные запросы людей и т. д. Без глубокого изучения этих вопросов невозможно разработать оптимальные варианты транспортного обслуживания населения.

Потребность населения в передвижениях характеризуется общей подвижностью [31]. Передвижения могут быть реализованы как с помощью транспорта, так и без него. Доля транспортных передвижений определяется коэффициентом пользования транспортом $K_{\text{п}}$, зависящим от дальности передвижения $l_{\text{п}}$ и скорости передвижения с использованием транспорта v [32, 33]. Транспортная подвижность населения измеряется числом поездок на одного жителя:

$$P_{\text{ТР}} = Q/N_{\text{нас}}, \quad (2.4)$$

где Q – годовой объем перевозок пассажиров, тыс. пас.; $N_{\text{нас}}$ – численность населения города, тыс. жителей.

Поездки характеризуют цель и направление, число поездок между начальными конечным пунктом составляют транспортную корреспонден-

цию [32–36]. Пассажиropотоки характеризуются мощностью, т.е. количеством пассажиров, проезжающих в определенное время через заданное сечение маршрута в одном направлении. Пассажиropотоки изменяются по сезонам года, месяцам, дням недели, часам суток, по длине маршрута и направлению движения.

Знание закономерностей изменения пассажиropотоков имеет существенное значение для выбора эффективного типа ПТС и их количества; расчета показателей, характеризующих движение ПТС; составления расписания движения и эффективных графиков работы бригад водителей. Наиболее распространёнными в практике транспортных организаций способами определения пассажиropотоков в настоящее время являются обследования. В работе М. Д. Блатнова [34] предложена классификация методов обследования, которая представлена на рисунке 2.1. В своих исследованиях Л. Л. Афанасьев, Г. А. Варелопуло, И. С. Ефремов предлагают разделить методы обследования на четыре группы: отчетно-статистические, натурные, автоматизирование и аналитические [33, 35, 37]. Натурные методы обследования достаточно точны (погрешность – около 5 % [36]), но обладают серьезными недостатками. Во-первых, они требуют больших затрат денежных и людских ресурсов для их проведения. Во-вторых, как правило, необходимо довольно много времени на обработку результатов, вследствие чего результаты обследования появляются с опозданием и часто уже не несут достоверной информации о реальных пассажиropотоках.

Изучением пассажиropотоков с целью выявления основных закономерностей в разное время занимались отечественные и зарубежные исследователи. Первые попытки изучения колебаний пассажиropотоков предпринял А. Х. Зильберталь в начале 30 х годов прошлого века [38]. Он отмечает важность знания характера изменения пассажиropотока и вводит понятия суммарного годового, суточного и часового пассажиropотока, а также средний часовой пассажиropоток и пассажиropоток в максимально нагруженной точке сети. Изменение пассажиropотока по длине он предлагает оценивать коэффициентом неравномерности по длине сети и площади города. Он также впервые выдвинул гипотезу расселения населения по отношению к местам приложения труда. Им была установлена зависимость между дальностью передвижений и их относительным количеством, которая говорит о том, что количество работающих, расселяющихся на определенном расстоянии от места работы, уменьшается по закону убывающей регрессии по мере удаления от предприятия.

Г. В. Шейлеховский [39] доказал, что в расчетах мерой тяготения должно приниматься время на передвижение. В разработанной им математической модели расселения за основу принята логарифмическая функция

$$f(t) = T^{-1} \ln(T/t), \quad (2.5)$$

где t – затрата времени для данной группы населения, мин.; T – предел рас-
селения во времени относительно центра тяготения.

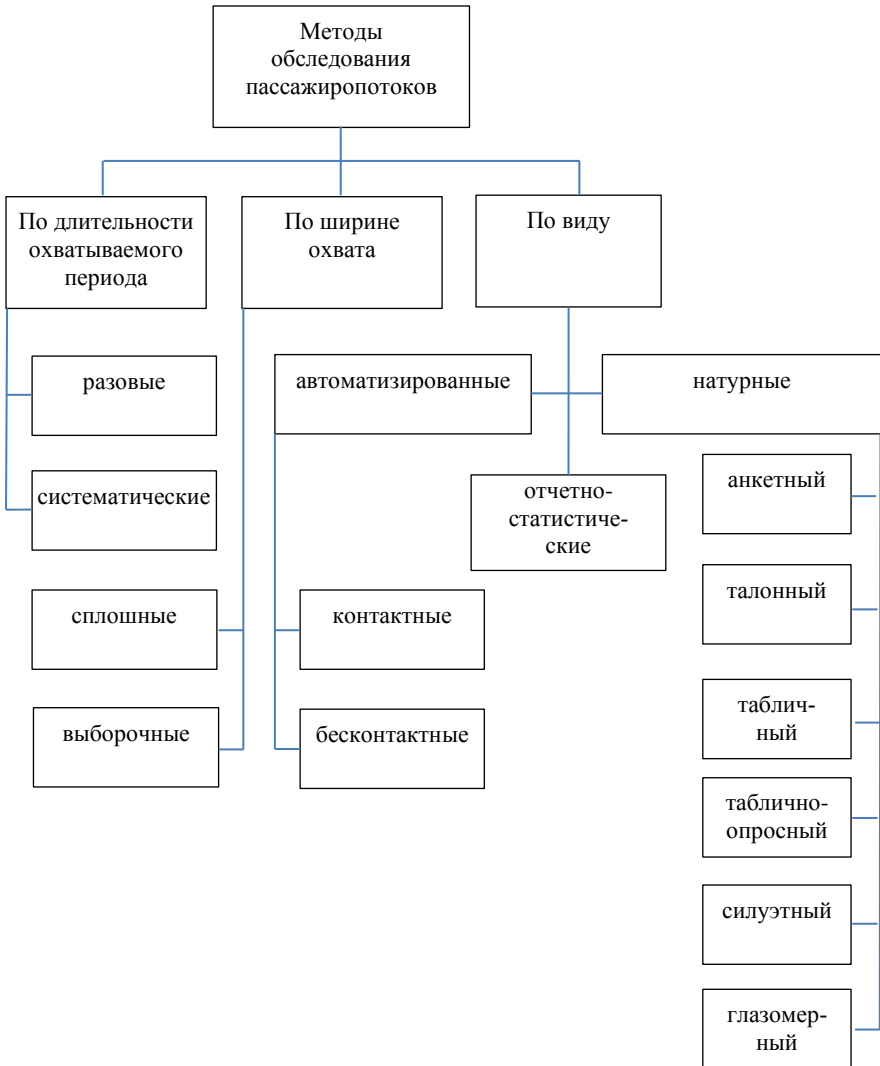


Рисунок 2.1 – Структура методов обследования пассажиропотоков [34]

В дальнейшем в результате проведенных исследований были предложены различные модификации данной зависимости. Так, А. А. Поляков и

В. А. Черепанов [40, 41] предложили функцию вида

$$f(t) = a/t^k, \quad (2.6)$$

где a и k – эмпирические параметры.

А. М. Якшин предложил частный параметр данной зависимости [43]

$$f(t) = a/t^2, \quad (2.7)$$

где t – время (трудность) сообщения между корреспондирующими районами, мин.

Для крупных городов и мегаполисов Г. А. Гольц предложил более сложную зависимость [44]

$$f(t) = 2h^2te^{-ht^2}, \quad (2.8)$$

где h – параметр распределения, который выражается через математическое ожидание M времени сообщения между рассматриваемыми районами,

$$h = \sqrt{\pi}/(2M). \quad (2.9)$$

Знание закономерностей расселения населения в зависимости от удаленности от мест тяготения дает нам представление лишь о величине транспортной работы в целом и не дает информации об изменчивости пассажиропотоков на конкретном маршруте во времени (часам суток, дням недели, месяцам года).

Энтропийный подход для решения транспортных проблем был применён А. Дж. Вильсоном в 1967 году и позднее часто использовался при моделировании выбора при решении транспортных задач (выбор места назначения, вида транспорта, маршрута следования) [45]. Этот же метод при моделировании пассажиропотоков использовался В. А. Фёдоровым [46]. Он является довольно продуктивным в случае, когда нет данных о реальном поведении пассажиров и мотивах выбора ими того или иного пути, и он не требует решения задачи соизмерения разнородности параметров, характеризующих пути. Однако это его преимущество является одновременно и его недостатком, так как отсутствие знания о реальных предпочтениях пассажиров и замена их априорным предпочтением, которому отвечает идеальное поточное распределение, ведут к большой погрешности этого метода.

Б. И. Грановский [36] считает, что для практического решения задач транспортного планирования более перспективным представляется подход «моделирования поведенческого спроса», который служит альтернативой

энтропийному подходу и основан на понятии функции полезности. Суть его состоит в том, что при рассмотрении множества альтернативных путей каждому пути ставится в соответствие некая величина, называемая привлекательностью или (обобщённая стоимость), зависящая от параметров, характеризующих этот путь. Параметры, характеризующие альтернативу, соответствуют параметрам транспортного обслуживания (время передвижения, число пересадок, комфортность и т.д.). Предполагается, что вероятность выбора альтернативы определяется значением привлекательности.

Чешский исследователь А. Угге [47] выразил зависимость величины пассажирооборота района от его населения и численности мест приложения труда следующим линейным уравнением регрессии:

$$D_i = a_0 + a_1 N_i + a_2 T_i, \quad (2.10)$$

где a_0 , a_1 , a_2 – коэффициенты регрессии; N_i – население района i ; T_i – количество работающих в районе i .

Г. А. Заблоцкий [48] особое внимание уделяет прогнозированию пассажиропотоков при помощи экстраполяционных методов. Существуют следующие основные экстраполяционные (аналитические) методы расчёта:

- единственного коэффициента роста;
- средних коэффициентов роста;
- детройтский;
- Фратара.

В методе *единственного коэффициента роста* для расчёта используются фактические величины корреспонденции пассажиропотоков между районами и прогноз роста пассажирооборота города. Существующий пассажирооборот увеличивается на единственный коэффициент роста. Такой метод расчёта приводит к грубым ошибкам и на практике применяется только для приближённых оценок возможных потоков транспорта в условиях проектирования каких-либо элементов городской территории.

Средние коэффициенты роста учитывают различные темпы развития тех или иных районов города. Однако при значительном росте подвижности городского населения, появление новых жилых массивов в городе этот метод приводит к большим погрешностям.

Детройтский метод не сложен для расчётов, но даёт более эффективный результат, чем предыдущие методы [49].

Метод *Фратара* получил широкое распространение в зарубежной практике. В нём учитываются ещё и местные факторы районов. Полученное решение может улучшаться. Этот метод трудоёмок, но легко выполняется на ЭВМ. Однако эти методы не нашли широкого применения в практике.

Вероятностные методы расчёта корреспонденции пассажиров, называемые часто синтетическими, получили наибольшее распространение при перспективном планировании транспорта. Корреспонденции пассажиров в этом случае определяются на основании эмпирических или теоретических зависимостях обмена пассажирами двух районов от численности их населения, количества мест приложения труда, условий поездки, культурно-бытового обслуживания районов, размещения районов в плане города.

Данные методы определения корреспонденций пассажиропотоков между районами не могут быть использованы для определения вместимости и числа транспортных средств для работы на маршрутах по часам суток, а применяются для планирования суммарной провозной способности пассажирского транспорта при строительстве и проектировании новых микрорайонов города.

Многие исследователи изменение пассажиропотока во времени предлагают оценивать с помощью соответствующих коэффициентов неравномерности. В своих работах О. Н. Ларин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин неравномерность пассажиропотока во времени определяют коэффициентом часовой неравномерности как отношение максимальной мощности пассажиропотока Q_{\max} за определенный период времени к средней мощности пассажиропотока $Q_{\text{ср}}$ за тот же период [50–53]:

$$\eta_{\text{час}} = Q_{\max} / Q_{\text{ср}}, \quad (2.11)$$

где Q_{\max} – максимальный часовой пассажиропоток (в час пик), пас.; $Q_{\text{ср}}$ – средний часовой пассажиропоток, пас.

И. В. Спириин, И. А. Ульяновский изменение пассажиропотока во времени оценивают также *коэффициентом часовой неравномерности* пассажиропотока, который, однако, определяют как отношение величины максимального часового пассажиропотока к величине пассажиропотока в период наименьшего спроса [54–56]:

$$\eta_{\text{час}} = Q_{\max} / Q_{\text{сп}}, \quad (2.12)$$

где Q_{\max} – максимальный часовой пассажиропоток (в час пик), пас.; $Q_{\text{сп}}$ – пассажиропоток в период наименьшего спроса, пас.

Коэффициент неравномерности пассажиропотока по длине маршрута

$$\eta_{\text{дл}} = Q_{\max} / Q_{\text{ср}}, \quad (2.13)$$

где Q_{\max} – максимальный пассажиропоток наиболее загруженного участка маршрута или группы участков, пас.; $Q_{\text{ср}}$ – средняя напряженность пассажиропотока, пас.

Коэффициент неравномерности пассажиропотока по направлениям

$$\eta_n = Q_{\text{пр}} / Q_{\text{об}}, \quad (2.14)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – среднеарифметический пассажиропоток в прямом направлении, пас.; $Q_{\text{об}}$ – среднеарифметический пассажиропоток в обратном направлении, пас.

Неравномерность пассажиропотоков по часам суток, отдельным дням недели и месяцам года определяется спецификой спроса на перевозки, подробно описанной в работах [57–67].

Применение средних коэффициентов при расчетах вместимости и количества пассажирских транспортных средств для работы на маршрутах приводит к избытку провозной способности в часы спада пассажиропотока и недостатку ее в часы пиковых нагрузок. В первом случае это приводит к перерасходу средств на организацию перевозок пассажиров, а во втором – к снижению качества обслуживания пассажиров и снижению окупаемости за счет недобора части выручки.

Разработанная Д. М. Новоселовым математическая модель наполнения салона ПТС на отдельном маршруте учитывает распределение пассажиропотока в пределах трех интервалов времени: утро, день, вечер [68]:

$$k(t) = 0,97 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{11,7} \right) \right)^{44} + 0,79 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{300} \right) \right)^{18} + 0,92 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{10} \right) \right)^{16}, \quad (2.15)$$

где t – время суток, ч.

При этом вклады парциальных пассажиропотоков определяются следующим образом:

$$\text{утренний} - k(t) = 0,97 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{11,7} \right) \right)^{44}; \quad (2.16)$$

$$\text{дневной} - k(t) = 0,79 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{300} \right) \right)^{18}; \quad (2.17)$$

$$\text{вечерний} - k(t) = 0,92 \left(\sin \left(\frac{2\pi t}{48} + \frac{2\pi}{10} \right) \right)^{16}. \quad (2.18)$$

Данная модель не учитывает изменения пассажиропотока по часам суток, а делит период работы пассажирского транспорта на три характерных периода – утро, день, вечер, что в конечном итоге приведет к выбору неэффективного количества и вместимости ПТС и, как следствие, к увеличению затрат на организацию перевозок пассажиров в целом за сутки.

2.3 Анализ методик выбора вместимости и количества автомобильных пассажирских транспортных средств для работы на маршрутах

Для организации движения по маршруту необходимо выбрать **рациональный состав парка транспортных средств**. Суть данного вопроса заключается в назначении на маршрут такого количества транспортных средств определенной пассажироместимости, которое обеспечивает минимум издержек перевозчика при условии освоения пассажиропотока с соблюдением нормативных требований к качеству транспортного обслуживания. При этом тип транспортных средств должен выбираться с учетом будущих потребностей в перевозках в целях формирования рациональной структуры парка предприятия на перспективу.

Выбор ТС при выполнении городских перевозок связан, в первую очередь, с определением его вместимости, так как именно эта характеристика пассажирского транспортного средства влияет на основные показатели его работы: время оборота, затраты на перевозки, качество перевозок и др.

Критериями выбора вместимости ПТС являются следующие факторы:

- 1) мощность пассажиропотока в одном направлении на наиболее загруженном участке;
- 2) неравномерность распределения пассажиропотоков по часам суток и участкам маршрута;
- 3) интервал следования транспортных средств по часам суток;
- 4) дорожные условия и пропускная способность улиц (на некоторых улицах движение подвижного состав большой вместимости может быть ограничено по габаритам);
- 5) себестоимость перевозок.

Пассажирские автомобильные транспортные средства по вместимости должны максимально соответствовать мощности и характеру пассажиропотока.

Мощность пассажиропотока устанавливается в ходе обследования пассажиропотоков. Так как пассажиропотоки по часам суток могут значительно колебаться (часы «пик», «межпиковый» период и т.д.), то для характерных периодов суток можно использовать транспортные средства разной вместимости. Однако, как правило, для работы по маршруту выбирают какой-либо один тип транспортных средств, вместимость которого устанавливают на основе данных о часовой мощности пассажиропотока по наиболее загруженному участку маршрута для часов «пик» либо о его мощности за сутки по маршруту в целом [69, 70].

Интервал движения по маршруту *I* является важным критерием выбора вместимости ПТС

$$I = 60t_{об} / A, \quad (2.19)$$

где $t_{об}$ – время оборота ПТС на маршруте, ч; A – количество ПТС, работающих на маршруте, ед.

Зная интервал движения можно определить необходимое количество автомобильных транспортных средств для его обеспечения:

$$A_m = 60t_{об} / I. \quad (2.20)$$

Обычно для каждого маршрута, с учетом специфики потребностей пассажиров в перевозках по данному направлению, определяют допустимый диапазон интервала движения (нижние и высшие значения), в пределах которого для характерных периодов суток, выделяемых в зависимости от часовой неравномерности пассажиропотока, устанавливается конкретный интервал движения по маршруту.

Вместимость ПТС определяется как отношение максимальной мощности пассажиропотока за час на самом напряженном участке маршрута к частоте движения подвижного состава в данном направлении:

$$q = \Pi_{max} / \gamma, \quad (2.21)$$

где Π_{max} – максимальная мощность пассажиропотока по участку маршрута, пас./ч; γ – частота движения, ед./ч.

Выражение (2.21) показывает, какое количество пассажиров должно перевозиться в одном транспортном средстве, если известна общая величина пассажиропотока по определенному участку маршрута в течение часа и число транспортных средств, следующих в данном направлении за тот же период времени.

Величина вместимости ПТС при известной мощности пассажиропотока и допустимого интервала движения на маршруте определяется по формуле [22, 54]

$$q = \Pi_{max} I / 60. \quad (2.22)$$

Если известен суточный объем перевозок пассажиров по маршруту, то вместимость рассчитывается следующим образом:

$$q = \frac{\Pi_{сут} I_{cp} \eta_{ч} \eta_{уч}}{60 \eta_{р} T_{р.м}}, \quad (2.23)$$

где $\Pi_{сут}$ – объем перевозимых пассажиров по маршруту за сутки; I_{cp} – сред-

ний интервал движения в течение суток; $T_{p,m}$ – время работы маршрута в течение суток.

Таким образом, конкретное значение пассажиропотока и заданный интервал движения, отвечающий условиям перевозок пассажиров по маршруту, определяют вместимость ПТС.

Недостатком данного подхода к определению вместимости является применение средних коэффициентов неравномерности по часам суток, участкам маршрута и среднего интервала движения, что приводит, как отмечалось ранее, к выбору неоптимальных решений.

М. Е. Антоношвили, С. Ю. Либерманом, И. В. Спириным [22] разработана методика, которая позволяет по критерию минимума народнохозяйственных затрат (Z) выбирать ПТС для работы на маршруте. Расходы слагаются из приведенных затрат на эксплуатацию маршрута и стоимостной оценки потерь времени пассажиров на ожидание прибытия и посадки в ПТС за день работы

$$Z = \min(T_{\Sigma}C + Z_{\text{АТП}}), \quad (2.24)$$

где T_{Σ} – суммарные затраты времени на ожидание всех пассажиров за день, ч; C – стоимостная оценка потери пассажиро-часа на ожидание, руб/ч; $Z_{\text{АТП}}$ – затраты пассажирского предприятия на организацию перевозок, руб.

В развернутом плане данная зависимость приобретает вид

$$Z = \min \left(\sum_{j=1}^l \left(\sum_{i=1}^m T_{\text{ож}ij} S_{ij} \right) \cdot 60C + Z_{\text{АТП}} \right), \quad (2.25)$$

где m – количество остановок на маршруте в прямом и обратном направлениях, ед.; $T_{\text{ож}ij}$ – средние затраты времени одного пассажира на ожидание посадки на j -й остановке в i -й период времени, мин; S_{ij} – интенсивность подхода пассажиров на j -ю остановку в i -й период времени, пас./мин.

Задача по выбору ПТС для каждого маршрута решается при одном из двух основных условий:

1) вместимость ПТС является ограниченной и находится в определенном интервале;

2) вместимость ПТС выбирается из ряда фиксированных значений.

Каждое условие может быть рассмотрено при постоянной в течение дня пассажироместимости ПТС и изменяющемся по определенным интервалам количестве ПТС в соответствии с потребностью в перевозках, при изменяющихся в течение дня пассажироместимости и количестве автобусов.

Недостатком данного метода является рассмотрение количества ПТС и пассажироместимости как независимых переменных. Оба параметра рассматриваются, исходя из имеющихся пассажиропотоков и условий работы

автобусов на данном маршруте. Такой метод получил широкое распространение, однако случайные факторы в этом методе не учитываются, что приводит к получению неоптимальных решений.

Наиболее широкое распространение получил метод, при котором маршруты обеспечиваются ПТС пропорционально среднему значению пассажиропотока на наиболее загруженном участке маршрута.. Он отличается простотой, но не учитывает все же показатели качества обслуживания пассажиров, действие случайных факторов, размеры и особенности пассажиропотоков на других (не самых напряженных) участках маршрутов, разномарочность распределяемого парка транспортных средств.

В методе распределения автобусов по маршрутам, предложенном А. *Ampelas* [71], движение автобусов и пассажиропотоки рассматриваются с учетом случайных факторов, а критерием распределения автобусов является равенство вероятностей отказа пассажиру в посадке в ПТС на различных маршрутах. Однако данная методика предназначена для распределения по маршрутам одномарочного парка ПТС. Кроме того, требуются трудоемкие графические построения. Это затрудняет ее применение при оперативном планировании и организации перевозок.

При распределении ПТС по маршрутам необходимо учитывать не только показатели качества обслуживания пассажиров, но и затраты АТП. В часы пик можно не учитывать затраты автобусных парков, так как в эти часы все технически исправные автобусы должны быть выпущены на маршруты.

Учитывая, что целью распределения ПТС по маршрутам является обеспечение максимально возможного качества обслуживания пассажиров исходя из имеющегося парка ПТС, целевая функция должна отражать значения показателей качества обслуживания в зависимости от избранного варианта распределения.

М. Е. Антошвили, Г. А. Варелупполо, М. В. Хрущев [72] в качестве критерия оптимизации при распределении ПТС по маршрутам предложили равенство вероятностей отказа в посадке пассажиров на всех маршрутах. То есть речь идет о распределении имеющегося количества ПТС между маршрутами при минимизации суммарных вероятностей отказа на каждом маршруте:

$$\sum_{j=1}^n \left| P_{\text{отк}_j}(A_j) - P_{\text{отк}_{\text{ср}}} \right| \rightarrow \min, \quad (2.26)$$

где $P_{\text{отк}_j}(A_j)$ – вероятность отказа в посадке пассажирам на маршруте при числе автобусов, равном A_j ; A_j – число автобусов, работающих на j -м маршруте; $P_{\text{отк}_{\text{ср}}}$ – средняя вероятность отказа в посадке по всем маршрутам.

В методе Б. Н. Шарыпова [27] распределение ПТС по маршрутам учитываются случайные факторы. Критерием распределения ПТС является равен-

ство вероятностей отказа пассажиру в посадке. Необходимое же количество ПТС на маршруте автор предлагает определять исходя из выражения

$$Z_n = \frac{C_3 A + E_n K(A) + CT(A)}{\Pi(A)} \rightarrow \min, \quad (2.27)$$

где C_3 – годовые эксплуатационные затраты на один автобус, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; $K(A)$ – капитальные вложения приходящиеся на один автобус, руб.; C – стоимость одного пассажирочаса, руб.; $T(A)$ – затраты времени на ожидание автобуса, ч; $\Pi(A)$ – годовой объем перевозок пассажиров, пас.

Таким образом, число ПТС для работы на маршруте может быть рассчитана по формуле

$$A_m = \frac{Q_{\max} t_{\text{об}}}{m_d 60}, \quad (2.28)$$

где m_d – вместимость ПТС, работающего на маршруте, пас.

М. Д. Блатнов предлагает использовать аналогичную зависимость для расчета числа ПТС в часы пиковых нагрузок [34].

И. В. Спирин определяет потребное число ПТС при вместимости q по следующей формуле [54]:

$$A = \frac{Q_{\text{сут}} \eta_{\text{час}} \eta_{\text{дл}} t_p}{t_{p,m} q K_{\text{см}}}, \quad (2.29)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный объем перевозок пассажиров на маршруте, пас.; $\eta_{\text{час}}$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока по часам суток; $\eta_{\text{дл}}$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока по длине маршрута; t_p – время рейса на маршруте, ч; $t_{p,m}$ – время работы маршрута в течение суток, ч; $K_{\text{см}}$ – коэффициент сменности.

Как частный случай в час пик число ПТС рассчитывается по формуле

$$A = \frac{Q_{\text{пик}} t_{\text{об}}}{60q}. \quad (2.30)$$

В основе расчета лежит методика, которая позволяет не задаваться расчетом необходимой вместимости автобуса, а определить требуемое количество имеющихся ПТС для работы на маршрутах, при условии соблюдения определенного уровня качества обслуживания. В качестве ограничений

принимают минимальный и максимальный интервалы движения и предоставление необходимого количества пассажиромест.

При расчетах оценивают влияние полученной пассажироместности на затраты на эксплуатацию, затраты времени на ожидание транспорта и вероятность отказа в поездке. Также определяют величину приведенных народнохозяйственных затрат:

$$Z_{\text{АТП}} = \frac{0,16A_{\text{п}}(K_{\text{А}} + \varepsilon K_{\text{МТБ}})}{365\alpha} + 3\Pi_{\text{вч}}A_{\text{п}}K_{\text{в}}t_{\text{см}} + \sum_{i=1}^l (C_{\text{пер}}v_3A_i t_i) + \frac{C_{\text{пост}}A_{\text{п}}}{365\alpha}, \quad (2.31)$$

где $A_{\text{п}}$ – число ПТС на маршруте в часы «пик», ед.; $K_{\text{А}}$ – капитальные затраты на приобретение ПТС рассматриваемой вместимости, руб.; ε – коэффициент корректировки затрат на приобретение ПТС; $K_{\text{МТБ}}$ – удельные затраты на создание материально-технической базы (на одно ПТС) ППТ, руб./ед.; α – коэффициент выпуска ПТС на линию; $3\Pi_{\text{вч}}$ – среднечасовая заработная плата водителя ПТС рассматриваемой вместимости, руб./ч; $K_{\text{в}}$ – число водителей в расчете на одно ПТС; $t_{\text{см}}$ – продолжительность смены одного водителя ПТС, ч; $C_{\text{пер}}$ – переменные затраты на 1 км пробега ПТС рассматриваемой вместимости, руб./км; v_3 – эксплуатационная скорость движения ПТС на маршруте, км/ч; A_i – число ПТС на маршруте в i -й период суток, ед; t_i – продолжительность i -го периода суток, ч; $C_{\text{пост}}$ – постоянные затраты ППТ в расчете на одно ПТС в день, руб.

На последнем этапе из полученных значений вместимости и количества транспортных средств методом экспертных оценок выбирается оптимальное значение как с точки зрения затрат, так и качества транспортного обслуживания. Данная методика предполагает использование, при принятии окончательного решения, метода экспертных оценок, недостатком которого, как известно [73], кроме прочих, является субъективность оценок, которые далеки от оптимальных.

С. Л. Голованенко предлагает [74, 75] определять количество ПТС исходя из следующей зависимости:

$$A = \frac{Q_{\text{г}} l_{\text{ср}} K_{\text{с}} K_{\text{н}} K_{\text{к}}}{365 q_{\text{с}} \gamma_{\text{вм}} \alpha_{\text{в}} v_3 T_{\text{н}} \beta}, \quad (2.32)$$

где $Q_{\text{г}}$ – годовой объем перевозок пассажиров, пас.; $l_{\text{ср}}$ – средняя дальность поездки пассажира; $K_{\text{с}}, K_{\text{н}}$ – коэффициенты неравномерности пассажиропотока соответственно по часам суток и направлениям маршрута; $T_{\text{н}}$ – время пребывания ПТС в наряде, ч; $q_{\text{с}}$ – средняя вместимость ПТС, пас.; $\gamma_{\text{вм}}$ – коэффициент вместимости ПТС; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент выпуска ПТС; v_3 – эксплуатацион-

ная скорость, км/ч; β – коэффициент использования пробега ПТС; K_k – коэффициент повышения качества транспортного обслуживания,

$$K_k = \sqrt[4]{\frac{\alpha_{вс}\beta_c T_{нс} R_{дс}}{\alpha_{вп}\beta_{п} T_{нп} R_{дп}}}, \quad (2.33)$$

$\alpha_{вс}$, $\alpha_{вп}$ – списочный и плановый коэффициенты выпуска транспортных средств на линию; β_c , $\beta_{п}$ – списочный и плановый коэффициенты использования пробега ПТС; $T_{нс}$, $T_{нп}$ – списочная и плановая продолжительность пребывания ПТС на линии, ч; $R_{дс}$, $R_{дп}$ – списочная и плановая регулярность движения на маршрутной сети.

Необходимое же число ПТС на сутки для освоения планируемого объема перевозок определяют по формуле

$$A = \frac{N_{пас.сут} l_{ср}}{q_c \gamma_{вм} v_э T_n \beta}, \quad (2.34)$$

где $N_{пас.сут}$ – суточный пассажиропоток, пас./сут.; $l_{ср}$ – средняя дальность поездки пассажира, км; q_c – средняя вместимость транспортных средств, пас.; $\gamma_{вм}$ – коэффициент вместимости транспортного средства; $v_э$ – эксплуатационная скорость, км/ч; T_n – время пребывания транспортного средства в наряде, ч; β – коэффициент использования пробега транспортного средства.

Очевидно, что формула (2.34) позволяет учитывать повышение качества перевозок в результате улучшения технико-эксплуатационных показателей использования автобусов на линии в среднем за год и не учитывает сезонных, недельных и суточных колебаний пассажиропотока на маршруте и, как следствие, приводит к увеличению затрат на организацию перевозок пассажиров и снижение качества обслуживания пассажиров в отдельные периоды времени.

В. А. Гудков, Л. Б. Миротин предлагают альтернативную формулу определения необходимого количества ПТС [51]

$$A_{рас} = \frac{Q_{рас} t_o k_T}{q \gamma_n T \eta_n}, \quad (2.35)$$

где $Q_{рас}$ – расчетный пассажиропоток, пас./ч; t_o – время оборота ПТС на маршруте, мин; k_T – коэффициент внутрисуточной неравномерности; q – вместимость ПТС, пас.; γ_n – расчетное значение коэффициента наполнения; T – период времени предоставления информации (1 час); η_n – коэффициент неравномерности по направлению движения.

Недостатком данного метода является его направленность на определение количества ПТС заданной вместимости, которая не подлежит оптимизации.

Разработанная Д. М. Новоселовым [68] методика определения оптимального количества и вместимости ПТС на маршруте учитывает качество обслуживания пассажиров и позволяет минимизировать производственные затраты, но данный подход не учитывает социально-экономические потери пассажиров и не позволяет оптимизировать затраты на маршрутной сети в целом. Структуру транспорта для перевозки пассажиров Г. В. Бойко [76] предложил оценивать с помощью критерия, учитывающего удовлетворённость спроса на перевозки, экологичность перевозок и безопасность дорожного движения, рассчитываемого по формуле

$$K_{\text{ост}} = \sqrt[3]{K_{\text{пер}} K_{\text{эк}} K_{\text{бд}}}, \quad (2.36)$$

где $K_{\text{пер}}$, $K_{\text{эк}}$, $K_{\text{бд}}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно уровень транспортного обслуживания пассажиров, экологичность перевозок, безопасность дорожного движения.

Формула (2.36) позволяет подобрать рациональную структуру транспорта в заданной точке улично-дорожной сети. Однако локальная оптимизация процесса перевозки пассажиров в заданной точке сети не ведет к повышению эффективности системы пассажирских перевозок в целом.

Любимов И. И. в качестве критерия оптимальности формирования структуры парка ТС предприятия предложил использовать стоимость единицы транспортной операции [28], при этом в качестве варьируемых параметров используется структура ТС, а в качестве внешних факторов – изменение транспортной работы.

Я. А. Борщенко, И. П. Димова, В. И. Васильев [77] предлагают использовать зависимости, полученные ранее Л. Б. Миротиним, В. А. Гудковым, И. В. Спириным [51, 54], несколько модифицировав методику расчета, однако данная методика сложна в применении, перегружена условиями и допущениями и в конечном итоге не позволяет определить оптимальное значение вместимости и количества ПТС, а лишь рассчитать количество ПТС определенной вместимости для работы на маршруте с коэффициентом наполняемости близким к единице.

С. В. Мячкова к вопросу о рациональной структуре парка ПТС подходит с точки зрения технической готовности ПТС, повышения уровня технической эксплуатации транспортных средств, способности выполнять поставленную задачу и укрепления материально-технической базы предприятия [78].

Практически все представленные выше методики обладают рядом недо-

статков. Они не позволяют одновременно оптимизировать затраты пассажиров и транспортного предприятия, перегружены усредненными значениями и коэффициентами, что при принятии решений на основе расчета по ним приводит к неэффективности работы пассажирского транспорта, так как вызывает дефицит провозной способности в пиковые периоды и избыток в межпиковый и часы дежурного движения.

2.4 Исследование методов оценки затрат пассажиров на передвижение

К затратам пассажиров следует прежде всего отнести **затраты времени на передвижение**. Эти затраты называют «*трудностью сообщения*» [51]. Однако трудность сообщения определяется не только затратами времени на передвижение. Иногда трудность сообщения рассматривают как обобщенную характеристику, включающую в себя ряд показателей удобства передвижений, определяющих транспортную утомляемость: затраты времени на передвижение; показатели статического и динамического комфорта подвижного состава; пересадочности; частота и регулярность движения; удельный вес пешеходных затрат времени; ожидание транспорта в общих затратах времени на передвижения.

В. А. Гудков, Л. Б. Миротин [51] затраты времени пассажиров на передвижение определяется как

$$T = t_{\text{подх}} + t_{\text{ожид}} + t_{\text{движ}} + t_{\text{отх}}, \quad (2.37)$$

где $t_{\text{подх}}$, $t_{\text{ожид}}$, $t_{\text{движ}}$, $t_{\text{отх}}$ – затраты времени пассажиров соответственно на подход к остановочным пунктам маршрута, ожидание транспорта, передвижение, подход к месту назначения, мин.

Выражение (2.37) определяет затраты физического времени в передвижениях. Психологическая оценка пассажирами отдельных его составляющих неравнозначна. Поэтому в транспортных расчетах используют иногда понятие *приведенного транспортного времени*:

$$T = 2t_{\text{подх}} \varepsilon_{\text{пеш}} + t_{\text{ожид}} \varepsilon_{\text{ож}} + t_{\text{движ}} \varepsilon_{\text{дв}}, \quad (2.38)$$

где $\varepsilon_{\text{пеш}}$, $\varepsilon_{\text{ож}}$, $\varepsilon_{\text{дв}}$ – весовые коэффициенты психологической оценки пассажирами затрат времени на передвижения ($\varepsilon_{\text{пеш}} = 1,5$, $\varepsilon_{\text{ож}} = 2$, $\varepsilon_{\text{дв}} = 1$) [51, 54].

И. С. Ефремов [37] предлагает следующую методику расчета затрат времени пассажира при передвижениях:

– общие затраты времени на поездку, мин,

$$t_{\Pi} = t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{дв}}; \quad (2.39)$$

– затраты времени на подход к остановочному пункту и подход от места высадки к месту назначения, мин,

$$t_{\text{под}} = 0,0075 (2000/\delta + 1000L_{\text{м}}/N), \quad (2.40)$$

где $L_{\text{м}}$ – общая длина маршрутов в оба конца, км; δ – плотность маршрутной сети, км/км²; N – количество остановок на маршрутах;

– затраты времени на ожидание транспортной единицы, мин,

$$t_{\text{ож}} = \frac{I_{\text{м}}}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{K_{\text{р}}} - K_{\text{в}} \right) \left(\frac{\Delta i}{I_{\text{м}}} \right)^2 \right], \quad (2.41)$$

где $I_{\text{м}}$ – средний маршрутный интервал движения, мин; $K_{\text{р}}$ – коэффициент регулярности движения; $K_{\text{в}}$ – коэффициент выполненных рейсов; Δi – отклонение по времени прибытия и отправления транспорта на контрольные пункты маршрутов, мин;

– затраты времени на поездку в транспорте, мин,

$$t_{\text{дв}} = 60L_{\text{ср}}C/v_{\text{с}}, \quad (2.42)$$

где $L_{\text{ср}}$ – среднее расстояние поездки пассажира в целом по сети, км; C – коэффициент пересадочности; $v_{\text{с}}$ – средняя скорость сообщения, км/ч;

– затраты времени пересадки на другой маршрут, мин,

$$t_{\text{пер}} = (C - 1)(0,015L_{\text{пер}} + t_{\text{ож}}), \quad (2.43)$$

где $L_{\text{пер}}$ – среднее расстояние подхода к остановке при пересадках, м.

И. В. Спириин [54] общие затраты времени на поездку определяет как

$$T = 2T_{\text{пх}} + (T_{\text{ож}} + T_{\text{сл}})K_{\text{п}}, \quad (2.44)$$

где $T_{\text{пх}}$, $T_{\text{ож}}$, $T_{\text{сл}}$, – затраты времени соответственно на пешие подходы к остановке, посадку и отходы от остановки назначения до цели поездки, ожидание посадки в автобус, следование в автобусе, мин; $K_{\text{п}}$ – коэффициент пересадочности.

Затраты времени на пешие подходы к остановке, посадку и отходы от остановки назначения до цели поездки он предлагает определять по формуле

$$T_{\text{пк}} = \frac{60}{v_{\text{пеш}}} \left(\frac{1}{3\delta} + \frac{l_{\text{п}}}{4} \right) \approx 15 \left(\frac{1}{3\delta} + \frac{l_{\text{п}}}{4} \right), \quad (2.45)$$

где $v_{\text{пеш}}$ – скорость пешего передвижения, км/ч; δ – средняя плотность маршрутной сети км/км²; $l_{\text{п}}$ – средняя длина перегона на маршруте, м.

Затраты времени на ожидание посадки в ПТС при этом определяются как

$$T_{\text{ож}} = \frac{I}{2} + \frac{\delta_i^2}{2I} + P_{\text{отк}} I_{\text{эф}} = (0,5 + P_{\text{отк}}) I_{\text{эф}}, \quad (2.46)$$

где I – плановый интервал движения автобусов, мин; δ_i^2 – среднеквадратичное отклонение от планового интервала движения, мин; $P_{\text{отк}}$ – вероятность отказа пассажиру в посадке в автобус из-за ограниченной вместимости; $I_{\text{эф}}$ – эффективный интервал движения автобусов, мин, а затраты времени на следование в ПТС

$$T_{\text{сл}} = (l_{\text{ср}}/v_{\text{с}}) \cdot 60, \quad (2.47)$$

где $l_{\text{ср}}$ – средняя дальность поездки пассажира, км; $v_{\text{с}}$ – скорость сообщения, км/ч.

Вторым аспектом затрат пассажира является стоимостная оценка социальных потерь времени на передвижение [20, 79, 80, 81].

При стоимостной оценке пассажиро-часа $C_{\text{пч}}$ оцениваются те экономические или социальные результаты, которые можно было бы достичь, сэкономив вне рабочее время трудящихся путем совершенствования работы пассажирского транспорта [79, 80].

В настоящее время $C_{\text{пч}}$ имеет широкий диапазон значений, полученных различными методами. Как правило, пользуются тремя основными подходами для определения стоимости пассажиро-часа: исходя из национального дохода или чистой продукции, созданных за один человеко-час; среднечасовой заработной платы трудящихся; субъективной оценки пассажиром своего времени при выборе средства передвижения [79, 82, 83].

Т. С. Хачатуров в своих исследованиях [81] предположил, что только 20 % сэкономленного времени может быть использовано на увеличение времени производительного труда и $C_{\text{пч}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{пч}} = a'_c K_c, \quad (2.48)$$

где a'_c – отношение сэкономленных человеко-часов, обращенных на увеличение производства, к общему количеству сэкономленных человеко-часов; K_c – чистая продукция, создаваемая за один человеко-час.

А. О. Арак [79] разбил коэффициент a'_c на несколько составляющих:

$$a'_c = a'_1 a'_2 a'_3, \quad (2.49)$$

где a'_1 – коэффициент, учитывающий, какую часть сбереженного времени трудящиеся используют на увеличение свободного времени; a'_2 – коэффициент активной части свободного времени, используемого для всестороннего развития личности, для расширенного воспроизводства рабочей силы; a'_3 – коэффициент, учитывающий долю трудящихся сферы материального производства в общем пассажиропотоке.

В своих расчетах автор получил для Эстонии в 1979 году $C_{пч} = 0,55$ руб./ч.

Первый из трех перечисленных выше подходов использовали и некоторые зарубежные исследователи: У. Бэме [78], М. Ратай [84], Ф. Меевс и В. Ротхстаттер [80]. При определении $C_{пч}$ оценивался один пассажиро-час как равный национальному доходу, созданному в среднем за один человеко-час рабочими и служащими в народном хозяйстве, т. е. включая и работников непроизводственной сферы, и получены результаты, эквивалентные 4 дол. США/ч, или 2,2 руб./ч [86].

В. С. Купцов определяет $C_{пч}$ как стоимость, которая может быть создана в производственной сфере и выражена долей национального дохода, приходящегося на одного работника данной сферы, и стоимость, потерянная в связи с затратой времени на переезд работников непроизводственной сферы и выраженной размером заработной платы. В расчетах В. С. Купцова имеют место элементы двойного счета и заработная плата работников в сфере материального производства учитывается вдвойне, т. е. $C_{пч} = 0,1$ руб./ч [84].

Делением национального дохода, произведенного за год, на все календарное время населения страны определяют $C_{пч}$ В. Н. Кузьминов и И. Л. Хасман. Здесь имеет место учет времени, которое приходится не только на производство национального дохода, но и на отдых, сон и т. д. [80].

При расчете $C_{пч}$ вторым методом воспользовался профессор Ф. П. Кочнев. Он получил $C_{пч}$, равную 0,062 руб./ч, считая, что 50 % всех пассажиров работают на предприятиях и имеют среднюю дневную зарплату 3 руб. [80].

А. М. Баранов оценивает один пассажиро-час в 0,1 руб./ч [80], А. И. Пузин и В. А. Федоров – 0,3 руб./ч, считая, что денежно оценивать необходимо лишь пассажиров, едущих по служебным надобностям [88]. Однако на практике весьма трудно определить долю пассажиров, передвигающихся по служебным целям.

В одной из своих работ Т. С. Хачатурян при расчете стоимости одного пассажиро-часа исходит из среднемесячной заработной платы рабочих и служащих в народном хозяйстве. При этом он приравнял каждый человеко-час экономии времени к 0,5 стоимости одного человеко-часа рабочего времени. В результате чего получил $C_{пч} = 0,65 \dots 0,95$ руб./ч [86].

При расчете $C_{пч}$ из средней заработной платы исходят и некоторые зарубежные авторы. В Австралии при оценке сбереженного транспортом времени принимаются за основу 25 %, а в США и Великобритании – 30 % среднечасовой заработной платы [86]. В целом стоимость одного пассажиро-часа по оценкам зарубежных авторов находится в пределах $C_{пч} = 1,5 \dots 3,25$ доллара США [80].

Третий метод определения $C_{пч}$, основанный на субъективной оценке пассажиром своего времени, применяли Б. М. Парахонский и В. А. Соболин, Г. И. Черномордик и К. В. Паршикова и др. [89].

И. М. Улицкая предложила и использовала свой метод для определения $C_{пч}$. Она получила $C_{пч}$, равную 0,16 руб. [90]. И. С. Ефремов принимает $C_{пч}$, равную 0,15 руб. [37].

Таким образом, существенный разброс численных значений стоимости одного пассажиро-часа транспортного времени позволяет сделать вывод о том, что нет единого мнения по ее оценке.

Проведенный анализ методов выбора вместимости и количества транспортных средств для работы на маршруте выявил, что на сегодняшний день нет методики определения вместимости транспортных средств и интервалов их движения, который учитывает формы организации движения пассажирских транспортных средств и изменение пассажиропотока во времени.

Критерии рационального распределения транспортных средств по маршрутам не согласуются с критериями определения их количества и вместимости для работы на маршрутах.

Анализ методов оценки стоимости одного пассажиро-часа транспортно-го времени показал существенный разброс численных значений стоимости одного пассажиро-часа транспортного времени, что позволяет сделать вывод об отсутствии единого мнения по ее оценке [129].

Методы расчета пассажиропотоков сводятся к укрупненным расчетам межрайонных корреспонденций, что применимо для перспективных плановых расчетов и не могут использоваться для разработки суточных графиков работы на маршруте.

Анализ работ, посвященных оптимизации параметров работы пассажирского транспорта, показал отсутствие системности и комплексного подхода при решении задач подобного рода, что в конечном итоге приводит к неэффективной работе пассажирского транспорта в целом.

Таким образом, необходимо применять новые, научно-обоснованные методы организации перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом на основе выбора оптимальных параметров его работы позволяющие повысить эффективность и уровень качества предоставляемых услуг.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ НАЗЕМНЫМ МАРШРУТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ

3.1 Исследование влияния факторов на результативность работы городского маршрутизированного транспорта

Перед предприятиями, осуществляющими городские пассажирские перевозки, всегда встаёт задача оптимизации перевозочной деятельности, достижения ситуации, когда спрос на перевозки совпадал бы с предложением при минимальных транспортных издержках. Достичь такого равновесия практически невозможно. На сегодняшний день реально при помощи комплексного решения задач по оптимизации процессов перевозки и управлению производством приблизится к этому состоянию.

Для этого, прежде всего, необходимо определить критерии оценки эффективности функционирования городского пассажирского маршрутизированного транспорта. От правильности их выбора во многом зависит степень решения задач, стоящих как перед пассажирскими транспортными предприятиями в частности, так и транспортом в целом. Все показатели целесообразно объединить в четыре группы [126, 142, 148]:

- 1) качества транспортного обслуживания населения;
- 2) экономической эффективности;
- 3) безопасности дорожного движения;
- 4) экологической безопасности.

Качество транспортного обслуживания пассажиров – совокупность свойств перевозочного процесса и системы перевозок пассажиров, обуславливающих соответствие их нормативным требованиям. Свойства перевозочного процесса и системы перевозок определяют объективную особенность уровня организации и осуществления перевозок пассажиров и проявляются при удовлетворении транспортных потребностей пассажиров. Свойства подразделяют на простые и сложные.

Простые свойства характеризуются показателями качества. *Показатель качества* – объективный измеритель степени проявления свойства применяется в зависимости от степени проявления свойства. Общие требования к показателям качества: отражение реальных интересов пассажиров и общества, измеримость, зависимость от состояния и уровня организации перевозок, минимум избыточности.

Оценка качества – процедура сравнения фактического значения показателя с нормативным, выявления расхождения данных значений и установление причин последнего. На основе оценки качества по каждому отдельно взятому показателю (дифференциальных оценок качества) устанавливают комплексную (интегральную) оценку качества, характеризующую совокупное качество всех учитываемых показателей [90–96]. Высокое качество транспортного обслуживания пассажиров обеспечивается качеством работы транспортных предприятий и организаций, всех работников ГМТ, смежных отраслей народного хозяйства и различных ведомств (дорожная служба, градостроительные организации, ГАИ и пр.). На рисунке 3.1 представлена структура показателей качества транспортного обслуживания пассажиров [51].

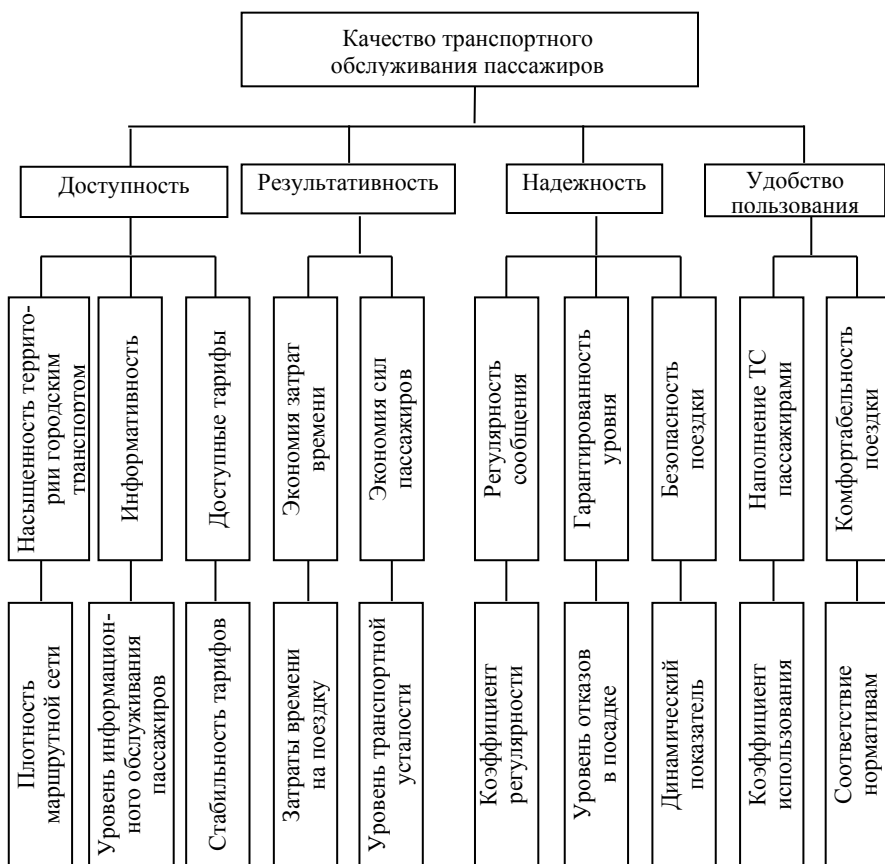


Рисунок 3.1 – Структура показателей качества транспортного обслуживания пассажиров

Уровень развития маршрутной системы определяет потенциальную доступность передвижения на ПТС. При определении этого показателя используют характеристику – «плотность маршрутной сети», численно равную отношению суммарной длины маршрутов к площади обслуживаемой территории.

Средняя плотность маршрутной сети для городов, имеющих только автобусный транспорт, должна составлять 2,0–2,5 км/км². В случае одновременной работы в городе различных видов городского пассажирского транспорта общая плотность маршрутной сети может достигать 3,0–3,5 км/км². При меньшей плотности уровень развития сети нельзя считать достаточным. Для решения вопросов развития маршрутной сети оптимизируют схемы городских маршрутов. Превышение нормативной плотности маршрутной сети приводит к увеличению числа пересечений маршрутов, в результате чего снижается скорости движения ПТС, падает их провозная способность [29, 37, 51].

Затраты времени пассажира на передвижение складываются из времени на пешее передвижение, времени поездки и ожидания транспортного средства. Время, затрачиваемое пассажиром на ожидание транспорта и поездку, расходуется непроизводительно, в связи с этим затраты, связанные с осуществлением передвижения, необходимо проанализировать для их минимизации.

Затраты времени на пешее передвижение к остановке для посадки в ПТС в среднем равны времени пешего передвижения от остановки прибытия до цели поездки [54]:

$$T_{\text{пеш}} = \frac{60}{v_{\text{пеш}}} [1/(3\delta) + l_n/4], \quad (3.1)$$

где $v_{\text{пеш}}$ – скорость пешего передвижения, км/ч; δ – средняя плотность маршрутной сети, км/км²; l_n – средняя длина перегона, км.

Анализ выражения (3.1) свидетельствует о том, что уменьшения времен на пешее передвижение можно достичь путем увеличения плотности маршрутной сети или снижения средней длины перегона на маршруте.

Рациональная длина перегона – в пределах 0,4–0,5 км, для скоростных и экспрессных маршрутов – 0,5–1 км и 1,5 км соответственно.

При сложившемся уровне развития маршрутной сети города и плотности застройки время пешего передвижения остается неизменным.

Затраты времени на ожидание посадки в общем виде определяются тремя факторами: интервалом движения, точностью соблюдения расписания, вместимостью ПТС:

$$T_{\text{ож}} = I/2 = (0,5 + P_{\text{отк}}) I_{\text{эф}}, \quad (3.2)$$

$$I = t_o/A_m. \quad (3.3)$$

Подставив выражение (2.23) в (3.3), после преобразований получим

$$I = 60q/Q_{\max} . \quad (3.4)$$

Из выражения (3.4) следует, что увеличение вместимости транспортных средств приводит к росту интервала их движения на маршруте при неизменном значении величины пассажиропотока в рассматриваемый период, что в свою очередь приводит к увеличению времени ожидания транспортного средства и отрицательно сказывается на качестве транспортного обслуживания пассажиров.

Среднее время на передвижение пассажира в транспортном средстве может быть определено по формуле

$$t_{\text{дв}} = l_{\text{м}}/v_{\text{с}} , \quad (3.5)$$

$$t_{\text{дв}} = l_{\text{м}}/v_{\text{т}} + nt_{\text{птп}} , \quad (3.6)$$

где $l_{\text{м}}$ – длина маршрута, км; $v_{\text{с}}$ – скорость сообщения транспортных средств на маршруте, км/ч; $v_{\text{т}}$ – техническая скорость движения транспортных средств, км/ч; n – количество остановочных пунктов на маршруте, ед.; $t_{\text{птп}}$ – продолжительность остановки на промежуточных пунктах, ч.

Для определения уровня организации транспортного сообщения с центром города используют следующие оценки скорости передвижения пассажиров, с использованием транспорта, км/ч (таблица 3.1) [51].

Таблица 3.1 – Оценка скорости передвижения пассажиров с использованием транспорта

В километрах в час

Оценка скорости передвижения	Значение
Очень малая	До 6,0
Малая	6,01–9,60
Умеренная	9,61–13,00
Большая	13,01–16,80
Очень большая	16,81–21,00
Исключительно большая	Свыше 21,00

Наполнение ПТС пассажирами во внутригородском сообщении характеризуют *статическим коэффициентом использования вместимости* ($\gamma_{\text{с}}$). Общая вместимость ПТС определяется суммой мест для проезда сидя и стоя. Статический коэффициент использования вместимости численно ра-

вен отношению числа пассажиров, фактически находящихся в ПТС (q_{ϕ}) к его номинальной вместимости (q_n) [54]:

$$\gamma_c = q_{\phi} / q_n, \quad (3.7)$$

где q_{ϕ} – количество пассажиров, фактически находящееся в ПТС, пас.; q_n – номинальная вместимость ПТС, пас.

Степень использования ПТС в течение суток характеризуется *динамическим коэффициентом использования вместимости* (γ_d)

$$\gamma_d = P_{\phi} / P_{\max}, \quad (3.8)$$

где P_{ϕ} – фактически выполненная транспортная работа за сутки, пас.км/сут; P_{\max} – максимально возможной транспортной работы за сутки, пас.км/сут.

Динамический коэффициент использования вместимости численно равен отношению фактически выполненной транспортной работы за сутки (P_{ϕ}) к максимально возможной при полном использовании его номинальной вместимости (P_{\max}).

Комфортабельность транспортного передвижения. Понятие комфорт применительно к городским перевозкам характеризуется комфортом ожидания поездки, посадки в транспортное средство и поездки.

Комфорт *ожидания поездки* обеспечивается оборудованием и содержанием в надлежащем порядке остановочных пунктов маршрутов и путей подхода к ним.

Регулярность движения ПТС – свойство следующих друг за другом ПТС прибывать в заданные пункты через равные промежутки времени. При малых интервалах движения (не свыше 10–15 мин) с точки зрения пассажира регулярным будет движение ПТС с равными интервалами. С точки зрения качества исполнения расписания движения имеет значение точность его исполнения.

Коэффициент регулярности движения автобусов – показатель, принятый в транспортной практике для количественной оценки регулярности движения. Он определяется отношением числа рейсов, выполняемых в соответствии с расписанием движения, к числу рейсов, предусмотренных заданным расписанием.

Более совершенной оценкой регулярности движения является *средне-квадратичное отклонение от расписания движения* [54]

$$\delta_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i^2 / n)}, \quad (3.9)$$

где ΔI – отклонение от момента прибытия на остановку, предусмотренного расписанием движения, мин; n – число наблюдений (не менее 90).

Данный показатель по сравнению с коэффициентом регулярности движения позволяет учесть степень нарушения расписания движения ПТС.

Беспересадочность сообщения – возможность пассажиру совершить поездку без пересадки в пути следования. Данный показатель особо значим для пассажиров пожилых, с малолетними детьми и следующих по культурно-бытовым целям. Количественно этот показатель характеризуется *коэффициентом пересадочности* $K_{\text{п}}$, который показывает среднее количество посадок, приходящееся на одну поездку «от двери до двери». Как правило, число пересадок не должно превышать одной, в противном случае это создает дополнительные неудобства пассажирам.

$$K_{\text{п}} = I_{\text{п}} N_{\text{нас}} / (4,77 + 0,000154 N_{\text{нас}}), \quad (3.10)$$

где $N_{\text{нас}}$ – численность населения, тыс. чел.

Коэффициент пересадочности находится в пределах от 1,1 при численности населения города до 250 тыс. чел. до 1,4 при численности свыше 1 млн чел. [37, 54].

Информационное обслуживание пассажиров – комплекс мер, направленных на предоставление пассажирам сведений, необходимых для планирования ими своих поездок и правильного пользования общественным транспортом. Информационное обслуживание пассажиров включает: рекламу перевозок средствами массовой информации и наглядными средствами, распространением справочников для пассажиров и схем автобусных маршрутов; содержание в надлежащем порядке средств экипировки автобусов и указателей остановочных пунктов; оборудование остановочных пунктов информационными табло, сообщающими о времени прибытия очередного транспортного средства к остановочному пункту и об отклонениях от расписания.

Комплексная оценка качества перевозки пассажиров. В практике наибольшее распространение получила комплексная оценка качества обслуживания пассажиров [51, 54]

$$K_{\text{компл}} = K_1 K_2 \dots K_{10}, \quad (3.11)$$

где K_1, K_2, \dots, K_{10} – значения дифференциальных оценок качества (отношение нормативного уровня показателя к фактическому), полученных для отдельных показателей.

Качество перевозок оценивают по четырехбалльной системе: $K_{\text{компл}} = 0,96$ и выше – образцовый уровень качества, $K_{\text{компл}} = 0,95 \dots 0,67$ – хороший,

$K_{\text{компл}} = 0,66 \dots 0,38$ – удовлетворительный, $K_{\text{компл}} =$ ниже $0,38$ – неудовлетворительный.

Эффективность использования парка ПТС и его провозные возможности характеризуются следующими показателями: численность парка, время работы единицы ПТС на линии, пассажироместимость ПТС, пробег, скорости движения и простои при посадке-высадке пассажиров. Одним из основных показателей, характеризующих эффективность использования ПТС является, *выработка* – показатель величины транспортной продукции единицы ПТС, за определенный период времени. При оценке работы по этому показателю необходимо учитывать тот факт, что более высокий уровень выработки обеспечивает снижение себестоимости перевозок и увеличение доходов и, как следствие, увеличение самоокупаемости, однако при этом ухудшаются качественные показатели пассажирских перевозок [79, 97, 98].

Показатели экономической эффективности. К показателям экономической эффективности следует отнести производительность, рентабельность, самоокупаемость, себестоимость, выручка, тариф.

Производительность определяется затратами общественно необходимого труда на единицу произведенной продукции. В общем виде этот показатель определяют как отношение количества перевезенных пассажиров (пассажирооборота) к затраченному времени, численности работающих или единиц ПТС.

Среди многочисленных факторов, оказывающих влияние на производительность парка транспортных средств, можно выделить: структуру парка ПТС; организацию транспортного процесса, технического обслуживания, ремонта ПТС и управления работой ПТС на линии.

Производительность пассажирского транспортного средства является основным обобщающим показателем эффективности использования подвижного состава и определяется по формуле

$$P_{\text{ч}} = q_{\text{н}} \gamma_{\text{с}} \eta_{\text{см}} / t_{\text{р}}, \quad (3.12)$$

где $q_{\text{н}}$ – номинальная вместимость транспортного средства, пас.; $\gamma_{\text{с}}$ – статистический коэффициент использования вместимости; $\eta_{\text{см}}$ – коэффициент сменности пассажиров; $t_{\text{р}}$ – время рейса, ч [74],

$$t_{\text{р}} = l_{\text{м}} / v_{\text{т}} + t_{\text{пп}}. \quad (3.13)$$

Из формулы производительности следует, что на производительность прямо пропорционально влияют вместимость подвижного состава, коэффициент ее использования, коэффициент сменности пассажиров, а обратно пропорционально – время рейса [126].

Для того чтобы обосновать мероприятия по повышению эффективности использования транспортных средств, нужно знать характер и степень влияния отдельных эксплуатационных факторов на результативные показатели – выработку автомобиля, себестоимость перевозок и др.

Методика анализа основывается на исследовании функциональных зависимостей соответствующих результативных величин от различных факторов. Эти зависимости чаще всего имеют линейный или нелинейный характер и могут быть представлены уравнениями вида [34]

$$y = a_x + b_x x, \text{ или } y = (a_x x + b_x) / (x + c_x). \quad (3.14)$$

В конкретных случаях постоянные коэффициенты a_x , b_x и c_x могут быть положительными, отрицательными или равными нулю величинами. Если задаваться значениями эксплуатационного фактора и определять соответствующие ему численные значения выработки автомобиля, то можно получить представление о влиянии этого фактора на производительность транспортного средства. Однако количественные изменения производительности ПТС зависят от коэффициентов a_x , b_x , c_x , значения которых определяются целым комплексом факторов. Каждому значению постоянных параметров a_x , b_x , c_x при изменении анализируемого фактора соответствует определенная кривая или прямая. Таким образом, зависимость производительности транспортного средства от любого эксплуатационного фактора определяется семейством кривых.

Проанализировать взаимосвязанное влияние факторов на производительность путем рассмотрения семейства кривых весьма сложно. Для этих целей применяется метод определения относительных приращений. Сущность его заключается в том, что устанавливается процентное отклонение результативной величины под влиянием соответствующих изменений (также выраженных в процентах) исследуемого показателя. При этом используют следующую расчетную зависимость:

$$A_{x_1}^y = \frac{[(y_1 - y_0) / y_0] \cdot 100 \%}{[(x_1 - x_0) / x_0] \cdot 100 \%} = \frac{\Delta y}{y_0} \frac{x_0}{\Delta x}, \quad (3.15)$$

где $A_{x_1}^y$ – степень изменения результативной величины y при изменении показателя x на 1 %; y_0, x_0 и y_1, x_1 – соответственно начальные и конечные значения результативной величины и эксплуатационного показателя; Δy и Δx – приращения результативной величины и эксплуатационного показателя.

Расчитанное по формуле (3.15) значение показателя справедливо только для заданного конкретного значения x_1 . При изменении показателя от x_0 до x_2 результативная величина изменяется на $y_2 - y_0$, а процентное отношение принимает значение $A_{x_2}^y$ и т. д.

Пусть $\Delta x \rightarrow 0$. Тогда относительное изменение результаивной величины определяется зависимостью

$$A_x^y = \frac{dy}{dx} \frac{x}{y}. \quad (3.16)$$

Соотношение (3.16) называется относительным изменением результаивной величины y по показателю x . В математической статистике ему соответствует термин *коэффициент эластичности*.

Рассмотрим влияние отдельных эксплуатационных факторов на производительность автомобиля.

Производительность ПТС линейно зависит от его пассажироместимости и коэффициента ее использования, т. е.

$$P_{\text{ч}} = \frac{v_{\text{т}} \beta}{L_{\text{м}} + v_{\text{т}} \beta t_{\text{пп}}} q \gamma_{\text{с}} = a_x x. \quad (3.17)$$

Коэффициент эластичности в этом случае

$$A_x^y = a_x \frac{x}{a_x x} = 1. \quad (3.18)$$

Это означает, что с увеличением фактической загрузки ПТС на 1 % его производительность также возрастает на 1 %. При этом предполагается, что остальные показатели не зависят от пассажироместимости ПТС и коэффициента ее использования. На практике же применение транспортных средств определенной пассажироместимости и различная степень ее использования могут влиять на длительность простоя ПТС под посадкой-высадкой за один рейс и его техническую скорость. Поэтому производительность транспортного средства имеет более сложную зависимость от пассажироместимости и коэффициента ее использования.

Время простоя транспортного средства в ожидании посадки и высадки зависит от мощности пассажиропотока в определенный час суток и количества дверей. Для ПТС одинаковой пассажироместимости и количества дверей затраты времени на осуществление посадки-высадки можно представить зависимостью

$$t_{\text{пп}} = a + b q \gamma_{\text{с}}, \quad (3.19)$$

где $a = t_{\text{пм}}$ – затраты времени на операции маневрирование транспортного средства при подъезде и отъезде от остановочного пункта и др.); $b = t_{\text{пос}}$ – затраты времени на посадку и высадку 1 пассажира.

Для этого случая зависимость часовой выработки автомобиля, т, по пассажировместимости описывается уравнением равнобочной гиперболы, т. е.

$$P_{\text{ч}} = \frac{a_{\text{qт}} q\gamma_{\text{ст}}}{q\gamma_{\text{ст}} + c_{\text{qт}}}, \quad (3.20)$$

где $a_{\text{qт}} = \frac{1}{t_{\text{пос}}}$; $c_{\text{qт}} = \frac{1}{t_{\text{пос}}} \left(\frac{L_{\text{м}}}{v_{\text{т}} \beta} + t_{\text{пз}} \right)$.

Относительное изменение выработки автомобиля по пассажировместимости

$$A_{\text{qт}}^P = \frac{d P_{\text{ч}}}{d(q\gamma_{\text{с}})} \frac{q\gamma_{\text{с}}}{P_{\text{ч}}} = \frac{1}{1 + \frac{q\gamma_{\text{с}}}{c_{\text{qт}}}} = \frac{1}{1 + \frac{v_{\text{т}} \beta t_{\text{пос}}}{L_{\text{м}} + v_{\text{т}} \beta t_{\text{пм}}} q\gamma_{\text{с}}}. \quad (3.21)$$

Отсюда следует, что изменение выработки на 1 % изменения фактической вместимости ПТС тем значительнее, чем больше длина маршрута $L_{\text{м}}$, а также время на маневрирование возле остановочного пункта $t_{\text{пм}}$ и меньше затраты времени на посадку и высадку 1 пассажира $t_{\text{пас}}$, коэффициент использования пробега β и техническая скорость $v_{\text{т}}$.

Зависимость производительности ПТС от коэффициента использования пробега представляет собой равнобочную гиперболу. Коэффициент эластичности в этом случае

$$A_{\beta}^P = \frac{1}{1 + \frac{\beta v_{\text{т}} t_{\text{пм}}}{L_{\text{м}}}}. \quad (3.22)$$

Это значит, что влияние изменения β на производительность ПТС усиливается при увеличении расстояния $L_{\text{м}}$ и снижении технической скорости автомобиля $v_{\text{т}}$, а также времени его простоя при посадке и высадке $t_{\text{пп}}$.

Влияние технической скорости на производительность ПТС аналогично влиянию коэффициента использования пробега, так как коэффициент эластичности в этом случае определяется выражением (3.22). Изменение технической скорости влияет на производительность ПТС тем значительнее, чем больше расстояние $L_{\text{м}}$ и меньше простои при посадке и высадке $t_{\text{пп}}$, а также коэффициент использования пробега β .

Влияние времени простоя ПТС при посадке и высадке на производительность обратно пропорциональное. С увеличением $t_{\text{пп}}$ производительность ПТС падает, асимптотически приближаясь к нулю. Относительное изменение производительности по времени простоя ПТС в ожидании посадки пассажира

характеризуется коэффициентом эластичности, который определяется по формуле

$$A_{t_{\text{пн}}}^P = - \frac{1}{1 + \frac{L_M t_{\text{пн}}}{v_T \beta}}. \quad (3.23)$$

Из анализа выражения (3.23) следует, что влияние изменения $t_{\text{пн}}$ на производительность ПТС тем больше, чем меньше расстояние L_M и больше коэффициент использования пробега β и техническая скорость v_T .

Влияние длины маршрута на выработку ПТС, т, аналогично влиянию времени простоя ПТС в ожидании посадки-высадки $t_{\text{пн}}$. На практике анализ влияния различных эксплуатационных факторов на производительность ПТС осуществляется посредством построения характеристического графика, пример которого приведен на рисунке 3.2.

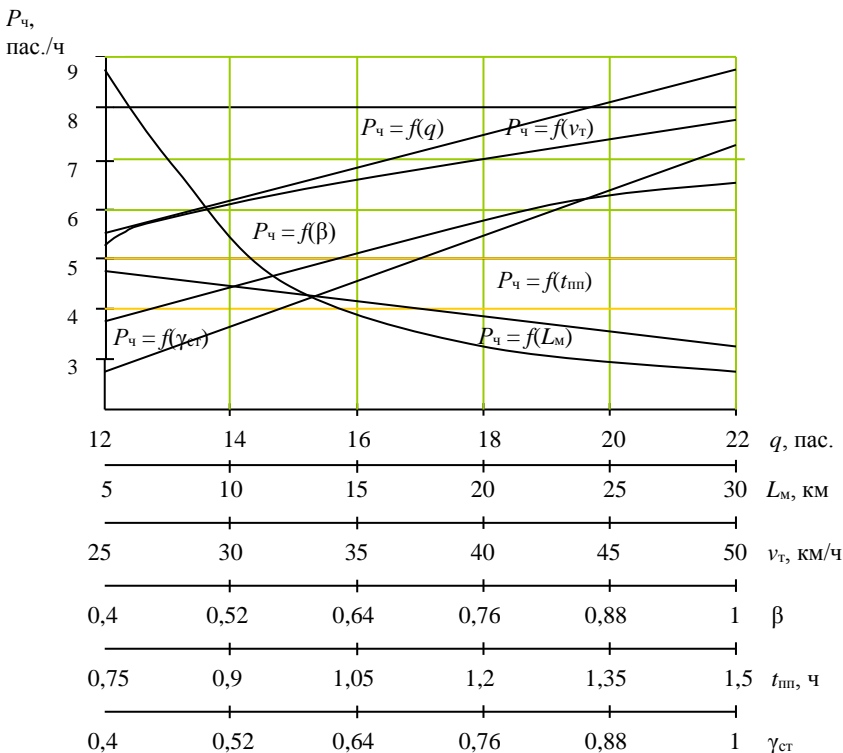


Рисунок 3.2 – Характеристический график зависимости производительности пассажирского транспортного средства от эксплуатационных факторов

Данный график строится на основе расчетов, сущность которых заключается в изменении одного из показателей в допустимых пределах и сохранении для остальных базовых (достигнутых) значений. С помощью характеристических графиков могут намечаться отдельные мероприятия по улучшению использования транспортных средств. Однако наиболее эффективное повышение производительности ПТС достигается при проведении системы мероприятий, обеспечивающих улучшение использования ПТС [134].

Безопасность перевозок – безусловное требование, предъявляемое пассажирами и обществом к системе организации и управления перевозками.

Для характеристики уровня безопасности движения на данном автотранспортном предприятии применяют *коэффициент динамического изменения безопасности движения*, показывающий степень изменения (увеличения или уменьшения) числа дорожно-транспортных происшествий либо установленных случаев нарушения правил дорожного движения в отчетном году по сравнению с прошедшим [10, 94]:

$$K_{\text{бд}} = 1 / \left(1 + a \frac{n_0 + n_1 L_0 / 2L_1 + n_2 L_0 / 4L_2 + n_3 L_0 / 8L_3}{2L_0} \right), \quad (3.24)$$

где a – коэффициент относительной потери времени при передвижении, связанной с ДТП; n – число штрафных баллов; i – условный номер года; L – общий годовой пробег парка транспортных средств за год.

Экологичность перевозок – это, в первую очередь, объем выбросов вредных веществ в атмосферу. Величина выбросов определяется объемом израсходованного топлива при выполнении перевозок и зависит, прежде всего, от пробега. Также на объем выбросов влияет мощность двигателя, полной массы транспортного средства, технического состояния автомобиля. Оценку эффективности использования автомобиля целесообразно проводить по величине удельных выбросов $B_{\text{уд}}$, приходящихся на единицу транспортной работы, выраженной в пассажирах или пассажиро-километрах за рейс по следующей формуле [136]:

$$B_{\text{уд}} = \rho_{\text{в}} Q_{\text{т}} = \rho_{\text{в}} \frac{l_{\text{м}} (g_{\text{л}} + g_{\text{р}} q_{\text{н}} \gamma_{\text{с}})}{P_{\text{р}}}, \quad (3.25)$$

где $l_{\text{м}}$ – длина маршрута, км; $\rho_{\text{в}}$ – коэффициент, определяющий долю выбросов, приходящуюся на единицу израсходованного топлива; $g_{\text{л}}$ – линейная норма расхода топлива, л/100 км; $g_{\text{р}}$ – норма расхода топлива, приходящаяся на единицу транспортной работы, л/100 пас. км; $q_{\text{н}}$ – номинальную вместимость, пас.; $\gamma_{\text{с}}$ – коэффициент использования вместимости; $P_{\text{р}}$ – выполненная транспортная работа за рейс, пас. км,

$$P_p = q_n \gamma_c \eta_{cm} l_{cp} = q_n \gamma_c l_m. \quad (3.26)$$

После подстановки выражения (3.26) в (3.25) получаем

$$B_{уд} = \rho_v \frac{l_m (g_l + g_p q_n \gamma_c)}{q_n \gamma_c l_m} = \rho_v \frac{g_l}{q_n \gamma_c} + g_p. \quad (3.27)$$

Из последнего выражения следует, что объем выбросов можно снизить не только за счет совершенствования технико-эксплуатационных характеристик автомобиля, но и за счет повышения эффективности его использования и применения более вместительных ПТС.

3.2 Анализ факторов, влияющих на систему городских пассажирских перевозок

Одной из причин малоэффективной работы городского наземного пассажирского транспорта является несовершенство сложившейся системы управления. Существующая система управления пассажирским городским транспортом не стимулирует работу большей части перевозчиков по снижению затрат и повышению качества обслуживания пассажиров. Все это обуславливает необходимость совершенствования управления городскими перевозками пассажиров.

Система управления городским пассажирским транспортом функционирует на двух этапах:

- 1) предварительная организация перевозок;
- 2) текущее выполнение перевозок.

На первом этапе производится разработка маршрутной сети, а также выбор транспортных средств и определение их числа для работы на маршрутах [144]. При этом должны решаться следующие задачи:

- получение информации об объемах перевозок пассажиров и пассажиропотоках;
- формирование рациональной маршрутной сети;
- координация работы различных видов транспорта;
- нормирование скоростей и режимов движения на маршрутах;
- принятие тарифных схем;
- расчет технико-эксплуатационных и технико-экономических показателей работы перевозчиков.

Реализация функций на втором этапе обеспечивает функционирование разработанной системы перевозок пассажиров:

- заключение договоров с перевозчиками на обеспечение перевозок на маршрутах;
- установление величин тарифов;
- определение числа пассажирских ПТС для работы на маршрутах по сезонам года, часам суток и дням недели;
- разработка расписания движения пассажирских ПТС;
- доведение информации до пассажиров;
- контроль за техническим состоянием пассажирских ПТС на маршруте;
- контроль за регулярностью движения пассажирских ПТС;
- диспетчеризация движения пассажирских ПТС для компенсации воздействия на систему перевозок внешних и внутренних факторов.

Внешними факторами, влияющими на устойчивость перевозочного процесса, являются:

- изменение спроса на перевозки во времени, по направлениям и участкам маршрутов;
- изменение условий движения за счет колебаний интенсивности движения ПТС во времени на уличной дорожной сети;
- регулирование дорожного движения;
- природно-климатические условия и др.

Технология городских маршрутизированных перевозок включает совокупность методов использования ресурсов и провозных возможностей городского маршрутизированного транспорта, применяемых для рациональной организации движения транспортных средств на маршрутах. Задачами технологической организации перевозок являются выявление и использование технических, эксплуатационных, экономических, организационных и других закономерностей перевозок пассажиров в городах с целью полного и своевременного удовлетворения потребностей в перевозках при соблюдении действующих норм, касающихся качества транспортного обслуживания пассажиров, в том числе экологической безопасности, безопасности дорожного движения [9], а также организации труда персонала [102, 103].

Выделение отдельных задач из комплекса технологической организации перевозок определяется: информационной, структурной и логической последовательностями принятия управленческих решений; наличием функциональной самостоятельности каждой задачи; существованием для каждой задачи критерия оптимальности ее решения. Разделение комплекса на отдельные задачи позволяет формировать для каждой из них технические требования и методики решения применительно к производственным ситуациям. Основным требованием к комплексу является возможность замены одной методики решения какой-либо из задач другой, более совершенной методикой. При замене должна обеспечиваться преемственность по входной и выходной информации, точности получаемых результатов, своевременно-

сти получения расчетов, используемым критериям и технологическим ограничениям. Такой подход к формированию комплекса задач особенно эффективен при использовании вычислительной техники и специализированного программного обеспечения [103].

Развитие и совершенствование городского пассажирского транспорта, как и любой другой отрасли народного хозяйства, невозможны без системного подхода к решению постоянно возникающих сложных проблем и задач. Системный подход предполагает четкое формулирование цели в решении той или иной группы задач, проблем, определяет построение структуры системы, самого механизма выхода на цель [104]. Различные элементы, включаемые в систему, функционально взаимосвязаны и работают на нее, являются неотъемлемой ее частью. В этом проявляется целостность системы. [133, 149].

Руководствуясь принципами системного подхода, представим систему пассажирского транспорта в виде совокупности управляемых, неуправляемых факторов и выходных параметров (рисунок 3.3).

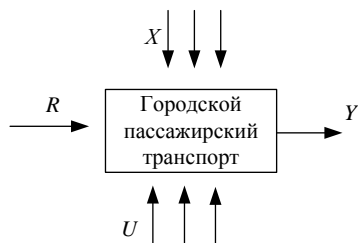


Рисунок 3.3 – Совокупность управляемых, неуправляемых факторов и выходных параметров:

Y – выходные параметры объекта; X – контролируемые входные параметры (неуправляемые факторы); U – регулируемые входные параметры (управляемые факторы); R – неконтролируемые воздействия

При решении любой оптимизационной задачи используются математические модели исследования, при этом под математической моделью понимается уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами на него воздействующими. В общем виде это уравнение можно представить как

$$Z = \varphi(Y) = \varphi(X, U, R), \quad (3.28)$$

где $\varphi(X) = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$; $\varphi(U) = f(U_1, U_2, \dots, U_n)$.

Влияние неконтролируемых воздействий (R) не учитывается из-за их незначительности. Помимо отбора управляющих параметров, должны быть установлены ограничения на эти параметры.

Таким образом, для решения задачи оптимизации необходимо:

1) составить математическую модель объекта оптимизации:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, U_1, U_2, U_3); \quad (3.29)$$

2) определить критерий оптимальности и составить целевую функцию:

$$Z = \varphi(\bar{Y}) = F(\bar{X}, \bar{U}); \quad (3.30)$$

3) установить возможные ограничения, которые должны накладываться на переменные;

4) выбрать метод оптимизации, позволяющий найти искомые значения величин.

Выбор неуправляемых и управляемых факторов позволит получить требуемые выходные параметры СГПМТ и, таким образом, добиться повышения эффективности ее функционирования и обеспечения устойчивой городской мобильности. *Неуправляемые факторы* выступают в качестве ограничений, накладываемых на СГПМТ (рисунок 3.4). К ним относятся пункты тяготения пассажиров, места формирования и размер (объем спроса на перевозки) пассажиропотоков [153]. Пункты тяготения пассажиров подразделяются на места приложения труда и культурно-бытовые объекты. На их расположение оказывают влияние особенности территориального, промышленного и культурного развития городских территорий [34, 51]. Они практически неизменны в краткосрочной и среднесрочной перспективах, но оказывают существенное влияние на места формирования пассажиропотоков – начальные и конечные пункты маршрутов, а также промежуточные ОП, которые в свою очередь влияют на размер спроса на перевозки.



Рисунок 3.4 – Структура неуправляемых факторов в СГПМТ

Известно [29, 51, 53, 100], что размер пассажиропотоков на МС подвержен колебаниям в течение суток по часам, а также по дням недели и месяцам года [137, 156]. Для будних дней характерны два пиковых периода (рисунок 3.5): первый – утренний непродолжительный (1–1,5 ч), но обладающий высокой напряженностью, второй (вечерний) – менее напряженный, но более продолжительный по времени [137, 156]. В пиковые периоды, при недостаточной провозной способности ПТС на маршруте, происходит их переполнение, и коэффициент наполняемости достигает 1,1–1,2, что снижает качество перевозки пассажиров [29, 100].

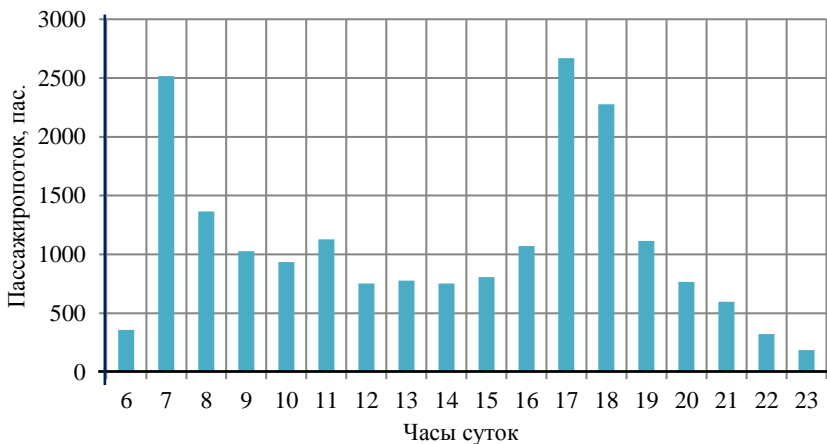


Рисунок 3.5 – Изменение величины пассажиропотока по часам суток в будние дни

Во внепиковый период происходит значительный спад пассажиропотоков. В этот отрезок времени преобладают деловые и культурно-бытовые поездки населения. В межпиковый период без принятия должных мер происходит снижение эффективности использования ПТС, существенное увеличение интервалов их движения, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени ожидания пассажиром посадки и, соответственно, длительности поездки.

В выходные и праздничные дни наблюдается другая ситуация: происходит постепенный рост пассажиропотоков до 12–13 часов дня и затем – их постепенное уменьшение (рисунок 3.6).

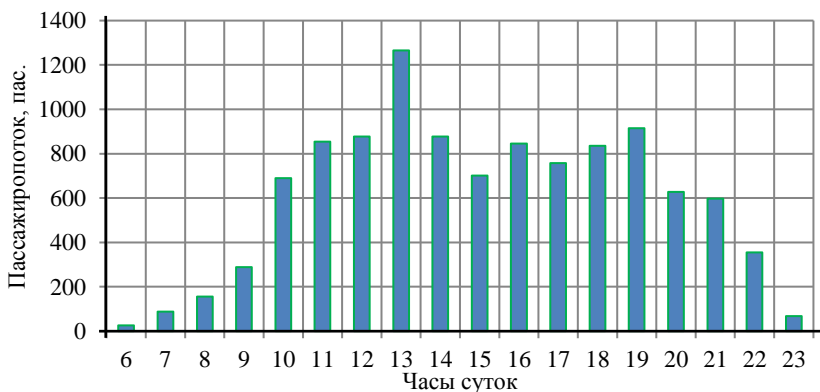


Рисунок 3.6 – Изменение величины пассажиропотока по часам суток в выходные и праздничные дни

К управляемым факторам, воздействующим на СГПИМТ, относятся (рисунок 3.7): вид транспорта, маршруты перевозок, форма организации работы транспортных средств, параметры ПТС, информация о движении ПТС на маршрутах [153].



Рисунок 3.7 – Структура управляемых факторов в СГПИМТ

Перевозка пассажиров в черте города может осуществляться с применением автомобильного транспорта (автобус, маршрутное такси, такси), городского электрического транспорта (троллейбус, трамвай, метро) и железнодорожного. Выбор того или иного вида транспорта обусловлен сферой рационального их применения и определяется величиной пассажиропотока, необходимого для его освоения. Согласно действующему законодательству [2–9], пе-

ревозки пассажиров ГПМТ могут быть организованы на обычных, скоростных и экспрессных маршрутах. ПТС могут работать на маршруте, соблюдая определенный интервал движения или придерживаясь точного, доведенного до пассажира, расписания движения по рейсам. Выбор в пользу той или иной формы организации работы зависит от мощности пассажиропотока в определенный период времени, имеющегося количества и вместимости ПТС и не имеет четкого критерия.

Применяемые для перевозки пассажиров транспортные средства имеют следующие основные характеристики, влияющие на эффективность и качество процесса перевозки: вместимость (номинальная и максимальная), марка, модель, удельный расход топлива, балансовая стоимость и срок эксплуатации.

Информационное обслуживание пассажиров – комплекс мер, направленных на предоставление пассажирам сведений, необходимых для планирования ими своих поездок и правильного пользования ГПМТ: реклама; распространение справочников для пассажиров и схем МС; содержание в надлежащем порядке средств экипировки ПТС и указателей ОП; оборудование ОП информационными табло, сообщающими о времени прибытия очередного ПТС к ОП, об интервалах движения ПТС по периодам суток.

Для обоснования мероприятий по повышению эффективности использования ПТС исследуем характер влияния отдельных эксплуатационных факторов на результирующие показатели – производительность ПТС, себестоимость перевозок и качество транспортного обслуживания пассажиров. Одним из основных показателей, характеризующих эффективность использования ПТС, является *производительность* – показатель величины транспортной продукции единицы ПТС за определенный период времени:

$$P_{\text{ч}} = q_{\text{н}} \gamma_{\text{с}} \eta_{\text{см}} / t_{\text{р}}, \quad (3.31)$$

где $q_{\text{н}}$ – номинальная вместимость ПТС, пас.; $\gamma_{\text{с}}$ – статический коэффициент использования вместимости; $\eta_{\text{см}}$ – коэффициент сменности пассажиров; $t_{\text{р}}$ – время рейса, ч [66],

$$t_{\text{р}} = l_{\text{м}} / v_{\text{т}} + t_{\text{пн}}; \quad (3.32)$$

$l_{\text{м}}$ – длина маршрута, км; $v_{\text{т}}$ – техническая скорость движения ПТС, км/ч; $t_{\text{пн}}$ – продолжительность остановки на промежуточных ОП, ч.

Необходимо учитывать, что более высокое значение производительности обеспечивает снижение себестоимости перевозок и увеличение доходов и, как следствие, увеличение самоокупаемости, однако при этом ухудшаются качественные показатели пассажирских перевозок [71, 89, 91]. Среди многочисленных факторов, оказывающих влияние на производительность парка ПТС, можно выделить его структуру, организацию транспортного

процесса, технического обслуживания и ремонта, форму организации работы ПТС на маршруте.

Себестоимость перевозок может быть выражена в виде суммы всех видов расходов, отнесенной на единицу объема перевозок и транспортной работы [21, 61, 92, 93, 99, 100]:

$$S_{\text{пол}} = (S_{\text{эк}} + S_{\text{н}}) / P, \quad (3.33)$$

где $S_{\text{эк}}$ – сумма эксплуатационных расходов, руб./км; $S_{\text{н}}$ – сумма накладных расходов, руб.; P – объем транспортной работы, пас./км.

В то же время себестоимость одного часа работы ($S_{\text{а-ч}}$) и одного километра пробега ПТС ($S_{\text{км}}$) определяется исходя из следующих выражений [61]:

– себестоимость одного часа работы ПТС

$$S_{\text{а-ч}} = S_{\text{пер}} / v_{\text{э}} + S_{\text{пост}}; \quad (3.34)$$

– себестоимость 1 км пробега ПТС

$$S_{\text{км}} = S_{\text{пер}} + S_{\text{пост}} / v_{\text{э}}, \quad (3.35)$$

где $S_{\text{пер}}$ – сумма переменных расходов, приходящихся на 1 км пробега ПТС, руб./км; $S_{\text{пост}}$ – сумма постоянных расходов, приходящихся на 1 ч работы ПТС, руб./ч; $v_{\text{э}}$ – эксплуатационная скорость, км/ч.

В развернутом виде формулы для определения себестоимости выглядят следующим образом [137]:

$$S = \frac{S_{\text{пер}} v_{\text{э}} + S_{\text{пост}}}{W_{\text{р}}}, \quad (3.36)$$

и

$$S = \frac{S_{\text{пер}} v_{\text{э}} + S_{\text{пост}}}{Q_{\text{р}}}, \quad (3.37)$$

где $Q_{\text{р}}$ – объем перевозок пассажиров, пас., $W_{\text{р}}$ – пассажироборот, пас.км.

Затраты на одну поездку пассажира на МС

$$S = S_{\text{км}} l_{\text{ср}} / (q_{\text{ср}} \gamma_{\text{с}}), \quad (3.38)$$

где $S_{\text{км}}$ – средние удельные затраты на 1 км пробега ПТС, руб./км; $l_{\text{ср}}$ – среднее расстояние поездки пассажиров, км; $q_{\text{ср}}$ – средняя вместимость ПТС, пас.; $\gamma_{\text{с}}$ – коэффициент использования вместимости ПТС.

Снижения затрат на перевозку пассажира можно достичь либо сокращением средних удельных затрат на 1 км пробега ПТС $S_{\text{км}}$, либо за счет по-

вышения наполняемости ПТС γ_c для определенных значений среднего расстояния поездки пассажиров $l_{\text{пн}}$ и средней вместимости ПТС $q_{\text{ср}}$. Зависимость затрат на 1 поездку пассажира S от величины коэффициента использования вместимости γ_c для данных на примере г. Гомеля приведена на рисунке 3.8 [8].

Из приведенной зависимости (см. рисунок 3.8) следует, что даже при существующих удельных затратах на 1 км пробега ПТС, при значении коэффициента использования пассажироместимости $\gamma_c = 0,37$ будет достигаться безубыточная работа перевозчика. Например, замена ПТС работающих на маршруте в межпиковый период, при прочих равных условиях, на ПТС меньшей пассажироместимости вызывает одновременно уменьшение $S_{\text{км}}$ и рост γ_c и тем самым снижает убыточность работы ППТ. Это не приводит к увеличению времени на передвижение, и снижению качества транспортного обслуживания пассажиров.

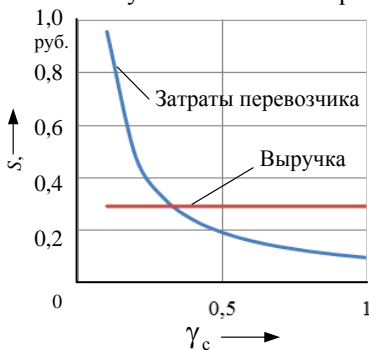


Рисунок 3.8 – Зависимость затрат S на 1 поездку пассажира от величины коэффициента использования вместимости ($S_{\text{км}} = 1,75$ руб./км, выручка за перевозку одного пассажира $V_{\text{пас}} = 0,17$ руб., $q_{\text{ср}} = 90$ пас., $l_{\text{ср}} = 4,93$ км)

Качество транспортного обслуживания пассажиров представляет собой совокупность свойств перевозочного процесса и системы перевозок пассажиров, обуславливающих соответствие их нормативным требо-

ваниям. Свойства перевозочного процесса и системы перевозок определяют объективную особенность уровня организации и осуществления перевозок пассажиров: уровень развития МС, затраты времени пассажира на передвижение в ПТС, на пешее передвижение, ожидание посадки, наполнение ПТС пассажирами, комфортабельность транспортного передвижения, регулярность движения ПТС, беспересадочность сообщения.

Уровень развития маршрутной системы определяет потенциальную доступность передвижения на ПТС. При определении уровня развития МС используют характеристику – *плотность маршрутной сети*, численно равную отношению суммарной длины маршрутов к площади обслуживаемой территории. Средняя плотность МС для городов, имеющих только автобусный транспорт, должна составлять 2,0–2,5 км/км². В случае одновременной работы в городе различных видов ГПМТ общая плотность МС может достигать 3,0–3,5 км/км². Превышение нормативной плотности МС приводит к увеличению числа пересечений маршрутов, в результате чего снижаются скорости движения ПТС, падает их провозная способность [21, 27, 29, 43].

Затраты времени пассажира на передвижение складываются из времени на пешее передвижение, на поездки и ожидания ПТС. Время, затрачиваемое пассажиром на ожидание, расходуется непроизводительно, в связи с этим затраты, связанные с осуществлением передвижения, необходимо проанализировать с целью их минимизации.

Затраты времени на пешее передвижение к остановке для посадки в ПТС в среднем равны времени пешего передвижения от остановки прибытия до цели поездки [46, с 167]:

$$T_{\text{пеш}} = \frac{60}{v_{\text{пеш}}} \left(\frac{1}{3\delta} + l_{\text{п}}/4 \right), \quad (3.39)$$

где $v_{\text{пеш}}$ – скорость пешего передвижения, км/ч; δ – средняя плотность МС, км/км²; $l_{\text{п}}$ – средняя длина перегона, км.

Анализ выражения (3.36) свидетельствует о том, что уменьшение времени на пешее передвижение достигается за счет увеличения плотности МС или снижения средней длины перегона на маршруте. Согласно ТКП 45-3.03-227-2010 [90] расстояние между ОП ГПМТ составляет 0,35–0,6 км, для скоростных и экспрессных маршрутов – 0,8–1,2 и 1,5 км соответственно. Правилами перевозок пассажиров [7] установлено расстояние между ОП: при многоэтажной застройке – 350–800 м, малоэтажной – 500–1000 м. При сложившемся уровне развития МС города и плотности застройки время пешего передвижения остается неизменным [153].

Затраты времени на ожидание посадки определяются тремя факторами: интервалом движения, точностью соблюдения расписания, вместимостью (количеством) ПТС [46, с. 167]:

$$T_{\text{ож}} = I/2 = (0,5 + P_{\text{отк}}) I_{\text{эф}}; \quad (3.40)$$

$$I = t_o / A_{\text{м}}. \quad (3.41)$$

Подставив выражение (2.30) в (2.24), после преобразований получим

$$I = 60q / Q_{\text{мах}}. \quad (3.42)$$

Из выражения (3.42) следует, что увеличение вместимости ПТС приводит к росту интервала их движения на маршруте при неизменном значении величины пассажиропотока в рассматриваемый период (рисунок 3.9), что в свою очередь приводит к увеличению времени ожидания ПТС и отрицательно сказывается на качестве транспортного обслуживания пассажиров [153].

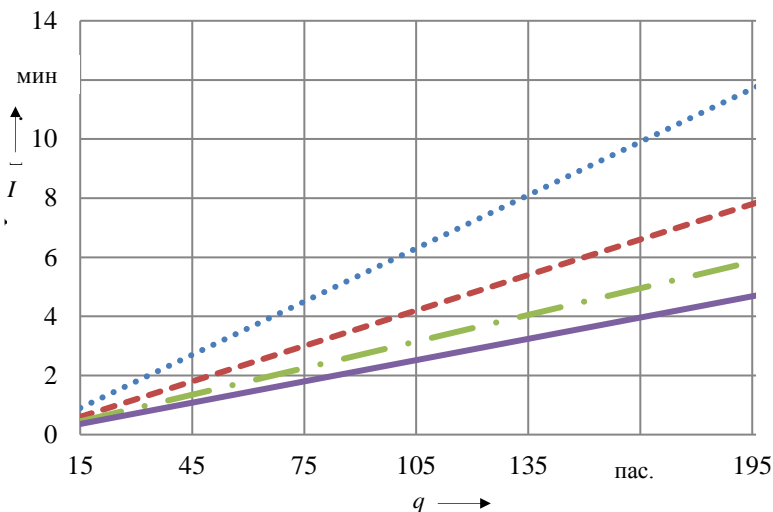


Рисунок 3.9 – Зависимость величины интервала движения ПТС от их вместимости, при различных значениях часового пассажиропотока Q пас./ч:

..... – 1000; - - - - - – 1500; - · - - - - – 2000; ————— – 2500

Среднее время движение ПТС по маршруту может быть определено по формуле [27, 43, с. 79]

$$t_{\text{дв}} = l_{\text{м}} / v_{\text{с}} \quad (3.43)$$

или

$$t_{\text{дв}} = l_{\text{м}} / v_{\text{т}} + n t_{\text{ост}}, \quad (3.44)$$

где $l_{\text{м}}$ – длина маршрута, км; $v_{\text{с}}$ – скорость сообщения ПТС на маршруте, км/ч; $v_{\text{т}}$ – техническая скорость движения ПТС, км/ч; n – количество ОП на маршруте, ед; $t_{\text{ост}}$ – продолжительность остановки на промежуточных ОП, ч.

Сократить затраты времени пассажира на передвижение можно за счет повышения скорости сообщения или технической скорости, уменьшения время простоя на промежуточных ОП и сокращения затрат времени на ожидание посадки. Скорость сообщения зависит, с одной стороны, от характеристик транспортного потока и системы организации дорожного движения на маршруте, а с другой – от тягово-скоростных и технико-эксплуатационных характеристик ПТС, количества и длительности остановок ПТС на маршруте для посадки-высадки пассажиров. На рисунке 3.10 представлены зависимости времени в движении по маршруту от технической скорости при различных значениях времени стоянки ПТС на ОП [153].

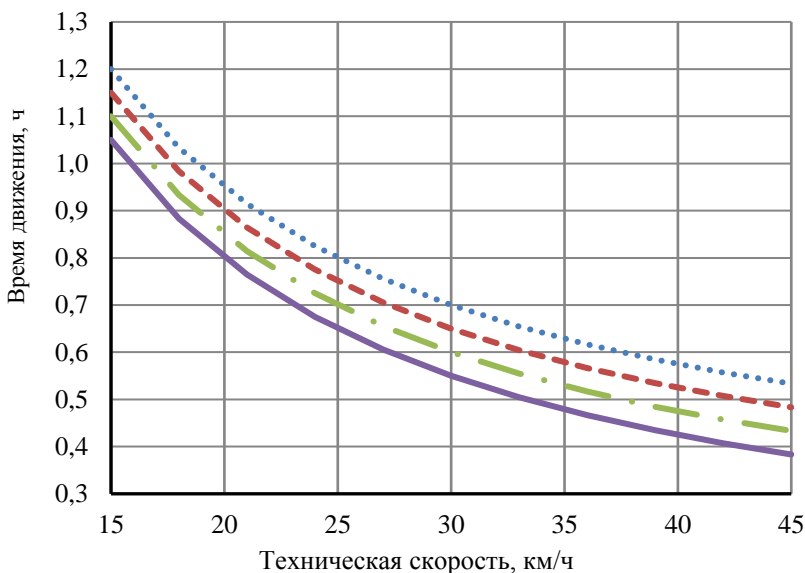


Рисунок 3.10 – Зависимость времени в движении по маршруту от технической скорости при различных значениях времени стоянки ПТС на ОП, с:

..... – 60; - - - - 45; — · — · — 30; ————— 15

Анализ зависимостей показывает, что величина времени стоянки на ОП существенно не влияет на время в движении ПТС на маршруте, а ее сокращение вызовет снижение качества перевозки пассажиров за счет ухудшения условий посадки-высадки пассажиров в ПТС.

Наполнение ПТС пассажирами во внутригородском сообщении характеризуют *статическим коэффициентом использования вместимости* (γ_c). Общая вместимость ПТС определяется суммой мест для проезда сидя и стоя. Статический коэффициент использования вместимости численно равен отношению числа пассажиров, фактически находящихся в ПТС q_{ϕ} , к его номинальной вместимости q_n [46, с. 171]:

$$\gamma_c = q_{\phi} / q_n, \quad (3.45)$$

где q_{ϕ} – количество пассажиров, фактически находящиеся в ПТС, пас.; q_n – номинальная вместимость ПТС, пас.

Степень использования ПТС в течение суток характеризуется *динамическим коэффициентом использования вместимости* (γ_d), который численно равен отношению фактически выполненной транспортной работы за сутки

(P_{ϕ}) к максимально возможной (P_{\max}) и определяется по формуле [43, с. 78]

$$\gamma_d = P_{\phi} / P_{\max}, \quad (3.46)$$

где P_{ϕ} , P_{\max} – фактически выполненная и максимально возможная транспортная работа за сутки, пас.км/сут.

Комфортабельность транспортного передвижения. Понятие «комфорт» применительно к городским перевозкам характеризуется комфортом ожидания поездки, посадки в ПТС и поездки.

Комфорт *ожидания поездки* обеспечивается оборудованием и содержанием в надлежащем порядке ОП маршрутов и путей подхода к ним.

Регулярность движения ПТС – свойство следующих друг за другом ПТС прибывать в заданные пункты через равные промежутки времени. При малых интервалах движения (не свыше 10–15 мин) с точки зрения пассажира регулярным будет движение ПТС с равными интервалами. С точки зрения качества исполнения расписания движения имеет значение точность его исполнения.

Коэффициент регулярности движения ПТС – показатель, применяемый для количественной оценки регулярности движения. Он определяется отношением числа рейсов, выполняемых в соответствии с расписанием движения, к числу рейсов, предусмотренных заданным расписанием [27, 43, 46].

Беспересадочность сообщения – возможность пассажиру совершить поездку без пересадки в пути следования. Количественно этот показатель характеризуется *коэффициентом пересадочности* $K_{\text{п}}$, который показывает среднее количество посадок, приходящееся на одну поездку, которое не должно превышать одной, в противном случае это создает дополнительные неудобства пассажирам [27, 43, 46].

Коэффициент пересадочности зависит от планировочной структуры города, типологии МС, наличия скоростного и экспрессного сообщений и находится в пределах от 1,1 при численности населения города до 250 тыс. чел. до 1,4 при численности свыше 1 млн чел. [29, 46]. На основе оценки качества по каждому отдельно взятому показателю (дифференциальных оценок качества) устанавливают комплексную (интегральную) оценку качества, характеризующую совокупное качество всех учитываемых показателей [82–89].

Таким образом, проанализировав управляемые и неуправляемые факторы и их влияние на ПГМТ, определим выходные параметры СГПМТ (рисунок 3.11) [153].

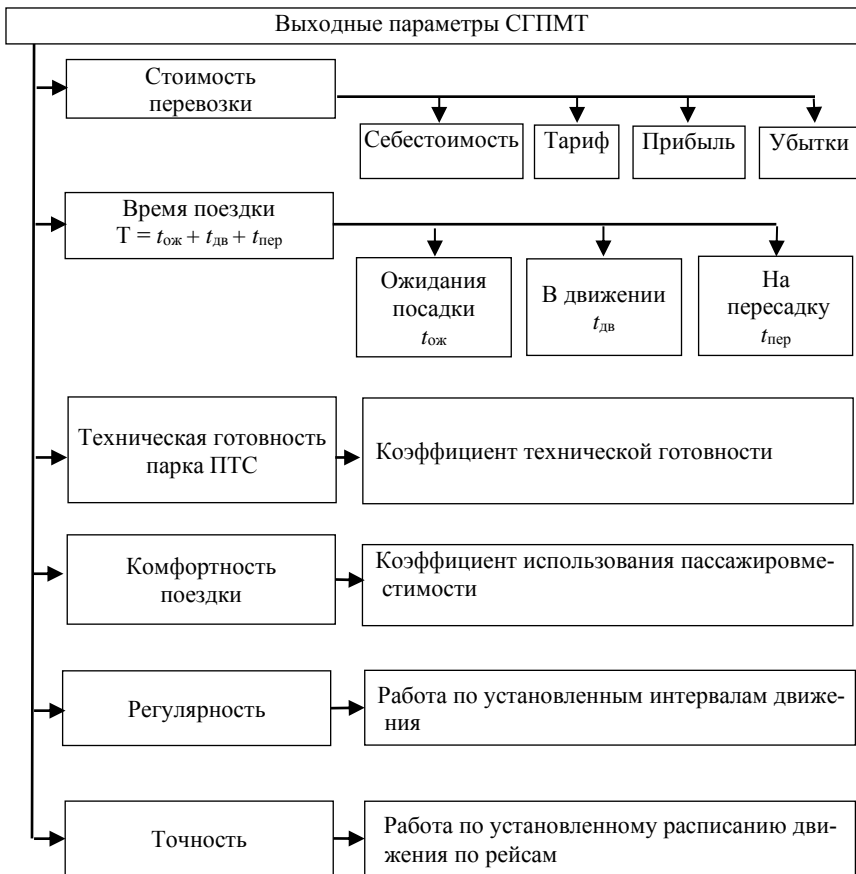


Рисунок 3.11 – Выходные параметры СГПМТ

Учитывая вышесказанное, целевая функция, выражающая снижение затрат на организацию и осуществление перевозок пассажиров Z , руб., позволяющее достичь повышения самоокупаемости и качества перевозок пассажиров ГПМТ на основе оптимизации вместимости и интервалов движения ПТС, рационального их распределения по маршрутам и выбора рациональной формы организации работы на маршруте, может быть представлена следующим образом [153]:

$$Z = Z_{\text{онт}} + Z_{\text{рм}} + Z_{\text{ф}} \rightarrow \min, \quad (3.47)$$

где $Z_{\text{онт}}$ – потери от использования ПТС неоптимальной вместимости, руб.; $Z_{\text{рм}}$ – потери, вызванные неоптимальным распределением ПТС по маршру-

там, руб.; Z_{ϕ} – потери СГПМТ от нерациональной формы организации работы ПТС на маршруте, руб.

Потери от использования ПТС неоптимальной вместимости определяются как сумма потерь $Z_{\text{ч.ij}}$, вызванных их работой на j -м маршруте в i -й период времени в течение суток:

$$Z_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{\text{ч.ij}} \rightarrow \min_q, \quad (3.48)$$

где m – количество часов в сутках, $m = 24$; i – период времени работы ПТС на маршрутах, $i = \overline{1, m}$; n – количество маршрутов, по которым организовано движение ПТС при перевозке пассажиров; j – порядковый номер маршрута перевозки пассажиров ГПМТ, $j = \overline{1, n}$.

Потери, вызванные неоптимальным распределением ПТС по маршрутам, выражаются суммой затрат, вызванных работой ПТС k -й вместимости на j -м маршруте в i -й час суток, отличающейся от оптимального:

$$Z_{\text{рм}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r Z_{\text{рм.ijk}} \rightarrow \min. \quad (3.49)$$

Потери СГПМТ от нерациональной формы организации работы ПТС на маршруте определяются как сумма затрат при работе по доведенному до пассажира расписанию движения по рейсам или интервалу на j -м маршруте в i -й час суток:

$$Z_{\phi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \begin{cases} Z_{\text{р.ij}} & \text{если } Z_{\text{р.ij}} \leq Z_{\text{н.ij}} \\ Z_{\text{н.ij}} & \text{если } Z_{\text{р.ij}} > Z_{\text{н.ij}} \end{cases} \rightarrow \min_l. \quad (3.50)$$

Подставив выражения (3.48)–(3.50) в формулу (3.47), получим

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{\text{ч.ij}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r Z_{\text{рм.ijk}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \begin{cases} Z_{\text{р.ij}} & \text{если } Z_{\text{р.ij}} \leq Z_{\text{н.ij}} \\ Z_{\text{н.ij}} & \text{если } Z_{\text{р.ij}} > Z_{\text{н.ij}} \end{cases} \rightarrow \min. \quad (3.51)$$

Таким образом, выражение (3.51) представляет собой целевую функцию, выражающую снижение затрат на организацию и осуществление перевозок пассажиров на основе оптимизации вместимости и интервалов движения ПТС, рационального их распределения по маршрутам и выбора формы организации работы.

3.3 Определение оптимального значения вместимости пассажирского транспортного средства

Одной из причин низкого наполнения ПТС является их неоптимальная пассажировместимость. Завышенная вместимость снижает средний коэффициент ее использования или увеличивает интервалы движения ПТС, заниженная – повышает затраты за счет применения менее эффективных ПТС. Движение ПТС с большими интервалами или высокий коэффициент использования пассажировместимости (около 1,0) снижают качество обслуживания пассажиров. Поэтому пассажировместимость ПТС подлежит оптимизации.

В качестве критерия оптимальности принимается минимум целевой функции Z_q , руб., в виде суммы затрат S_{Π} , возникающих при выполнении перевозок, и потерь времени пассажиров от ожидания ПТС на ОП за период времени Π_{Π} , (1 ч) [133, 136]:

$$Z_q = S_{\Pi} + \Pi_{\Pi} = \min_q, \quad (3.52)$$

где S_{Π} – затраты ППТ, возникающие при организации и выполнении перевозок пассажиров, руб./ч; Π_{Π} – стоимостное выражение потерь времени пассажиров от ожидания ПТС на ОП за час, руб./ч; q – значение вместимости ПТС, пас.

Величина часовых потерь описывается формулой

$$S_{\Pi} = S_o n_o, \quad (3.53)$$

где S_o – величина затрат за один оборот ПТС на маршруте перевозок пассажиров, руб./об.;

$$S_o = l_o s_{\text{км}} + t_o s_{\text{ч}}, \quad (3.54)$$

где l_o – длина оборотного рейса на маршруте, км; $s_{\text{км}}$ – затраты на 1 км пробега ПТС на маршруте, руб./км; t_o – длительность периода оборота на маршруте, ч; $s_{\text{ч}}$ – затраты на 1 час работы ПТС на маршруте, руб./ч; n_o – число оборотов, совершаемых ПТС на маршруте перевозок за 1 ч, об/ч.

Длина оборотного рейса определяется из характеристики маршрута. Длительность периода оборота определяется на основе характеристик маршрута и работающих на нем ПТС:

$$t_o = l_o / v_{\text{то}} + t_{\text{ок}}, \quad (3.55)$$

где $v_{\text{то}}$ – средняя техническая скорость ПТС за оборот на маршруте, км/ч; $t_{\text{ок}}$ – суммарное время простоя на промежуточных и конечных ОП на маршруте за оборот, ч.

Величины $S_{км}$ и $S_{ч}$ могут быть выражены формулами [147]

$$S_{км} = a_{км1} + a_{км2}q; \quad (3.56)$$

$$S_{ч} = a_{ч1} + a_{ч2}q, \quad (3.57)$$

где $a_{км1}$, $a_{км2}$, $a_{ч1}$, $a_{ч2}$ – параметры зависимостей, определяемые на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Значение n_o определяется формулой

$$n_o = n_{ч} = A_m / t_o, \quad (3.58)$$

где $n_{ч}$ – частота движения ПТС на маршруте, ед/ч; A_m – число ПТС, работающих на маршруте, ед.

С другой стороны, требуемая частота движения ПТС определяется по наиболее напряженному участку маршрута по формуле

$$n_{ч} = Q_{пч} / q, \quad (3.59)$$

где $Q_{пч}$ – максимальный часовой пассажиропоток по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении, пас./ч.

Стоимостное выражение потерь времени пассажиров от ожидания ПТС при работе их по интервалу движения

$$\Pi_{п} = Q_{общ.ч} C_{пч} \frac{I}{2} = Q_{общ.ч} C_{пч} \frac{1}{2n_{ч}}, \quad (3.60)$$

где $Q_{общ.ч}$ – общий часовой объем перевозок пассажиров на маршруте, пас./ч.; $C_{пч}$ – стоимость потерь времени ожидания пассажира, руб./пас.ч; I – интервал движения ПТС на маршруте ($I = 1/n_{ч}$).

В свою очередь значение $Q_{общ.ч}$ может быть выражено формулой

$$Q_{общ.ч} = 2Q_{ср.ч} \eta_{см} = \frac{2Q_{пч} \eta_{см}}{K_{нер}}; \quad (3.61)$$

при этом

$$K_{нер} = Q_{пч} / Q_{ср.ч}; \quad (3.62)$$

$$\eta_{см} = l_o / l_{ср}, \quad (3.63)$$

где $K_{нер}$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам

маршрута за оборот ПТС; $Q_{\text{ср.ч}}$ – среднечасовая общая загрузка ПТС при движении на маршруте, пас.; $\eta_{\text{см}}$ – средний коэффициент сменности пассажиров за один рейс ПТС на маршруте; $l_{\text{ср}}$ – среднее расстояние поездки одного пассажира на маршруте, км.

После подстановок получаем, что $S_{\text{п}}$, $\Pi_{\text{п}}$ и $Z_{\text{ч}}$ определяются следующими выражениями:

$$S_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{пч}}}{q(l_{\text{o}}(a_{\text{км1}} + a_{\text{км2}}q) + t_{\text{o}}(a_{\text{ч1}} + a_{\text{ч2}}q))}; \quad (3.64)$$

$$\Pi_{\text{п}} = qC_{\text{пч}}\eta_{\text{см}}/K_{\text{нер}}; \quad (3.65)$$

$$Z_{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{пч}}}{q(l_{\text{o}}(a_{\text{км1}} + a_{\text{км2}}q) + t_{\text{o}}(a_{\text{ч1}} + a_{\text{ч2}}q))} + \frac{qC_{\text{пч}}\eta_{\text{см}}}{K_{\text{нер}}}. \quad (3.66)$$

Графическая зависимость величины затрат на организацию перевозок пассажиров и потерь пассажиров от ожидания ПТС на ОП при работе их по интервалу движения от вместимости ПТС, работающих на отдельно взятом маршруте при следующих исходных данных: $Q_{\text{пч}} = 1000$ пас., $l_{\text{o}} = 30$ км, $a_{\text{км1}} = 0,26$ руб./км, $a_{\text{км2}} = 0,0029$ руб./км, $v_{\text{то}} = 30$ км/ч, $t_{\text{ок}} = 0,2$ ч, $a_{\text{ч1}} = 8,15$ руб./ч, $a_{\text{ч2}} = 0,031$ руб./ч, $C_{\text{пч}} = 1,28$ руб./пас.ч, $K_{\text{нер}} = 1,80$, $\eta_{\text{см}} = 2,50$ показана на рисунке 3.12.

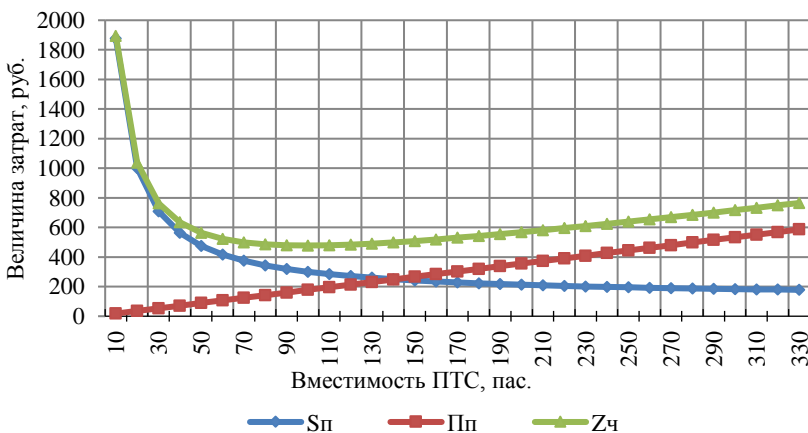


Рисунок 3.12 – График зависимости величины часовых потерь $Z_{\text{ч}}$ от вместимости ПТС, работающих на маршруте

Анализ графика зависимости величины затрат от вместимости ПТС,

работающих на маршруте (см. рисунок 3.12), подтверждает высказанные ранее предположения о том, что при увеличении вместимости ПТС, работающего на маршруте, затраты ППТ на организацию перевозки снижаются, и в то же время потери пассажиров, вызванные ожиданием ПТС на ОП, увеличиваются. Минимум целевой функции при заданных условиях достигается при выполнении перевозок ПТС вместимостью $q_{\text{опт}} = 100$ пас.

Аналитически оптимальное значение $q_{\text{опт}}$ определяет производная от Z_q (3.66) по q , приравненная к нулю. В результате преобразований имеем

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{пч}} K_{\text{пер}} [l_o a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} (l_o / v_{\text{то}} + t_{\text{ок}})]}{C_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}}, \quad (3.67)$$

или, учитывая, что $t_o = (l_o / v_{\text{то}} + t_{\text{ок}})$, получаем

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{пч}} K_{\text{пер}} (l_o a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} t_o)}{C_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}}. \quad (3.68)$$

Однако значение $Q_{\text{пч}}$ изменяется в течение суток, а вместимость единицы ПТС, работающей на маршруте, остается постоянной. Поэтому решение должно приниматься по минимуму значения целевой функции:

$$Z_q = \sum_{i=1}^m Z_{qi} = \min_q, \quad (3.69)$$

где Z_{qi} – значение целевой функции для i -го часа суток; m – число часов за суточный период, в течение которых выполняются перевозки пассажиров на маршруте.

После преобразований получаем

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2Q_{\text{пч.ср}} K_{\text{пер}} [l_o a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} (l_o / v_{\text{то}} + t_{\text{ок}})]}{C_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}}, \quad (3.70)$$

или

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2Q_{\text{пч.ср}} K_{\text{пер}} (l_o a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} t_o)}{C_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}}, \quad (3.71)$$

где $Q_{\text{пч.ср}}$ – среднечасовой пассажиропоток на наиболее загруженном участке маршрута по периодам, когда работа ПТС на маршруте организована без информирования пассажиров о расписании движения по рейсам, пас./ч.

Если известно только значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{\text{общ.ч}}$, и, зная, что

$$Q_{\text{общ.ч}} = 2Q_{\text{пч.ср}} K_{\text{вн}} \eta_{\text{см}} = \frac{2Q_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}{K_{\text{нер}}}, \quad (3.72)$$

подставив (3.72) в (3.68), получим

$$q_{\text{опт}} = \frac{K_{\text{нер}}}{\eta_{\text{см}}} \sqrt{\frac{Q_{\text{общ.ч}} K_{\text{вн}} (l_0 a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} t_0)}{2C_{\text{пч}}}}, \quad (3.73)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока.

Проанализируем изменение отношения удельных затрат на перевозку пассажира на километр пробега и час работы ПТС к величине стоимости пассажиро-часа $C_{\text{пч}}$ под влиянием инфляционных процессов.

В статистическом анализе существует система показателей, отражающих однородность явлений и устойчивость процессов. Средние, рассчитанные для однородной совокупности, – значимы, т.е. действительно характеризуют эту совокупность, для неоднородной совокупности – незначимы, не характеризуют совокупность из-за значительного разброса значений признака в совокупности. Вариация показателя отражает изменчивость процесса или явления. Ее степень может измеряться с помощью нескольких показателей:

1) размаха вариации – разницы между максимумом и минимумом. Отражает диапазон возможных значений;

2) среднего линейного отклонения – отражает среднее из абсолютных (по модулю) отклонений всех значений анализируемой совокупности от их средней величины;

3) дисперсии – среднего квадрата отклонений;

4) среднеквадратического отклонения – корня из дисперсии (среднего квадрата отклонений);

5) коэффициента вариации – наиболее универсального показателя, отражающего степень разбросанности значений независимо от их масштаба и единиц измерения, что является ценной статистической характеристикой. Измеряется в процентах и может быть использован для сравнения вариации различных процессов и явлений.

На основании исследования отчетно-статистической информации автобусных парков и официальной статистики получены значения удельных затрат на километр пробега и час работы ПТС и величины минимальной заработной платы (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Изменение удельных затрат на километр пробега и час работы ПТС и величины минимальной заработной платы за период с 2011 года

Дата	Значение показателя				
	$a_{ч1}$	$a_{ч2}$	$a_{км1}$	$a_{км2}$	МинЗП
01.01.2011	11568	117,58	462,94	5,5258	460000
01.04.2011	14428	106,41	501,49	6,8136	491920
26.05.2011	14494	107,51	596,56	8,5938	541350
29.07.2011	14494	107,51	687,89	10,466	611730
21.09.2011	17566	119,11	749,46	11,479	778500
01.11.2011	18621	120,16	799,84	12,968	925520
16.11.2011	21149	123,75	883,59	14,147	925520
12.12.2011	21977	126	977,19	15,388	925520
05.03.2012	25812	150,72	1101,7	16,357	1000000
20.04.2012	30756	166,41	1199,5	17,448	1000000
21.05.2012	33584	184,63	1339,8	18,096	1047550
01.08.2012	36297	195,95	1456,2	18,03	1104640
01.09.2012	39415	208,82	1573,3	17,375	1104640
20.10.2012	40247	203,39	1621,4	17,839	1109120
01.12.2012	43312	209,78	1722	18,04	1171610
01.02.2013	44144	214,06	1783,7	18,753	1395000
01.06.2013	49801	250,47	1851	18,897	1395000
01.07.2013	55271	263,67	1928	18,934	1395000
10.09.2013	73876	126,07	1831,6	20,667	1464790
26.09.2013	73876	126,07	1926,8	21,31	1464790
01.11.2013	82885	132,38	2005,1	21,984	1466230
10.01.2014	82885	132,38	2107,3	22,716	1660000
01.06.2014	78145	225,97	2107,5	23,392	1747300
14.07.2014	78145	225,97	2150,2	24,398	1756730
20.09.2014	77706	251,74	2347,5	24,783	1756730
01.11.2014	79704	246,72	2455,9	26,287	1841483
14.05.2015	78487	254,76	2455,9	26,287	2100100
01.07.2015	78487	254,76	2455,9	26,287	2180126
01.09.2015	83883	218,23	2460,5	26,314	2180126
12.05.2016	82826	226,08	2532,6	25,78	2300000
01.06.2016	8,2826	0,0226	0,2533	0,0026	230
01.01.2017	8,2849	0,0226	0,2538	0,0026	265
01.09.2017	9,4259	0,0145	0,2369	0,0027	265

Расчеты подтверждают высказанное ранее предположение о том, что под влиянием инфляционных процессов происходит практически пропорциональное изменение величин стоимости пассажиро-часа $C_{пч}$ и затрат на кило-

метр $a_{км1}$ и час работы транспортных средств $a_{ч1}$ (таблица 3.3). В статистике принято, что если коэффициент вариации меньше 10 %, то степень рассеивания данных считается незначительной, от 10 до 20 % – средней, больше 20 % и меньше или равно 33 % – значительной. Если же значение коэффициента вариации не превышает 33 %, то совокупность считается однородной, больше 33 % – неоднородной.

Таблица 3.3 – Расчет показателей вариации

Показатель	Значение показателя	
	$(a_{ч1} + qa_{ч2}) / C_{птч}$	$(a_{км1} + qa_{км2}) / C_{птч}$
Среднее значение	0,050	0,003
Размах вариации	0,0325	0,0012
Среднее линейное отклонение	0,006370363	0,000000201
Дисперсия	0,0001	0,0000
Среднеквадратичное отклонение	0,008	0,0003
Коэффициент вариации	15,47	11,01

Расчетная вместимость ПТС существенно не изменяется при различных значениях величины пассажиропотока и остается практически неизменной при увеличении стоимости пассажиро-часа, вызванной инфляционными процессами, что подтверждается графиком зависимости вместимости ПТС от изменения стоимости пассажиро-часа под влиянием экономических факторов (рисунок 3.13).

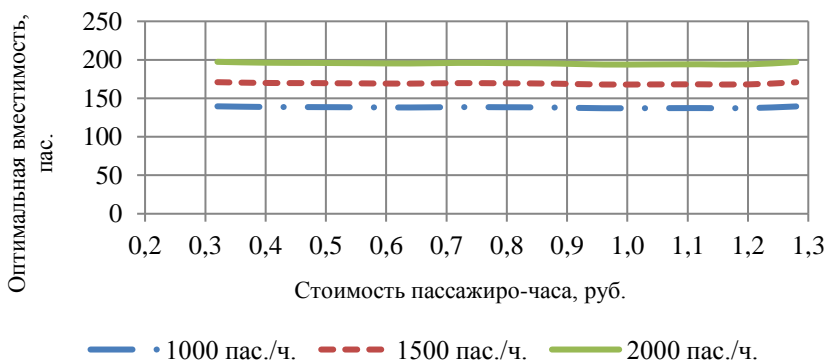


Рисунок 3.13 – График зависимости оптимальной вместимости ПТС от изменения стоимости пассажиро-часа под влиянием инфляционных процессов, при различных значениях величины пассажиропотока

Таким образом, получена зависимость, позволяющая определять рациональное значение пассажировместимости единицы ПТС с учетом суточной

изменчивости пассажиропотоков по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении $Q_{пч}$, пас./ч [формула (3.68)], и общечасового объема перевозок пассажиров $Q_{общ.ч}$, пас., на маршруте [формула (3.73)].

3.4 Распределение пассажирских транспортных средств по маршрутам

Важным резервом повышения эффективности работы ГПМТ является оптимизация распределения ПТС для конкретного периода времени (час, смена, день) на маршруте. Оно должно максимально соответствовать минимизации целевой функции (3.44) за счет применения ПТС с пассажироместимостью, близкой к оптимальной, и движения их с оптимальным интервалом.

Необходимость решения задачи распределения ПТС по маршрутам определяется следующими факторами: открытием или закрытием городских маршрутов; изменением условий движения на маршрутах (например, уточнение времени на рейс); получением более точных и полных данных о пассажиропотоках; изменением в составе парка ППТ (пополнение или списание части ПТС), а также перераспределением пассажиропотока между городскими маршрутами и по часам суток.

Так как с течением времени наблюдаются закономерные изменения интенсивности пассажиропотоков, эти зависимости справедливы для времени, не превышающем период стационарности пассажиропотока. Под этим периодом понимают интервал времени, в течение которого не происходит заметного изменения средней интенсивности пассажиропотоков. Отсюда в течение каждого периода нестационарности среднюю интенсивность пассажиропотоков считают постоянной [27, 43]. Это согласуется с тем фактом, что задача распределения ПТС по маршрутам решается для каждого из таких периодов, так как в противном случае меняется сама потребность в ПТС на маршрутах и требуется иной вариант распределения [155, 154, 136].

При распределении ПТС по маршрутам должны быть минимизированы потери времени пассажиров на ожидание посадки по всей МС, что для времени ожидания достигается выбором меньших интервалов движения на маршрутах с большим пассажиропотоком. Критерием оптимизации в данном случае выступает минимум потерь, вызванных работой на маршрутах ПТС неоптимальной вместимости. Целевая функция для оптимизации распределения ПТС по маршрутам за день имеет вид [153]

$$Z_{pm} = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n (Q_{вмикj} C_{ikj}) \rightarrow \min. \quad (3.74)$$

Поскольку значение $Q_{\text{вм}k}$ изменяется в течение суток, целесообразно в качестве расчетного периода для оптимизации распределения ПТС по маршрутам принять период изменения требуемой пассажировместимости, т.е. один час. С учетом последнего решение должно приниматься по минимуму значения целевой функции:

$$Z_{\text{рм}} = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n (Q_{\text{вм}kj} C_{kj}) \rightarrow \min, \quad (3.75)$$

где C_{kj} – стоимость работы ПТС k -го типоразмера на j -м маршруте, руб./пас.

При этом необходимо учитывать, что количество ПТС k -й вместимости, работающих на j -м маршруте в i -й час суток (A_{kij}), не должно превышать числа технически исправных ПТС k -й вместимости, имеющихся в распоряжении ППТ:

$$\sum_{j=1}^n A_{kij} \leq \alpha_{\text{т}k} A_k, \quad (3.76)$$

где $\alpha_{\text{т}k}$ – коэффициент технической готовности ПТС k -й вместимости.

Такая постановка задачи отыскания оптимального распределения ПТС является транспортной задачей линейного программирования, которая решается с применением одного из существующих алгоритмов [99].

Задача состоит в оптимальном распределении ПТС и может быть поставлена в следующем виде [134]:

1) имеются ресурсы к распределению в виде общей пассажировместимости $Q_{\text{вм}k}$ различных ПТС k -х типоразмеров общим числом r ($k = \overline{1, r}$). Значение $Q_{\text{вм}k}$ определяются как произведение числа технически исправных ПТС k -го типоразмера на соответствующую пассажировместимость одного ПТС:

$$Q_{\text{вм}k} = \sum_{k=1}^r A_k q_k, \quad (3.77)$$

где A_k – число ПТС k -й вместимости, ед.; q_k – вместимость ПТС k -го типоразмера, пас.;

2) имеется потребность в ресурсах на j -х маршрутах в i -й период времени в виде требуемой оптимальной пассажировместимости ПТС $Q_{\text{опт}ji}$ ($j = \overline{1, n}$). Общее число маршрутов n ;

3) в качестве стоимости C_{kj} ($k = \overline{1, r}$; $j = \overline{1, n}$) для решения задачи устанавливается удельное значение затрат, определенных на основе целевой функции (3.46) в части, зависимой от пассажировместимости ПТС, в отношении к требуемой на маршруте пассажировместимости $Q_{\text{опт}ji}$:

$$C_{kj} = \frac{l_{oj}}{t_{oj}} \left(\frac{a_{км1k}}{q_k} + \frac{C_{пч} q_k}{2K_{вн}^2 K_{нер} l_{пч} Q_{пчj}} \right). \quad (3.78)$$

где l_{oj} – длина оборотного рейса ПТС на j -м маршруте, км; t_{oj} – длительность периода оборота на j -м маршруте, ч; $a_{км1k}$ – параметр зависимости затрат на 1 км пробега ПТС k -го типоразмера, руб./км; $K_{нер}$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам j -го маршрута за оборот ПТС; $K_{вн}$ – коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока; $l_{пч}$ – среднее расстояние поездки пассажира на j -м маршруте, км; $Q_{пчj}$ – максимальный часовой пассажиропоток по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении, пас./ч.

$$Q_{пч} = \frac{Q_{общ.ч} K_{нер}}{2K_{вн} \eta_{см}}. \quad (3.79)$$

Подставив выражение (3.79) в формулу (3.78), после преобразований получим формулу для определения C_{kj} , если известно только значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{общ.ч}$:

$$C_{kj} = \frac{l_{oj}}{t_{oj}} \left(\frac{a_{км1k}}{q_k} + \frac{C_{пч} q_k \eta_{см}}{K_{вн}^2 K_{нер} l_{пч} Q_{общ.ч}} \right). \quad (3.80)$$

Число ПТС k -й вместимости, назначаемых на j -й маршрут, определяется в соответствии с оптимальным значением $Q_{оптj}$ с учетом целочисленности работающих на маршруте ПТС и их общего числа по маркам и моделям.

Решение задачи оптимизации распределения ПТС по маршрутам обеспечит более высокий уровень качества транспортного обслуживания пассажиров, минимизацию потерь, вызванных работой парка ПТС неоптимальной структуры, и в конечном итоге обеспечит снижение себестоимости перевозок и сокращение непроизводительных затрат пассажиров на передвижение.

3.5 Выбор формы организации работы пассажирских транспортных средств на маршруте

Основной задачей организации движения ГПИТ является обеспечение высокого качества обслуживания пассажиров при минимальных издержках. Для повышения эффективности работы ГПИТ необходимо изменить форму организации работы ПТС на маршруте с целью сокращения затрат времени пассажиров на передвижение при сохранении достигнутого уровня качества их обслуживания [142].

Для перевозки пассажиров используются, как правило, ПТС различных моделей и вместимости. Однако эффективность их использования различна, если номинальная вместимость не соответствует фактической пассажиронапряженности на маршруте. Применение ПТС малой вместимости при большой величине пассажиропотоков увеличивает необходимое количество ПТС, повышает загрузку улиц и потребность в водителях. Использование же ПТС большой вместимости на маршрутах с пассажиропотоками малой мощности приводит к повышению интервалов движения и увеличению затрат времени пассажиров на ожидание.

Повысить эффективность работы ГПМТ в межпиковый период можно за счет сокращения времени ожидания пассажиров посадки в ПТС путем перехода от интервальной работы в часы «пик» на работу по расписанию движения по рейсам, доведенному до пассажира, в моменты спада пассажиропотоков. Задача состоит в определении количества ПТС (интервала движения), необходимых для освоения сложившегося пассажиропотока, а также в выборе формы организации работы (по расписанию или интервалу). Такая задача решается при переходе от пиковых периодов к внепиковым и обратно.

В качестве критерия определения момента изменения формы движения приняты суммарные затраты, включающие транспортные потери от снижения пассажиропотока на МС, потери пассажиров, связанных с ожиданием поездки, и затрат перевозчика, обусловленных организацией процесса перевозки по различным формам работы (Z_p по расписанию и $Z_{ин}$ по интервалу).

Зависимость, позволяющая сделать выбор в пользу той или иной формы организации работы ПТС на линии, выглядит следующим образом:

$$Z_p \leq Z_{ин}; \quad (3.81)$$

$$Z_p = Q_{пчj} t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{A_p l_0}{t_0} S_{км} + A_p S_ч + (A_M - A_p) S_{ч.пр}; \quad (3.82)$$

$$Z_{ин} = Q_{пчj} t_{ож.и} C_{п.ч} + \frac{A_{ин} l_0}{t_0} S_{км} + A_{ин} S_ч + (A_M - A_{ин}) S_{ч.пр}, \quad (3.83)$$

где $Q_{п.ч.j}$ – часовой пассажиропоток на наиболее напряженном участке маршрута, пас./ч; $t_{ож.р}$, $t_{ож.и}$ – среднее время ожидания пассажиром посадки при работе по расписанию и интервалу, ч; $C_{п.ч}$ – стоимостная оценка потерь времени ожидания пассажира, руб./пас.ч; A_p и $A_{ин}$ – количество ПТС, работающих по расписанию и интервалу, ед.; l_0 – длина обратного рейса, км; A_M – расчетное количество ПТС для работы на маршруте с учетом резер-

ва, ед.; t_0 – время оборота на маршруте, ч; $S_{ч.пр.}$ – постоянные затраты, приходящиеся на час простоя ПТС без работы, руб./ч.

Количество ПТС, необходимых для перевозки пассажиров, рассчитывается по формуле [43, с. 142]

$$A_M = \frac{Q_{пч} t_0}{q_{опт} \gamma} = \frac{t_0}{I}, \quad (3.84)$$

где $q_{опт}$ – оптимальная вместимость ПТС, пас.; γ – коэффициент использования вместимости; I – интервал движения ПТС на маршруте, ч.

Количество ПТС, работающих по интервалу, рассчитывается по формуле

$$A_p = A_M K_{рез}, \quad (3.85)$$

где $K_{рез}$ – коэффициент резервирования ПТС для работы по расписанию, принимается в размере 18 %, от общего числа ПТС, работающих на маршруте [46, с. 135], $K_{рез} = 1,18$.

Оптимальное значение пассажироместимости единицы ПТС определяется формулой (3.70) [153]. Время ожидания $t_{ож.и}$, ч, при работе по интервалу рассчитывается по формуле [154]

$$t_{ож.и} = I/2. \quad (3.86)$$

Время ожидания при работе ПТС по расписанию $t_{ож.р}$ определяется на основе статистического анализа данных, полученных по результатам исследований [132–134, 154].

Подставив формулы (3.85) и (3.70) в выражения (3.83), (3.84), получим

$$Z_p = Q_{пчj} \left(t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{l_0}{q_p \gamma_p} S_{км} + \frac{t_0}{q_p \gamma_p} S_{ч} \right) + (A_M K_{рез} - \frac{Q_{пчj} t_0}{q_p \gamma_p}) S_{ч.пр}, \quad (3.87)$$

$$Z_{и} = Q_{пчj} \left(\frac{I}{2} C_{п.ч} + \frac{l_0}{q_{и} \gamma_{и}} S_{км} + \frac{t_0}{q_{и} \gamma_{и}} S_{ч} \right) + \left(A_M - \frac{Q_{пчj} t_0}{q_{и} \gamma_{и}} \right) S_{ч.пр}. \quad (3.88)$$

Выражение (3.87) показывает в стоимостном выражении сумму затрат пассажиров, связанных с ожиданием посадки, и затрат ППТ на организацию движения на маршруте по расписанию, а (3.88) – по интервалу. Если Z_p меньше либо равно $Z_{и}$, то целесообразна форма организации движения ПТС

по расписанию, в противном случае эффективнее будет работа по интервалу. Таким образом, получена система уравнений (3.87), (3.88), позволяющая принять решение об организации работы ПТС на маршруте по интервалу или расписанию. Графическая интерпретация зависимостей (3.87), (3.88) представлена на рисунке 3.14.

Как видно из графиков зависимости суммарных затрат, включающих транспортные потери от снижения пассажиропотока на МС, потерь пассажиров, связанных с ожиданием поездки, и затрат ППТ, обусловленных организацией процесса перевозки по расписанию [$Z_p = f(I)$] или интервалу [$Z_i = f(I)$], оптимальное значение интервала, при котором целесообразно организовывать работу ПТС по расписанию движения по рейсам, находится в диапазоне от 10 до 20 мин.

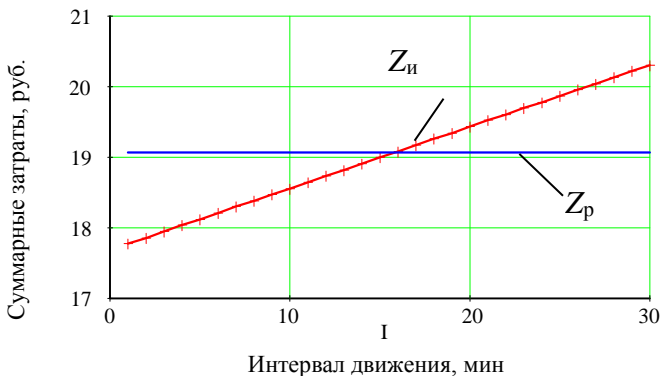


Рисунок 3.14 – Зависимость суммарных затрат при организации работы по расписанию Z_p и по интервалу Z_i от интервала движения ПТС на маршруте

Для нахождения численного значения величины интервала, при котором необходимо переходить на работу по интервалу, преобразуем выражения (3.87), (3.88) относительно I , полагая, что $q_p \gamma_p = q_i \gamma_i$ и $A_m = t_o / I$, получим:

$$Z_p = Z_i; \quad (3.89)$$

$$\begin{aligned} Q_{пчj} \left(t_{ож.р} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q \gamma} S_{км} + \frac{t_o}{q \gamma} S_{ч} \right) + \left(\frac{t_o}{I} K_{рез} - \frac{Q_{пчj} t_o}{q \gamma} \right) S_{ч.пр} = \\ = Q_{пчj} \left(\frac{I}{2} C_{п.ч} + \frac{l_o}{q \gamma} S_{км} + \frac{t_o}{q \gamma} S_{ч} \right) + \left(A_m - \frac{Q_{пчj} t_o}{q \gamma} \right) S_{ч.пр}. \end{aligned} \quad (3.90)$$

После преобразований получим

$$t_{\text{ож.р}} C_{\text{п.ч}} + \frac{t_o}{I} S_{\text{пр}} (K_{\text{рез}} - 1) - I \frac{C_{\text{п.ч}}}{2} = 0, \quad (3.91)$$

или

$$I t_{\text{ож.р}} C_{\text{п.ч}} + t_o S_{\text{пр}} (K_{\text{рез}} - 1) - I^2 \frac{C_{\text{п.ч}}}{2} = 0. \quad (3.92)$$

Таким образом, решив полученное выражение относительно I , получим:

$$I = \frac{\sqrt{(t_{\text{ож.р}} C_{\text{п.ч}})^2 + 2C_{\text{п.ч}} t_o S_{\text{пр}} (K_{\text{рез}} - 1) + t_{\text{ож.р}} C_{\text{п.ч}}}}{C_{\text{п.ч}}}; \quad (3.93)$$

$$I = \sqrt{t_{\text{ож.р}}^2 + \frac{2t_o S_{\text{пр}} (K_{\text{рез}} - 1)}{C_{\text{п.ч}}}} + t_{\text{ож.р}}, \quad (3.94)$$

где $S_{\text{пр}}$ – удельные приведенные затраты на содержание пассажирских транспортных средств в резерве, $S_{\text{пр}} = S_{\text{ч.пр}}/Q_{\text{пч.ж}}$, руб./пас.

На основании результатов исследований [156], а также сложившихся стоимостных показателей [101–106] произведем необходимые подстановки и получим

$$I = \sqrt{t_{\text{ож.р}}^2 + 0,01856} + t_{\text{ож.р}}. \quad (3.95)$$

С целью определения величины времени ожидания пассажиром посадки в ПТС по расписанию $t_{\text{ож.р}}$ проведены экспериментальные исследования на МС г. Гомеля. Для того чтобы по данным выборки можно было уверенно судить об интересующем признаке генеральной совокупности, необходимо, чтобы объекты выборки правильно его представляли. Выборка должна правильно представлять пропорции генеральной совокупности, т.е. она должна быть репрезентативной (представительной).

Согласно закону больших чисел можно утверждать, что выборка будет репрезентативной, если каждый объект выборки отобран случайно из генеральной совокупности и все объекты имеют одинаковую вероятность попасть в выборку. Если объем выборки велик, а выборка составляет незначительную часть совокупности, то различие между повторной и бесповторной выборками стирается. Суммарное количество возможных значений ограничено численностью населения города. На начало 2015 г. численность населения города составляет около 527 тыс. человек, из них трудоспособного возраста – 330 тыс. человек, ежедневно ГПМТ перевозит более 250 тыс. пас. [107]. Учитывая значительный объем генеральной совокупности, необходимо определить минимально необходимый объем выборки. Ее размер для бесповторного отбора может быть определен по формуле [40, с. 32]:

$$n \geq \frac{t^2 \delta^2 N_{\Gamma}}{\varepsilon^2 N_{\Gamma} + t^2 \delta^2}, \quad (3.96)$$

где t – значение нормированного отклонения при гарантированном уровне вероятности (при $P = 0,95$ $t = 1,96$ [108]); δ – среднее квадратическое отклонение; N_{Γ} – размер генеральной совокупности; ε – предельно допустимая ошибка (рекомендуется принимать 0,05 [108]).

Размер выборки для повторного отбора может быть определен по формуле [40, с. 32]

$$n \geq \frac{t^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}. \quad (3.97)$$

Так как до момента исследований нет представления о величине времени ожидания, математическом ожидании и среднее квадратическое отклонении начальной выборки, необходимо провести предварительный сбор данных для оценки параметров. Пробные исследования [156] проводились в течение суток на ОП, обслуживаемом маршрутом ГПМТ, на котором работа ПТС организована по расписанию. После обработки данных в программе «*Statistica*» [109, 132] установлено, что они подчиняются нормальному закону распределения. Графическое представление полученной закономерности представлено на рисунке 3.15. Основные статистики, рассчитанные также с помощью пакета «*Statistica*» приведены в таблице 3.4.

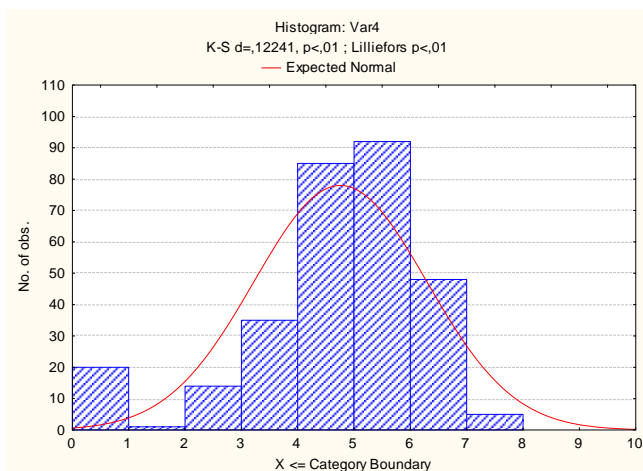


Рисунок 3.15 – Графическое представление закона распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Таблица 3.4 – Основные статистические характеристики распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Число наблюдений	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадратическое отклонение
300	4,76	0,50	8,00	1,53

Подставив полученные результаты в выражение (3.94), найдем размер выборочной совокупности для повторного отбора

$$n \geq (1,96^2 \cdot 1,53^2) / 0,05^2 = 3614 \text{ пас.}$$

Таким образом, для проведения требуемого анализа величины времени ожидания посадки при работе по доведенному до пассажира расписанию движения по рейсам необходимо получить выборочную совокупность из более чем 3614 значений. Полученные при проведении исследования данные [156] были обработаны с помощью пакета «Statistica». Статистической обработкой определены законы распределения случайных величин времени ожидания посадки. Установлено, что они подчиняются нормальному закону распределения. Основные статистики, рассчитанные также с помощью программы «Statistica», приведены в таблице 3.5. Графическое представление полученной закономерности представлено на рисунке 3.16.

Таблица 3.5 – Характеристики распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Число наблюдений	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадратическое отклонение	Стандартная ошибка
4562	5,19	0,10	10,20	1,50	0,02

В целом распределение значений анализируемого признака на рисунке 3.16 совпадает с нормальным. Это заключение, основанное на визуальном анализе распределения, имеет и более строгое подтверждение в виде результатов теста χ -квадрат (Chi-square test, см. в верхней части графика). Данный тест проверяет нулевую гипотезу о том, что наблюдаемое распределение признака не отличается от теоретически ожидаемого нормального распределения. Поскольку вероятность справедливости этой гипотезы P оказалась больше 0,05 (0,38201) и табличное значение $\chi^2_{0,05;8} = 15,51$ (где 8 – число степеней свободы, равное разности количества интервалов разбиения и числа исчисленных статистических характеристик [110–113]) больше расчетного, то можно сделать вывод о том, что гипотеза о нормальности распределения верна.

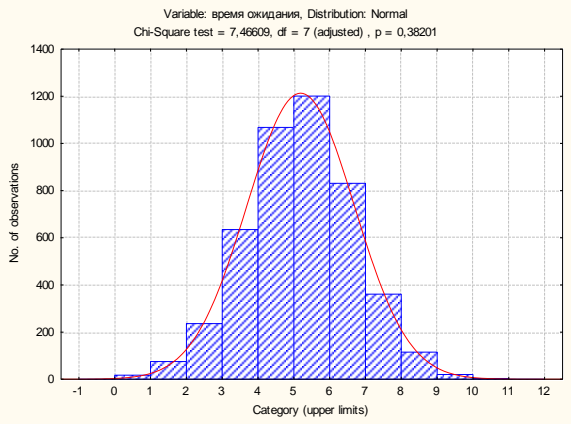


Рисунок 3.16 – Графический результат анализа, выполненного в модуле Distribution Fitting

Однако следует отметить, что мощность теста χ^2 при проверке нормальности распределения относительно невысока. Поэтому лучше воспользоваться другими тестами. Наиболее предпочтительным является использование *W*-критерия Шапиро–Уилка (рисунок 3.17), поскольку он обладает наибольшей мощностью в сравнении со всеми перечисленными критериями .

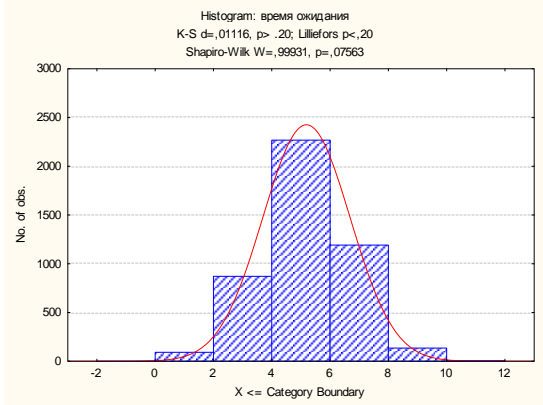


Рисунок 3.17 – Результат проверки нормальности распределения данных, выполненной при помощи модуля Descriptive Statistics

Как и ранее, при $P > 0,05$ следует вывод о том, что анализируемое распределение не отличается от нормального. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при работе по расписанию движения по рейсам среднее значение времени ожидания составляет

5,2 мин. Подставив полученные значения в формулу (3.93), получим

$$I = \sqrt{0,0867^2 + 0,01856} + 0,0867 = 0,25 \text{ ч.}$$

Следовательно, численное значение интервала, при достижении которого целесообразно организовывать работу по расписанию движения по рейсам, определенное на основе исследования МС, составляет 0,25 ч, или 15 мин.

Выводы. На основе анализа управляемых и неуправляемых факторов и их влияния на СГПМТ определены выходные параметры СГПМТ (см. рисунок 3.11). Исходя из критерия оптимальности Z_n , выраженного в минимизации суммы затрат S_n , возникающих при выполнении перевозок, и потерь пассажиров от ожидания ПТС на ОП за определенный период времени Π_n , получена зависимость (3.68) для определения оптимального значения пассажироместности единицы ПТС $q_{\text{опт}}$ с учетом суточной изменчивости пассажиропотоков $Q_{\text{пч}}$.

С целью обеспечения более высокого уровня качества обслуживания пассажиров и минимизации потерь, вызванных работой парка ПТС неоптимальной структуры разработан метод оптимального распределения ПТС по маршрутам. Применение результатов работы в практической деятельности обеспечит снижение себестоимости перевозок и сокращение непроизводительных затрат пассажиров на передвижение.

Для повышения эффективности работы ГПМТ необходимо изменить форму организации работы ПТС на маршруте с целью сокращения затрат времени на передвижение при сохранении достигнутого уровня качества обслуживания пассажиров. Установлены зависимости (3.87), (3.88), позволяющие принять решение об организации работы ПТС на маршруте по интервалу или расписанию движения по рейсам и повысить эффективность работы СГПМТ в межпиковый период за счет сокращения времени ожидания посадки при переходе от интервальной работы в часы «пик» на работу по расписанию движения по рейсам, доведенному до пассажира, в периоды спада пассажиропотоков. На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что при работе по доведенному до пассажиров расписанию движения по рейсам среднее значение времени ожидания составляет 5,2 мин. Получено и обосновано численное значение интервала, при достижении которого целесообразно организовывать работу по расписанию движения по рейсам, – 15 мин.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА ПО ЧАСАМ СУТОК НА МАРШРУТЕ

4.1 Объект и методика проведения исследований

Транспортные передвижения изучались в разрезе видов транспорта, целей и времени совершения поездки. В зависимости от целей рассматривались поездки:

- трудовые – на работу и с работы. Эти передвижения наиболее устойчивы и составляют 50–60 % поездок;
- учебные – поездки учащихся в учебные заведения и обратно, также имеют устойчивый характер с перерывами на время каникул;
- культурно-бытовые – поездки по различным личным и бытовым нуждам граждан, являющиеся эпизодическими и существенно зависящие от доходов социального статуса, рода занятий и возраста пассажиров;
- служебные, совершаемые в рабочее время пассажиром в связи с производственной необходимостью.

Трудовые и учебные поездки составляют до 3/4 от общего числа поездок. По интенсивности спроса на транспортное обслуживание выделяют следующие характерные периоды: начальный (с начала движения до 7 часов); утренний пик (с 7 до 9 ч); межпиковый период (с 9 до 16 ч); вечерний пик (с 16 до 18 ч); заключительный (с 20 ч до окончания движения).

Большую роль при организации движения пассажирского транспорта играет неравномерность распределения пассажиропотоков во времени и по отдельным участкам действующих маршрутов.

Изучение спроса населения на перевозки городским общественным транспортом проводится несколькими методами. Выбор того или иного метода зависит от целей использования собираемой информации, а также определяется организационно-техническими возможностями автотранспортного предприятия. Обследование пассажиропотоков на маршрутах проводится в целях совершенствования маршрутной системы города, организации движения подвижного состава на маршрутах, определения предполагаемой выручки за перевозки.

Для комплексного изучения подвижности населения, расселения и полных передвижений наиболее эффективным является *анкетный* способ проведения обследования. При необходимости получения только оперативной информации для решения транспортно-эксплуатационных задач предпочтительными являются натурные методы: *табличный, таблично-опросный, талонный, визуальный, силуэтный*.

Они связаны с обследованием действующей системы транспортного обслуживания населения и проводятся непосредственно на городском пассажирском транспорте.

Анкетный метод [150] основан на заполнении специальных анкет с перечнем вопросов, адресованных пассажирам, и позволяет получить исчерпывающие данные о поездках населения, что необходимо для совершенствования маршрутной сети города в целом. Этот метод позволяет выявить потребность в передвижениях по различным направлениям вне зависимости от существующей маршрутной сети. Организация анкетного обследования включает:

- выявление крупных пассажирообразующих и пассажиропоглощающих пунктов города (района);
- нанесение на карту всех обследуемых пунктов;
- разработку анкет опроса населения;
- выбор метода обработки полученных данных.

Недостатком метода является его большая трудоемкость, высокая стоимость, сложность и длительность обработки материалов.

Табличный метод основан на подсчете входящих и выходящих пассажиров и может применяться на остановочных пунктах и в подвижном составе. На остановочном пункте применяется в случае необходимости отмены остановки или оценки пересадочности в транспортных узлах. При обследовании поездок пассажиров в подвижном составе учетчики располагаются у входных дверей автобуса и фиксируют входящих и выходящих пассажиров на каждой остановке в специальной таблице. Исходя из количества обследуемых автобусов необходимое число учетчиков определяется соответственно общему количеству дверей. Перед обследованием уточняют списки с наименованием контрольных и остановочных пунктов обследуемых маршрутов по каждому направлению. Контролерам-учетчикам выдается таблица, на лицевой стороне которой фиксируются данные по прямому направлению движения, на оборотной – по обратному направлению. Предварительно учетчиком заполняется в таблице графа с наименованием всех остановочных пунктов обследуемого маршрута, а приступая к обследованию, учетчик заполняет данными верхнюю часть таблицы. Во время обследования учетчик записывает в таблице:

- время начала и окончания каждого рейса;
- количество вошедших и вышедших пассажиров через контролируемую дверь на каждой остановке;
- время проследования остановочных пунктов (заполняется только старшим учетчиком).

При отсутствии на остановочном пункте входящих и выходящих пассажиров в соответствующей графе учетчик ставит прочерк. В случае необходимости старший учетчик указывает в форме в виде примечания причины,

место, время начала и окончания всех задержек на линии продолжительностью более 5 мин. Пример заполнения формы табличного обследования представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Форма обследования пассажиропотоков на маршруте

Наименование маршрута – <u>Вокзал — Универсам</u> Номер путевого листа									
Марка автобуса – <u>МАЗ-103</u> Время выезда из гаража – <u>5.56</u>									
Номер автобуса – <u>АА5368</u> Номер выхода – <u>2</u>									
№ п/п	Время отправления	6.10		7.40		9.10		Всего за смену	
	Номер рейса	1		2		3			
	Остановочные пункты	В	С	В	С	В	С	В	С
1	Вокзал	9	–	13	–	15	–	37	–
2	Карповича улица	6	–	8	2	11	1	25	3
3	Коминтерн	10	2	15	2	14	–	39	4
4	Гагарина улица	3	4	7	7	10	3	20	14
5	Школа № 12	8	7	12	3	5	6	25	16
6	Октябрь	5	7	9	9	9	12	23	28
7	Чкалова улица	3	9	5	18	5	15	13	42
8	ЗПИ	1	7	3	12	1	9	5	28
9	Жукова улица	1	4	–	17	2	8	3	29
10	Универсам	–	6	–	2	–	18	–	26
Время прибытия		6.47		8.17		9.47		–	
В – вошло пассажиров.									
С – сошло пассажиров.									

Табличный метод является наиболее универсальным и позволяет определить все качественные и количественные показатели пассажирского потока: пассажиропотоки по длине, направлениям, часам суток; общий объем перевозок пассажиров; пассажирооборот; среднюю дальность поездки пассажиров. Недостатком данного метода является отсутствие данных о корреспонденциях пассажиров и пересадочности.

Таблично-опросный метод – разновидность табличного [59]. При данном обследовании пассажиру задается вопрос о конечном пункте следования по маршруту, и его ответ заносится в специальную таблицу учета. Полученная информация в данном случае идентична данным талонного обследования. При современных масштабах развития сети и размерах потоков такой вид обследования можно признать пригодным лишь для отдельных выборочных ситуаций, когда устанавливается или проверяется распределение по сети потока, зарождающегося у какого-то конкретного объекта или группы объектов.

Талонный метод позволяет получить достаточно точные сведения о корреспонденциях пассажиров, однако является наиболее сложным и трудоемким в организации и обработке материалов обследования. Он основан

на выдаче входящему в транспортное средство пассажиру специального талона с отметкой номера остановочного пункта посадки, который при выходе из автобуса сдается пассажиром учетчику. Учетчиком фиксируется в сданном талоне остановочный пункт высадки. Иногда на талонах предусмотрена фиксация наличия пересадки. Для снижения трудоемкости и уменьшения расходов в большинстве случаев предусматривают выборочные талонные обследования. Однако при охвате только части подвижного состава, особенно при неизбежных отклонениях от расписания, применение данного метода может привести к существенным искажениям результатов. Обработка и анализ материалов талонного обследования позволяют выявить: корреспонденции пассажиров; пассажирообмен остановочных пунктов; мощность пассажиропотока по длине маршрута, направлениям и часам суток; среднюю дальность поездки пассажиров.

Отчетно-статистический метод применяется при анализе выручки от перевозок пассажиров по маршруту по проданным билетам, что позволяет определить количество перевезенных по маршруту пассажиров, колебания количества пассажиров по направлениям, часам суток, дням недели.

Снижение трудоемкости и стоимости обследования пассажиропотоков обеспечивается применением автоматизированных методов обследования, позволяющих получать информацию в обработанном виде без участия учетчиков. Методы автоматизированного обследования в зависимости от типа регистраторов можно разделить на контактные, неконтактные, косвенные и комбинированные. Регистратор состоит из датчиков, блока регистрации данных и блока питания, подключаемого к бортовой электросети автобуса [59]. Датчики контактного типа – нажимные pedalные, монтируемые на ступенях, неконтактного типа – инфракрасные и ультразвуковые, устанавливаемые в дверных проемах. При косвенном учете перевозимых пассажиров используются устройства для одновременного взвешивания всех пассажиров автобуса с последующим делением общей массы на средний вес пассажира (70 кг). При комбинированном методе используется сочетание косвенного учета и бесконтактного метода регистрации пассажиров. Автоматизированные методы обследования пассажиропотоков обеспечивают непрерывное получение информации об объемах перевозок.

Работа по подготовке и проведению обследования должна осуществляться по заранее составленному плану, который разрабатывается с учетом конкретных условий проведения и возможностей организатора обследования. План включает три основные части:

- перечень работ, связанных с подготовкой проведения обследования;
- порядок проведения обследования;
- статистическую обработку материалов обследования.

Подготовка к проведению обследования включает:

- формулировку цели проведения обследования;

- выбор метода обследования;
- перечень маршрутов и остановок, подлежащих обследованию;
- определение периода обследования;
- расчет числа учетчиков, занятых на обследовании;
- оповещение населения о проводимых мероприятиях;
- инструктаж лиц, принимающих участие в обследовании;
- изготовление бланков для учета и обработки результатов обследования.

Чтобы выбрать наиболее рациональный метод обследования, необходимо установить перечень показателей, которые требуется получить в результате обследования. При выборе метода руководствуются его трудоемкостью и стоимостью работ при условии получения достоверных результатов.

При обработке результатов обследования в первую очередь устанавливается общее количество перевезенных пассажиров за рейс, наполнение подвижного состава на каждом перегоне и оформляют таблицу распределения пассажиропотока в автобусе по рейсам и направлениям.

Пассажиропотоки характеризуются мощностью, т. е. количеством пассажиров, проезжающих в определенный момент времени через заданное сечение маршрута в одном направлении.

Для построения эпюры распределения пассажиропотоков необходимо определить количество проезжающих пассажиров по каждому участку маршрута. Эпюра распределения пассажиропотоков характеризует нагрузку автобусов на маршруте по длине и направлениям. Большинство автобусных маршрутов имеет наибольшую величину пассажиропотока в средней части маршрута, а по мере удаления к конечным остановочным пунктам пассажиропоток уменьшается. В зависимости от характера распределения пассажиропотока маршрут по длине разбивают на отдельные контрольные участки, границы которых называют контрольными пунктами.

Для характеристики распределения пассажиропотоков и их количественных соотношений используют коэффициенты неравномерности, которые определяются отношением максимального объема перевозок за определенный период к среднему объему перевозок за тот же период.

Наряду с анализом пассажиропотоков по длине и направлениям необходимо знать потребность в перевозках по часам суток. При распределении пассажиропотока по часам суток условно принимают, что пассажир считается перевезенным в тот час, в котором он закончил поездку.

Величины коэффициентов неравномерности колеблются в широких пределах и зависят от местных условий. Данные об объеме и характере пассажиропотока являются необходимым условием для решения следующих задач: планирования перевозок, корректировки маршрутной схемы, выбора типа и количества подвижного состава, организации движения с учетом повышения качества перевозок и эффективного использования транспортных средств.

Для изучения пассажиропотока в данном исследовании наиболее предпочтительным является табличный метод обследования [49, 50]. При обследовании поездок пассажиров в транспортном средстве учетчики располагаются у входных дверей (рисунок 4.1) и фиксируют входящих и выходящих пассажиров на каждой остановке в специальной таблице.

МАЗ – 203 городской / MAZ – 203 city

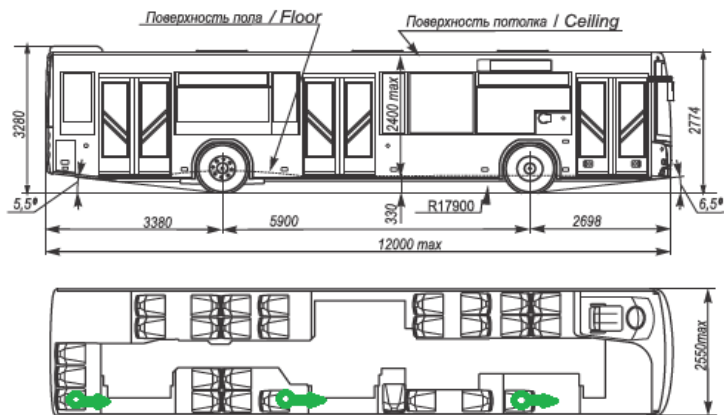


Рисунок 4.1 – Схема расположения учетчиков в автобусе

Объектом исследований выступает городская автобусная маршрутная сеть города Гомеля, состоящая из 52 автобусных маршрутов [120]. Наблюдения проводились в период с 2000 по 2015 годы. Для анализа выбраны маршруты, которые за период наблюдения не претерпели ни каких изменений.

По описанной выше методике табличным методом были получены данные о пассажирообмене на остановочных пунктах маршрутной сети [120]. Обработка результатов обследования позволила получить данные о распределении пассажиропотоков на основных автобусных маршрутах города Гомеля (таблица 4.2).

Изучение отчетно-статистической информации о работе автобусных парков [120], обслуживающих маршрутную сеть города Гомеля, позволило получить информацию о количестве перевезенных пассажиров по дням недели и месяцам года на каждом из маршрутов, на которых проводилось обследование и получены информация о суточных пассажиропотоках (таблица 4.3). Также получены технико-эксплуатационные показатели работы пассажирских транспортных средств на отобранных маршрутах.

Таблица 4.2 – Распределение пассажиропотоков по часам суток на маршрутах города Гомеля

Маршрут	Время суток, ч																	За день	
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23		23-24
1	341	2540	1978	1101	1087	760	683	614	556	701	846	2469	1865	915	728	615	214	55	18068
3	210	412	358	431	455	491	425	200	253	351	346	563	472	179	143	115	65	34	5503
4	444	1600	780	400	614	775	720	755	748	773	352	1389	978	595	411	390	232	50	12006
5	281	1598	290	222	284	336	314	367	307	388	731	1899	1023	253	188	101	0	0	8582
6	56	1117	138	138	118	272	220	187	197	209	268	1044	963	116	97	72	0	0	5212
7	170	1505	484	396	447	323	308	217	193	379	408	1120	1002	325	193	149	92	0	7711
7a	218	1426	403	435	593	353	199	165	263	661	555	1596	1209	294	261	191	119	38	8979
8	305	1611	734	826	718	537	430	324	229	278	608	1381	1159	359	242	114	76	34	9965
8a	152	1214	233	191	415	517	417	318	215	165	233	1296	1195	231	331	326	208	0	7657
9	161	1351	273	160	364	166	243	161	177	118	242	1331	1275	298	227	140	96	59	6842
10	288	977	564	603	618	491	612	700	358	367	443	1601	1433	311	206	181	101	0	9854
11	360	1240	776	700	532	268	268	449	625	580	776	1216	936	376	344	340	272	170	10228
12	622	1729	761	865	644	587	461	418	362	439	633	1553	1189	616	476	355	229	156	12095
15	74	1206	154	119	136	159	143	134	68	70	77	675	437	123	82	68	0	0	3725
16	358	2517	1364	1028	935	1129	752	776	752	806	1070	2668	2277	1114	766	597	321	185	19415
19	161	810	319	283	235	296	329	256	177	249	331	902	712	207	163	140	78	0	5648
20	320	1654	378	409	675	501	543	696	558	474	529	1566	1461	424	437	312	186	69	11192
21	287	1197	209	196	144	119	104	85	176	222	122	1177	903	159	123	125	59	0	5407
22	401	986	328	272	257	402	362	338	341	377	349	992	864	337	211	172	140	0	7129
25	432	1920	522	525	537	361	281	360	389	589	658	1799	1643	521	409	323	150	97	11516

Величина пассажиропотоков, их распределение по направлениям, колебания во времени и другие характеристики определяют основные характеристики маршрутной сети, выбор вместимости подвижного состава, частоту движения, систему организации движения.

В таблицах 4.3–4.6 представлены данные об объемах перевозок пассажиров за последние семь лет, по месяцам в течение одного года, по дням недели и часам суток соответственно. Изменение объемов перевозок по времени проиллюстрировано на рисунках 4.2–4.6.

Таблица 4.3 – Изменение объемов перевозок пассажиров за период с 2005 по 2018 г

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Объем перевозок, млн пас.	79,1	82,3	83,1	83,9	84,2	84,6	85,1
Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Объем перевозок, млн пас.	85,7	85,9	86,4	74,56	70,20	68,87	68,21

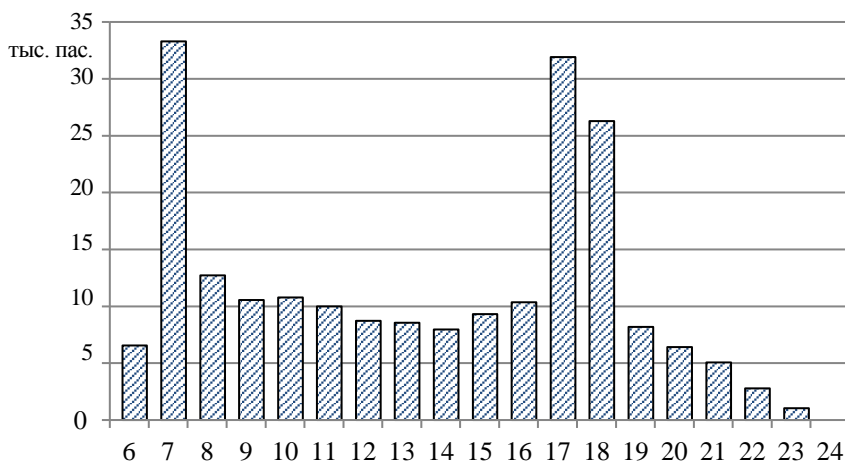


Рисунок 4.2 – Диаграмма распределения объемов перевозок по часам суток

Таблица 4.4 – Изменение величины пассажиропотока по месяцам года

Месяц года	Объем перевозок, тыс. пас.	Месяц года	Объем перевозок, тыс. пас.
Январь	7482,1	Июль	6147,2
Февраль	6245,6	Август	6417,5
Март	7038,5	Сентябрь	7453,5
Апрель	7270,2	Октябрь	7704,3
Май	7285,8	Ноябрь	7862,4
Июнь	6705,3	Декабрь	7469,2

Таблица 4.5 – Изменение величины пассажиропотока по дням недели и периодам года

День недели	Период года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
	Объем перевозок, пас.			
Понедельник	198962	199677	200870	200925
Вторник	207383	207197	210225	198079
Среда	205364	210509	210483	203838
Четверг	209503	211777	206297	207758
Пятница	213334	216679	209246	232517
Суббота	171167	159784	149777	197042
Воскресенье	156568	155109	144533	174841
Итого за неделю	1362280	1360731	1331431	1415000

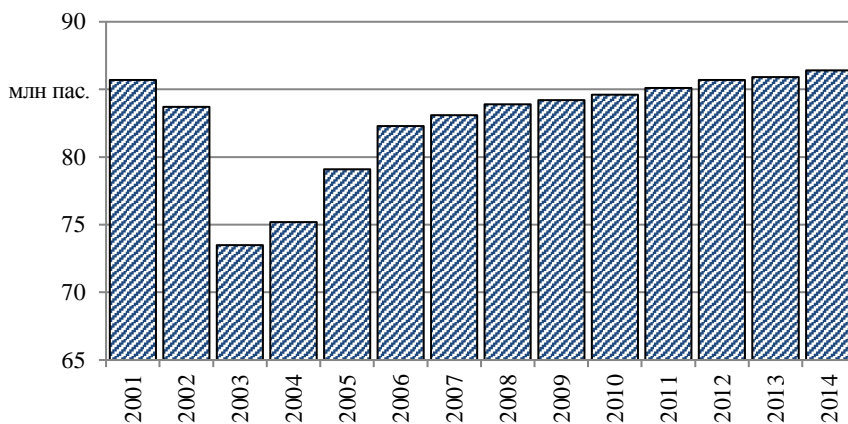


Рисунок 4.3 – Динамика изменения объемов перевозок по годам

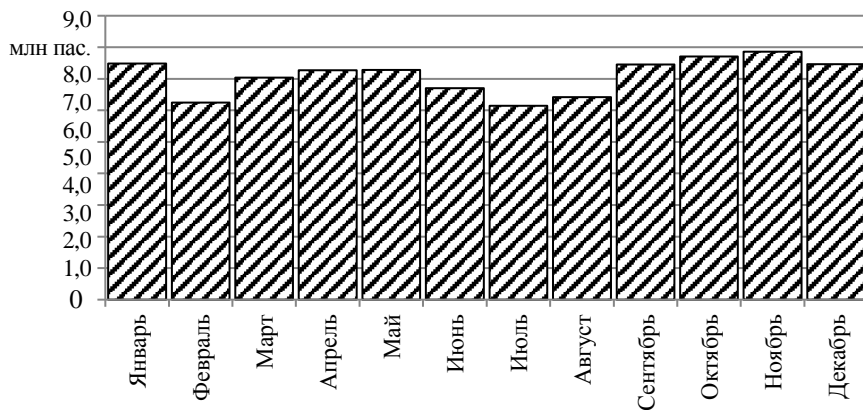


Рисунок 4.4 – Диаграмма распределения объемов перевозок по месяцам года

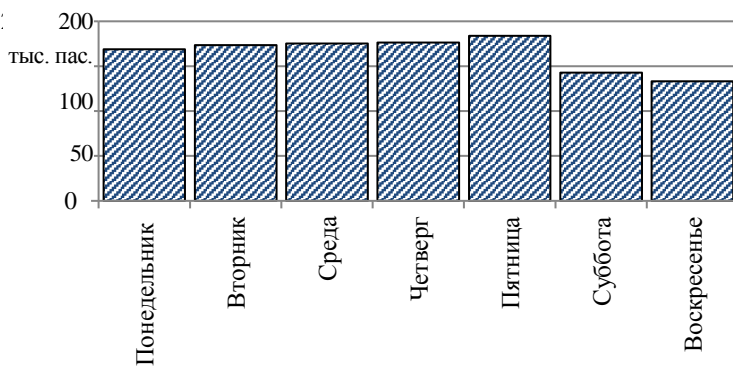


Рисунок 4.5 – Диаграмма распределения объемов перевозок по дням недели

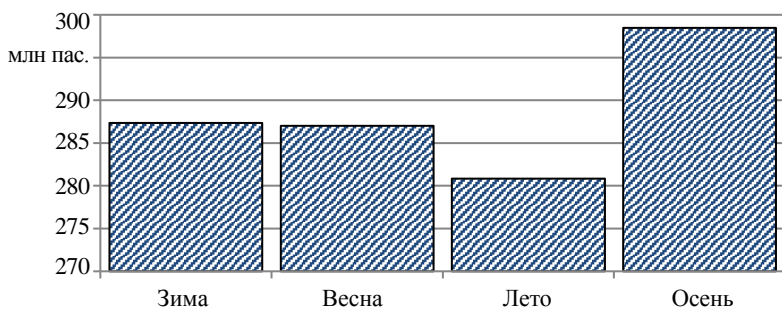


Рисунок 4.6 – Диаграмма распределения объемов перевозок по сезонам года

4.2 Определение закономерностей изменения пассажиропотока во времени

На систему городских пассажирских перевозок большее влияние оказывают колебания пассажиропотоков по часам суток и распределение по длине маршрута. Данные о величине пассажиропотоков позволяют представить реальное состояние существующего положения и на этом основании делать выводы о направлении совершенствования организации перевозок. Колебания пассажиропотоков отличаются определенной закономерностью.

Наибольший интерес представляют колебания по часам суток, так как данные о размерах и характере часовых потоков служат основанием для выбора эффективного типа подвижного состава и его количества; расчета показателей, характеризующих движение автобусов; составление расписания движения; организации эффективных графиков работы автобусных бригад.

В связи с этим важное значение имеет точность и оперативность определения объема перевозок пассажиров в конкретный момент времени. Традиционными методами обследования и построения картограмм изменения суточных пассажиропотоков сделать это можно лишь по истечении некоторого временного отрезка, то есть оценить заверченный процесс.

Процесс развития потребностей можно условно подразделить на два элемента: регулируемый и случайный. Основной движущей силой роста транспортных потребностей являются факторы производственного характера. Однако наряду с ними действуют многочисленные случайные факторы. Например, между местами проживания и пространственным распределением рабочих мест образуется пассажиропоток. Предсказание поведения каждого пассажира в отдельности не представляется возможным. Вместе с тем совокупное поведение всех пассажиров подчиняется определенной закономерности, которая может быть описана одним из вероятностных законов распределения случайных величин.

Знание закономерностей изменения величины пассажиропотоков во времени на маршрутной сети позволяют принимать обоснованные решения по организации перевозок пассажиров. Поэтому предлагается установить сложившиеся закономерности изменения пассажиропотоков.

Графическое представление экспериментальных данных по г. Гомелю об изменениях пассажиропотоков во времени за отдельные периоды приведен на рисунках (4.1–4.3).

Изменение пассажиропотока во времени, характеризующееся рядом наблюдений $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$ анализируемой случайной величины $y(t)$ (величина пассажиропотока в определенный час), произведенных в последовательные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n , называется временным рядом [109]. В работе рассматриваются временные ряды с равноотстоящими моментами

наблюдений. Это позволяет представлять их в форме $x(1), x(2), \dots, x(N)$.

Определение, приведенное выше, опирается на понятие случайной величины, зависящей от параметра t , интерпретируемого как время. То есть, по существу, речь идет об однопараметрическом семействе случайных величин $\{y(t)\}$. Это значит, что закон распределения вероятностей этих случайных величин и, в частности, их первые и вторые моменты, также последующие, могут зависеть от времени t .

Принципиальное отличие временного ряда от некоей последовательности наблюдений x_1, x_2, \dots, x_n , образующих случайную выборку [121], заключается в том, что, во-первых, в отличие от элементов случайной выборки члены временного ряда не являются статистически независимыми, а, во-вторых, члены временного ряда не являются одинаково распределенными, т.е. $P\{x(t_1) < x\} \neq P\{x(t_2) < x\}$ при $t_1 \neq t_2$.

С одной стороны, это означает, что распространять свойства и правила статистического анализа случайной выборки на временные ряды нельзя. С другой стороны, взаимозависимость членов временного ряда создает базу для построения прогнозных значений анализируемого показателя (т.е. для построения оценок x) $(N + k)$ для неизвестных значений $x(N + k)$ по наблюдаемым значениям $x(1), x(2), \dots, x(N)$.

При анализе изменения пассажиропотока целесообразно выделить три типа факторов, под воздействием которых формируются значения элементов временного ряда [121]:

1 Долговременные, формирующие общую (в длительной перспективе) тенденцию в изменении анализируемого признака $x(t)$. Обычно эта тенденция описывается с помощью той или иной неслучайной функции $f_{mp}(t)$, как правило, монотонной. Эту функцию называют функцией тренда (трендом).

2 Сезонные, формирующие периодически повторяющиеся в определенное время года колебания анализируемого признака. Условимся обозначать результат действия сезонных факторов с помощью неслучайной функции $\phi(t)$. Поскольку эта функция должна быть периодической (с периодами, кратными «сезонам»), в ее аналитическом выражении участвуют гармоники, периодичность которых, как правило, обусловлена содержательной сущностью задачи.

3 Случайные, не поддающиеся учету и регистрации. Их воздействие на формирование значений временного ряда как раз и обуславливает стохастическую природу элементов $x(t)$, а следовательно, и необходимость интерпретации $x(1), x(2), \dots, x(N)$ как наблюдений произведенных над случайными величинами соответственно $\xi(1), \xi(2), \dots, \xi(N)$. Результат воздействия случайных факторов обозначается с помощью случайных величин («остатков», «ошибок») $\varepsilon(t)$.

Временной ряд представляет собой значения показателя в зависимости от времени. Может представлять изменение показателя за год по месяцам,

за неделю по дням, за сутки по часам и т.п. Временные ряды бывают моментные (показатели зафиксированы на какой-то момент времени) и интервальные (показатели зафиксированы за промежутки времени).

Временной ряд может выравниваться различного рода зависимостями (степенными, показательными, параболическими, логарифмическими, гиперболическими и др.). Однако ряды с периодическими изменениями наиболее часто описываются рядом Фурье. Таким периодическим изменениям подвержены изменения пассажиропотока во времени [128].

Выражения, связывающие фактор (время) и зависимую переменную (величину пассажиропотока), имеют следующий вид:

$$y_{ti} = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(2\pi k i / m) + b_k \sin(2\pi k i / m)), \quad (4.1)$$

где y_{ti} – значение функции в i -й расчетной точке; a_0 – свободный член уравнения; n – верхнее значение номера гармоники ряда Фурье; k – номер гармоники; a_k, b_k – коэффициенты ряда Фурье при k -й гармонике соответственно при \cos и \sin ; t_i – значение фактора (времени) в i -й расчетной точке; m – общее количество чисел во временном ряду.

Задача определения коэффициентов ряда Фурье в общем виде решается следующим образом:

пусть сумма первых n членов временного ряда равна

$$S(x) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cos kx + \sum_{k=1}^n b_k \sin kx. \quad (4.2)$$

Коэффициенты ряда Фурье a_k, b_k определим так, чтобы величина средней квадратичной ошибки

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_0^{0+2\pi} [f(x) - S(x)]^2 dx \quad (4.3)$$

в интервале от $[0, 0 + n]$ была бы минимальной. Для этого нужно коэффициенты a_k, b_k выбрать так, чтобы

$$\frac{\partial E}{\partial b_1} = \frac{\partial E}{\partial b_2} = \dots = \frac{\partial E}{\partial b_n} = \frac{\partial E}{\partial a_0} = \frac{\partial E}{\partial a_1} = \dots = \frac{\partial E}{\partial a_n} = 0; \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k} = -\frac{1}{\pi} \int_0^{0+2\pi} [f(x) - S(x)] \frac{\partial S}{\partial b_k} dx = 0; \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k} = -\frac{1}{\pi} \int_0^{0+2\pi} [f(x) - a_0 - \sum_{k=1}^n b_k \sin kx - \sum_{k=1}^n a_k \cos kx] \sin kx dx = 0. \quad (4.6)$$

Это дает нам

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{0+2\pi} [f(x) - b_k \sin kx] \sin kx dx = 0, \quad (4.7)$$

откуда

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{0+2\pi} f(x) \sin kx dx. \quad (4.8)$$

Аналогичный расчет:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{0+2\pi} f(x) \cos kx dx; \quad (4.9)$$

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{0+2\pi} f(x) dx. \quad (4.10)$$

Следовательно, разложение в ряд Фурье не только точно представляет функцию $f(x)$ при неограниченном числе членов, но и обеспечивает наименьшую среднюю квадратичную ошибку по сравнению с любым тригонометрическим рядом по $\sin kx$ и $\cos kx$, если эти ряды обрывать на произвольном конечном числе слагаемых. Известно, что при увеличении числа членов в конечной тригонометрической сумме $S_n(x)$ все прежние коэффициенты сохраняют свой вид [106].

Интегрируя выражения (4.8–4.10) в интервале от 0 до m и принимая $x = 2\pi t / m$, а $f(x) = y_{si}$ и $S(x) = y_{Ti}$, получаем зависимости для нахождения параметров (коэффициентов) уравнения, описывающего изменение пасажиropотока во времени:

$$a_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{si}; \quad (4.11)$$

$$a_k = 2/m \sum_{i=1}^m (y_{si} \cos(2\pi ki / m)); \quad (4.12)$$

$$b_k = 2/m \sum_{i=1}^m (y_{si} \sin(2\pi ki / m)), \quad (4.13)$$

где y_{zi} – экспериментальные значения зависимой переменной в i -х расчетных точках.

Таким образом, исходя из предыдущих рассуждений значение объема перевозок в единицу времени (1 час) предлагается описывать следующим выражением:

$$Z(t) = Z_0 + Z_c(t) + Z_n(t) + Z_m(t), \quad (4.14)$$

где Z_0 – среднегодовое значение объема перевозки в единицу времени; $Z_c(t)$, $Z_n(t)$, $Z_m(t)$ – соответственно суточные, недельные и сезонные составляющие колебания объемов перевозок.

В свою очередь отдельные составляющие $Z(t)$ выражаются следующим образом:

$$Z_c(t) = \sum_{i=1}^{h_1} \left(b_{1,i} \sin \frac{2\pi it}{24} + a_{1,i} \cos \frac{2\pi it}{24} \right); \quad (4.15)$$

$$Z_n(t) = \sum_{i=1}^{h_2} \left(b_{2,i} \sin \frac{2\pi it}{168} + a_{2,i} \cos \frac{2\pi it}{168} \right); \quad (4.16)$$

$$Z_m(t) = \sum_{i=1}^{h_3} \left(b_{3,i} \sin \frac{2\pi it}{8760} + a_{3,i} \cos \frac{2\pi it}{8760} \right), \quad (4.17)$$

где $b_{1,i}$, $b_{2,i}$, $b_{3,i}$, $a_{1,i}$, $a_{2,i}$, $a_{3,i}$ – коэффициенты многочлена Фурье; $h_{1,2,3}$ – порядок многочлена Фурье; t – текущее значение календарного времени с отчетом от начала года в часах; 24, 168, 8760 – принятые периоды колебаний объемов перевозки в единицу времени (часовой интервал) соответственно суточный, недельный и сезонный.

Подставив уравнения (4.2)–(4.14) в (4.1), получаем выражение

$$Z(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^{h_1} \left(b_{1,i} \sin \frac{2\pi it}{24} + a_{1,i} \cos \frac{2\pi it}{24} \right) + \sum_{i=1}^{h_2} \left(b_{2,i} \sin \frac{2\pi it}{168} + a_{2,i} \cos \frac{2\pi it}{168} \right) + \sum_{i=1}^{h_3} \left(b_{3,i} \sin \frac{2\pi it}{8760} + a_{3,i} \cos \frac{2\pi it}{8760} \right). \quad (4.18)$$

Таким образом, выражение (4.18) описывает изменение объема перевозок пассажиров в единицу времени (1 ч).

4.3 Подтверждение адекватности модели определения закономерностей изменения пассажиропотоков во времени

Одной из возможных схем проведения корреляционно-регрессионного анализа может быть следующая:

- 1) принимается вид уравнения регрессии (модели связи);
- 2) рассчитываются параметры уравнения регрессии;
- 3) проверяется значимость отдельных факторов в модели и адекватность уравнения регрессии экспериментальным данным в целом. Если нет мало-значимых факторов и уравнение регрессии согласуется с экспериментальными данными – решение получено.

Если связь оказалась несущественной, то расчеты или повторяют с другим видом уравнения регрессии, или прекращают.

Статистикой, характеризующей тесноту связи между факторами и зависимой переменной, является коэффициент множественной корреляции [115, 116], который показывает, какая часть дисперсии зависимой переменной объясняется принятой регрессионной моделью:

$$R = \sqrt{s_{об}^2 / s_{п}^2}, \quad (4.19)$$

где $s_{об}^2 = \sum_{i=1}^m (y_{ti} - y_m)^2$ – объясненная сумма квадратов отклонений от оценки математического ожидания (m – число опытов); $s_{п}^2 = \sum_{i=1}^m (y_{zi} - y_m)^2$ – полная сумма квадратов отклонений от оценки математического ожидания; y_m – оценка математического ожидания случайной величины.

Разность между полной и объясненной суммой квадратов является остаточной (необъясненной) суммой отклонений от оценки математического ожидания:

$$s_{ост}^2 = s_{п}^2 - s_{об}^2 = \sum_{i=1}^m (y_{zi} - y_{ti})^2. \quad (4.20)$$

Значение коэффициента множественной корреляции рассчитывается по формуле

$$R = \sqrt{1 - s_{ост}^2 / s_{п}^2}. \quad (4.21)$$

Значения R могут быть в пределах от 0 до 1,0. При $R = 0$ связь между факторами и зависимой переменной отсутствует, а $R = 1,0$ указывает на функциональную зависимость [116].

Для проверки гипотезы существенности коэффициента множественной корреляции и согласованности уравнения регрессии с экспериментами данными используется статистика критерия Фишера:

$$F = s_1^2 / s_2^2 = \frac{s_{об}^2 / n}{s_{ост}^2 / (m - n - 1)} = \frac{s_{об}^2 (m - n - 1)}{s_{ост}^2 n}, \quad (4.22)$$

или

$$F = \frac{R^2 (m - n - 1)}{(1 - R^2) n}, \quad (4.23)$$

где s_1^2 и s_2^2 – соответственно объясненная и остаточная дисперсии для зависимого параметра.

Чтобы не было оснований отвергнуть гипотезу, что экспериментальные данные согласуются с полученным уравнением регрессии, рассчитанная статистика критерия Фишера должна быть больше табличного значения ($F > F_T$). Табличное значение F_T определяется в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы $k_1 = n$ и $k_2 = m - n - 1$ (n – число факторов). Уровень значимости (вероятность) рекомендуется принимать 0,01 – 0,05 (чем меньше, тем жестче требования к адекватности модели). Если $F < F_T$, то считается, что уравнение регрессии не согласуется с экспериментальными данными.

С помощью критерия Фишера оценивают адекватность регрессионной модели в целом и отдельных факторов. Фактор является малозначимым в том случае, если его исключение из модели не вызывает существенного снижения статистики критерия Фишера. При этом исключение малозначимого фактора может обеспечить увеличение статистики F .

Мерой согласованности может служить также коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E :

$$E = 1 / m \sum_{i=1}^m \text{abs} \left(\frac{y_{эi} - y_{тi}}{y_{тi}} \right). \quad (4.24)$$

При проведении расчетов номера гармоник, включаемые в уравнение, следует принимать адаптивно по максимуму значения статистики критерия Фишера F или минимуму коэффициента средней линейной ошибки аппроксимации E . Гармоники, которые вызывают уменьшение значения F или увеличение значения E , не включаются в модель связи. Функцию, заданную в каждой точке изучаемого интервала времени, можно представить бесконечным рядом синусоидальных и косинусоидальных функций. Синусоидальная или косинусоидальная функция с определенным периодом и есть гармони-

ка. Каждый член суммы представляет собой гармонику с определенным периодом, периодограмма состоит из $n/2$ значений, и если есть n наблюдений, то число гармоник не превышает $n/2$, т.е. верхнее значение номера гармоник (h) не должно быть больше чем $n/2$:

$$i = \{1, 2, \dots, h\}; \quad (4.25)$$

$$i \in S; \quad (4.26)$$

$$S = \{i : E_{i-1} < E_i\}; \quad (4.27)$$

или

$$S = \{i : F_i < F_T\}. \quad (4.28)$$

С учетом вышесказанного, зависимость (4.19) принимает вид

$$Z(t) = Z_0 + \sum_{i \in S_1} \left(b_{1,i} \sin \frac{2\pi i t}{24} + a_{1,i} \cos \frac{2\pi i t}{24} \right) + \sum_{i \in S_2} \left(b_{2,i} \sin \frac{2\pi i t}{168} + a_{2,i} \cos \frac{2\pi i t}{168} \right) + \sum_{i \in S_3} \left(b_{3,i} \sin \frac{2\pi i t}{8760} + a_{3,i} \cos \frac{2\pi i t}{8760} \right). \quad (4.29)$$

Используя экспериментальные данные, полученные при проведении натуральных исследований [156], и зависимости, полученные в разд. 4, произведем расчет теоретических часовых объемов перевозок пассажиров на маршруте № 1 в июне месяце, день недели – среда.

Параметры (коэффициенты) многочлена Фурье рассчитаем по формулам (4.6)–(4.8). Общее количество чисел во временном ряду $m = 18$, номера гармоник i изменяются в интервале от 1 до 9 ($i = 1 \dots 9$):

$$a_0 = \frac{1}{18} \cdot \sum_{i=1}^{18} y_{3i}; \quad a_i = \frac{2}{18} \cdot \sum_{t=1}^{18} (y_{3i} \cos(2\pi t i / 18));$$

$$b_i = \frac{2}{18} \cdot \sum_{t=1}^{18} (y_{3i} \sin(2\pi t i / 18));$$

$$a_0 = \frac{1}{18} \cdot \sum_{i=1}^{18} 341 + 2540 + 1978 + 1101 + 1087 + 760 + 683 + 614 + 556 + 701 + 846 + 2469 + 1865 + 915 + 728 + 615 + 214 + 55 = 1003,78.$$

Параметры многочлена Фурье сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Параметры многочлена Фурье

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_i	-43,74	-531,00	-78,11	-291,96	-319,49	87,22	109,07	37,46	163,56
b_i	18,42	565,12	230,36	-250,81	-60,69	-87,57	-211,62	38,25	0

Теоретические значения часовых пассажиропотоков рассчитаем по формуле (4.2): при $i = 1$

$$y_{T1} = 1003,78 + (-43,735 \cos(2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1/18)) + 18,418 \sin(2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1/18) = 969.$$

Теоретические значения часовых пассажиропотоков, рассчитанные и далее для различных гармоник, сведем в таблицу 4.7.

Коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E рассчитывается по формуле (4.24): $E = 0,559$.

Коэффициент множественной корреляции R рассчитывается по формуле (4.21):

$$S_{об} = 23180,5; S_{п} = 9043657; R = \sqrt{\frac{23180,5}{9043657}}; R = 0,0506.$$

Статистика критерия Фишера рассчитывается по формуле (4.23):

$$F = \frac{0,0506^2(18-9-1)}{(1-0,0506^2) \cdot 9}; F = 0,00228.$$

Для остальных гармоник расчеты производятся аналогично.

1 При $k = 2$ $E = 0,416$; $S_{об} = 5553657$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,784$; $F = 1,415$.

Так как на втором шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E уменьшился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то вторая гармоника включается в многочлен Фурье.

2 При $k = 3$ $E = 0,703$; $S_{об} = 6005277$; $S_{п} = 9042657$; $R = 0,815$; $F = 1,757$.

Так как на третьем шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E увеличился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то третья гармоника не включается в многочлен Фурье.

3 При $k = 4$ $E = 0,295$; $S_{об} = 7061269$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,884$; $F = 3,167$.

Так как на четвертом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E уменьшился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то четвертая гармоника включается в многочлен Фурье.

4 При $k = 5$ $E = 0,298$; $S_{об} = 7916001$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,936$; $F = 6,240$.

Так как на пятом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E уменьшился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то пятая гармоника включается в многочлен Фурье.

5 При $k = 6$ $E = 0,347$; $S_{об} = 8093962$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,946$; $F = 7,576$.

Так как на шестом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E увеличился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то шестая гармоника не включается в многочлен Фурье.

6 При $k = 7$ $E = 0,394$; $S_{об} = 8549092$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,972$; $F = 15,365$.

Так как на седьмом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E увеличился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то седьмая гармоника не включается в многочлен Фурье.

7 При $k = 8$ $E = 0,310$; $S_{об} = 7969199$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,939$; $F = 6,593$.

Так как на восьмом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E уменьшился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера уменьшились, то восьмая гармоника включается в многочлен Фурье.

8 При $k = 9$ $E = 0,478$; $S_{об} = 8572916$; $S_{п} = 9043657$; $R = 0,974$; $F = 16,188$.

Так как на девятом шаге коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E увеличился, коэффициент множественной корреляции R и критерий Фишера увеличились, то девятая гармоника не включается в многочлен Фурье. Полученные результаты сведены в таблицу 4.7

Теоретические значения часовых пассажиропотоков, рассчитанные для всех гармоник, сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.7 – Результаты расчета критериев

Номер гармоники	Коэффициент множественной корреляции R	Коэффициент средней линейной ошибки аппроксимации E	Критерий Фишера F	Решение о включении гармоники в модель, «+» – включено
1	0,050628	0,558874	0,002284	+
2	0,783642	0,415626	1,414494	+
3	0,814882	0,702999	1,756865	–
4	0,883628	0,295149	3,166223	+
5	0,935580	0,298275	6,239886	–
6	0,946038	0,279160	7,575732	+
7	0,972272	0,393865	15,36541	–
8	0,938718	0,279000	6,592838	+
9	0,973626	0,478044	16,18802	–

Таблица 4.8 – Расчетные значения часовых пассажиропотоков для гармоник

Номер часа	Y _{k1}	Y _{k2}	Y _{k3}	Y _{k4}	Y _{k5}	Y _{k6}	Y _{k7}	Y _{k8}	Y _{k9}
1	-21,664	464,3	238,6	188,6	321,0	32,2	227,3	4,1	163,0
2	-23,105	754,9	78,1	363,2	-107,2	87,2	-128,7	14,4	-163,0
3	10,544	692,3	-160,4	-30,1	-283,8	-119,4	-30,1	-31,2	163,0
4	25,733	305,7	-238,6	-384,9	205,7	32,2	174,9	44,2	-163,0
5	-43,735	-223,9	-78,1	-71,2	212,3	87,2	-237,8	-51,9	163,0
6	45,342	-648,7	160,4	360,1	-279,5	-119,4	189,5	53,3	-163,0
7	47,397	-770,0	238,6	196,3	-115,3	32,2	-52,5	-48,3	163,0
8	43,735	-531,0	78,1	-292,0	319,5	87,2	-109,1	37,5	-163,0
9	56,056	-43,5	-160,4	-297,7	4,3	-119,4	219,6	-22,1	163,0
10	21,664	464,3	-238,6	188,6	-321,0	32,2	-227,3	4,1	-163,0
11	5,917	754,9	-78,1	363,2	107,2	87,2	128,7	14,4	163,0
12	-10,544	692,3	160,4	-62,4	283,8	-119,4	30,1	-31,2	-163,0
13	-25,733	305,7	238,6	-262,7	-205,7	32,2	-174,9	44,2	163,0
14	-37,818	-223,9	78,1	-71,2	-212,3	87,2	237,8	-51,9	-163,0
15	-45,342	-648,7	-160,4	360,1	279,5	-119,4	-189,5	53,3	163,0
16	-47,397	-770,0	-238,6	196,3	115,3	32,2	52,5	-48,3	-163,0
17	-43,735	-531,0	-78,1	-292,0	-319,5	87,2	109,1	37,5	163,0
18	-34,798	-305,7	160,4	-297,7	-4,3	-119,4	-219,6	-22,1	-163,0

По результатам расчетов в модель, описывающую закономерность изменения величины пассажиропотока, включаются гармоники 1, 2, 4, 6, 8 (таблица 4.7).

Учитывая вышесказанное, зависимость (4.18) принимает вид

$$Y(t) = \begin{cases} 1003,78 + \sum_{i \in S_1} \left(b_{1,i} \sin \frac{2\pi it}{18} + a_{1,i} \cos \frac{2\pi it}{18} \right) \\ S = \{i : 1, 2, 4, 6, 8\}; \\ t = (1 \dots 18); \\ a_i = \{-43,74; -531,00; -291,96; 87,22; 37,46\}; \\ b_i = \{18,42; 565,12; -250,81; -87,57; 38,25\}, \end{cases}$$

где t – порядковый номер часа суток.

Таким образом, получаем многочлен Фурье для расчета часовых пассажиропотоков на маршруте № 1, в таблице 4.9 представлены результаты расчета распределения пассажиропотока по часам суток на маршруте № 1.

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рисунке 4.7, где штрихом показаны значащие гармоники, включенные в модель связи, пунктиром – гармоники, не вошедшие в модель.

Таблица 4.9 – Результаты расчета распределения пассажиропотока по часам суток на маршруте № 1

Период суток	Значение		Период суток	Значение	
	экспериментальное U_3	расчетное U_i		экспериментальное U_3	расчетное U_i
6–7	341	486	15–16	701	577
7–8	2540	1671	16–17	846	1715
8–9	1978	2218	17–18	2469	2229
9–10	1101	1526	18–19	1865	1472
10–11	1087	1027	19–20	915	1097
11–12	760	700	20–21	728	706
12–13	683	694	21–22	615	604
13–14	614	461	22–23	214	367
14–15	556	349	23–24	55	262

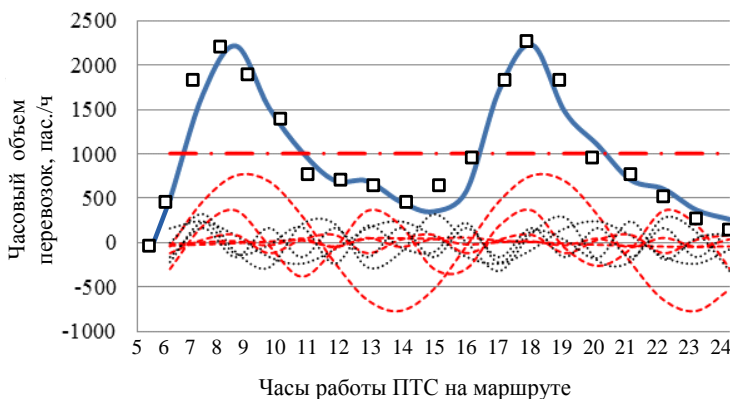


Рисунок 4.7 – Графическое представление часовых пассажиропотоков, рассчитанных для всех гармоник:

□ – экспериментальные значения; — расчетные значения часового объема перевозок пассажиров; - · - · - среднесуточное значение объема перевозки; - - - - значения гармоник, включенные в модель связи; ···· – гармоник, не включенные в модель связи

На рисунке 4.8 представлено графическое изображение величины часовых экспериментальных U_3 и теоретических (расчетных) U_i пассажиропотоков на маршруте.

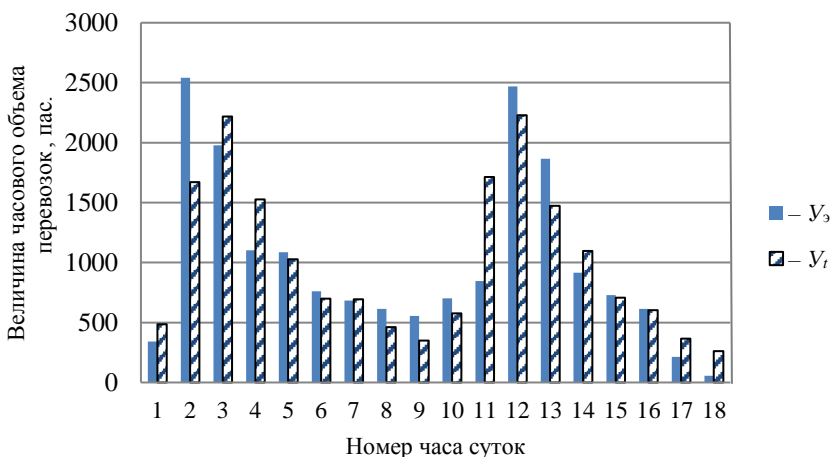


Рисунок 4.8 – Графическое представление величины часовых экспериментальных Y_3 и теоретических (расчетных) Y_t пассажиропотоков на маршруте

Результаты расчетов теоретических значений часовых пассажиропотоков по всем рассмотренным маршрутам приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Теоретические значения часовых пассажиропотоков на маршрутах

Время суток	В пассажирах					
	Номер маршрута					
	1	4	5	12	16	25
6–7	486	585	554	428	339	387
7–8	1671	1362	1240	1126	1804	1298
8–9	2218	994	398	1246	1854	1042
9–10	1526	483	317	1101	1252	633
10–11	1027	574	641	687	1189	668
11–12	700	571	122	495	920	481
12–13	694	692	283	426	513	46
13–14	461	730	214	324	505	168
14–15	349	842	609	229	866	607
15–16	577	662	622	571	993	602
16–17	1715	600	567	1117	1486	972
17–18	2229	1124	1670	1219	2374	1646
18–19	1472	1171	1312	960	2146	1399
19–20	1097	540	416	757	1012	521
20–21	706	329	261	492	626	332
21–22	604	511	124	429	1073	701
22–23	367	193	0	330	561	280
23–24	262	59	0	237	184	145

Таким образом, получены теоретические (расчетные) значения пассажиропотока в конкретный момент времени, которые необходимы для расчета рациональной вместимости автомобильных пассажирских транспортных средств. Результаты расчета подтверждают справедливость выдвинутой гипотезы о том, что выражение (4.29) является выражением, связывающим фактор (время) и зависимую переменную (величину пассажиропотока). Получены зависимости, описывающие закономерности изменения пассажиропотока на маршрутах по часам суток

Проведено обследование пассажиропотоков на маршрутной сети города Гомеля табличным методом. Обработка результатов позволила получить данные об изменении пассажиропотока на автобусных маршрутах по часам суток, дням недели и месяцам года. Исследование пассажиропотока позволило установить, что их изменение во времени адекватно описывается тригонометрическим рядом Фурье за счет включения в уравнение только гармоник, дающих увеличение критерия Фишера и уменьшение средней линейной ошибки аппроксимации.

5 МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРАКТИКЕ

5.1 Методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом

Разработанная методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом основана на **оптимизации вместимости транспортных средств**, работающих на маршрутах, в зависимости от изменения величины пассажиропотока по часам суток и выбора рациональной формы организации работы на маршрутах.

Методика базируется на математической модели работы системы городского пассажирского автомобильного транспорта, ее исследовании и оптимизации параметров функционирования [127–129, 132–138].

Анализ взаимосвязи управляемых и неуправляемых факторов и их влияния на систему городских пассажирских перевозок позволил определить выходные параметры, необходимые для оценки их влияния на критерий эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом [127, 128].

Исходя из критерия оптимальности Z_4 , выраженного в минимизации суммы затрат S_n , возникающих при выполнении перевозок, и потерь пассажиров от ожидания транспортных средств на остановочных пунктах за определенный период времени Π_n , получена зависимость для определения оптимального значения пассажировместимости единицы пассажирского транспортного средства $q_{\text{опт}}$ с учетом суточной изменчивости пассажиропотока $Q_{\text{пч}}$ [129]. С целью обеспечения более высокого уровня качества обслуживания пассажиров, минимизации потерь, вызванных работой парка ПТС неоптимальной структуры, разработана методика оптимального распределения транспортных средств по маршрутам [132–136]. Установлена зависимость, позволяющая принять решение об организации работы ПТС на маршруте по интервалу или расписанию, позволяющая повысить эффективность работы пассажирской транспортной системы в межпиковый период за счет сокращения времени ожидания путем перехода от интервальной работы в часы пик на работу по расписанию в моменты спада пассажиропотока [137, 138].

Полученные теоретические решения создают качественно новую, полезную и пригодную для практического применения методическую основу для повышения эффективности перевозок пассажиров ГПМТ.

Методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом может применяться в следующих случаях:

- 1) для оптимизации работы ПТС на существующих маршрутах;
- 2) организации работы ПТС на маршрутах при изменении МС города и величины пассажиропотоков, перераспределения их по маршрутам, времени, направлениям и участкам;
- 3) определения рациональной структуры парка ПТС для перевозки пассажиров на городских маршрутах.

Для решения задачи оптимизации необходимы следующие исходные данные:

- 1) общий часовый объем перевозок пассажиров на маршруте $Q_{\text{общ.ч}}$, пас./ч;
- 2) максимальный часовой пассажиропоток по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении $Q_{\text{пч}}$, пас./ч;
- 3) параметры зависимости затрат на 1 километр $a_{\text{км1}}$ и 1 час работы транспортных средств $a_{\text{ч1}}$;
- 4) стоимость потерь пассажира за 1 час ожидания транспорта $C_{\text{пч}}$, руб.;
- 5) длина оборота транспортных средств на маршруте l_0 , км;
- 6) длительность периода оборота на маршруте t_0 , ч;
- 7) коэффициенты: внутрисуточной неравномерности пассажиропотока $k_{\text{вн}}$, сменности пассажиров за один рейс ПТС на маршруте $\eta_{\text{см}}$, неравномерности пассажиропотока по участкам маршрута за оборот ПТС $k_{\text{нер}}$.

Практическое применение методики осуществляется путем последовательной реализации процедур, показанных на рисунке 5.1.

Рассмотрим исследовательский инструментарий и отличительные особенности предложенной методики более подробно.

На первом этапе методика предусматривает постановку целей и задач исследования, а также формирование массива исходных данных.

Источником исходных данных являются результаты обследований маршрутной сети и статистическая отчетность пассажирских автотранспортных предприятий.

По методике, описанной в третьем разделе получены данные о пассажирообмене на остановочных пунктах маршрутной сети города Гомеля, обработка которых позволила получить сведения о величине общечасовых объемов перевозок (таблица 5.1) и основные показатели работы транспортных средств на маршрутах (таблица 5.2).

Таблица 5.1 – Часовой объем перевозок пассажиров в прямом и обратном направлениях на маршрутах города Гомеля

Маршрут	Направление	Время суток																	
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
1	прямое	132	1312	223	455	532	296	437	359	315	425	537	1321	879	742	469	428	141	31
	обратное	209	1228	578	646	555	464	246	255	241	276	309	1148	986	173	259	187	73	24
2	прямое	231	421	114	137	92	118	0	0	0	88	94	279	224	117	100	0	0	0
	обратное	96	420	175	163	129	65	0	0	0	251	63	310	227	74	61	0	0	0
3	прямое	113	147	180	325	115	319	223	96	166	234	166	267	203	72	58	51	23	13
	обратное	97	265	178	106	340	172	202	104	87	117	180	296	269	107	85	64	42	21
4	прямое	231	821	480	217	431	216	268	362	331	314	186	654	408	274	242	235	94	18
	обратное	213	779	300	183	183	559	452	393	417	459	166	735	570	321	169	155	138	32
5	прямое	156	811	95	114	161	178	136	197	154	147	295	877	499	103	77	54	0	0
	обратное	125	787	195	108	123	158	178	170	153	241	436	1022	524	150	111	47	0	0
6	прямое	21	631	67	37	35	95	86	81	96	157	185	542	433	65	54	31	0	0
	обратное	35	486	71	101	83	177	134	106	101	52	83	502	530	51	43	41	0	0
7	прямое	75	758	246	238	207	197	184	106	98	273	182	538	467	158	75	60	41	0
	обратное	95	747	238	158	240	126	124	111	95	106	226	582	535	167	118	89	51	0
7а	прямое	77	801	200	172	292	142	97	71	89	426	223	749	542	165	141	97	54	21
	обратное	141	625	203	263	301	211	102	94	174	235	332	847	667	129	120	94	65	17
8	прямое	171	748	361	409	295	281	205	132	103	183	172	658	601	118	127	51	34	19
	обратное	134	863	373	417	423	256	225	192	126	95	436	723	558	241	115	63	42	15
8а	прямое	87	625	121	105	343	207	282	201	132	86	172	603	571	170	231	184	87	0
	обратное	65	589	112	86	72	310	135	117	83	79	61	693	624	61	100	142	121	0

Окончание таблицы 5.1

Маршрут	Направление	Время суток																	
		6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21	21–22	22–23	23–24
9	прямое	74	787	84	51	121	77	145	70	121	74	128	567	641	228	152	79	42	28
	обратное	87	564	189	109	243	89	98	91	56	44	114	764	634	70	75	61	54	31
10	прямое	163	511	332	303	212	246	360	440	215	192	297	787	538	187	97	84	47	0
	обратное	125	466	232	300	406	245	252	260	143	175	146	814	895	124	109	97	54	0
11	прямое	184	657	260	276	180	148	156	225	388	340	476	613	411	148	216	196	108	74
	обратное	176	583	516	424	352	120	112	224	237	240	300	603	525	228	128	144	164	96
12	прямое	337	889	447	469	289	233	246	186	177	128	296	747	497	306	257	187	124	75
	обратное	285	840	314	396	355	354	215	232	185	311	337	806	692	310	219	168	105	81
13	прямое	142	222	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	обратное	38	253	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	прямое	33	656	71	58	52	66	71	77	34	36	46	312	222	71	48	43	0	0
	обратное	41	550	83	61	84	93	72	57	34	34	31	363	215	52	34	25	0	0
16	прямое	200	1302	600	441	441	635	394	341	365	394	635	1321	1131	467	355	283	146	87
	обратное	158	1215	764	587	494	494	358	435	387	412	435	1347	1146	647	411	314	175	98
19	прямое	87	421	147	152	84	159	103	119	81	112	159	421	255	79	68	61	41	0
	обратное	74	389	172	131	151	137	226	137	96	137	172	481	457	128	95	79	37	0
20	прямое	166	874	206	192	369	275	302	409	303	217	323	754	644	264	286	183	99	35
	обратное	154	780	172	217	306	226	241	287	255	257	206	812	817	160	151	129	87	34
21	прямое	151	598	74	90	60	77	68	45	125	58	81	634	403	84	65	77	24	0
	обратное	136	599	135	106	84	42	36	40	51	164	41	543	500	75	58	48	35	0

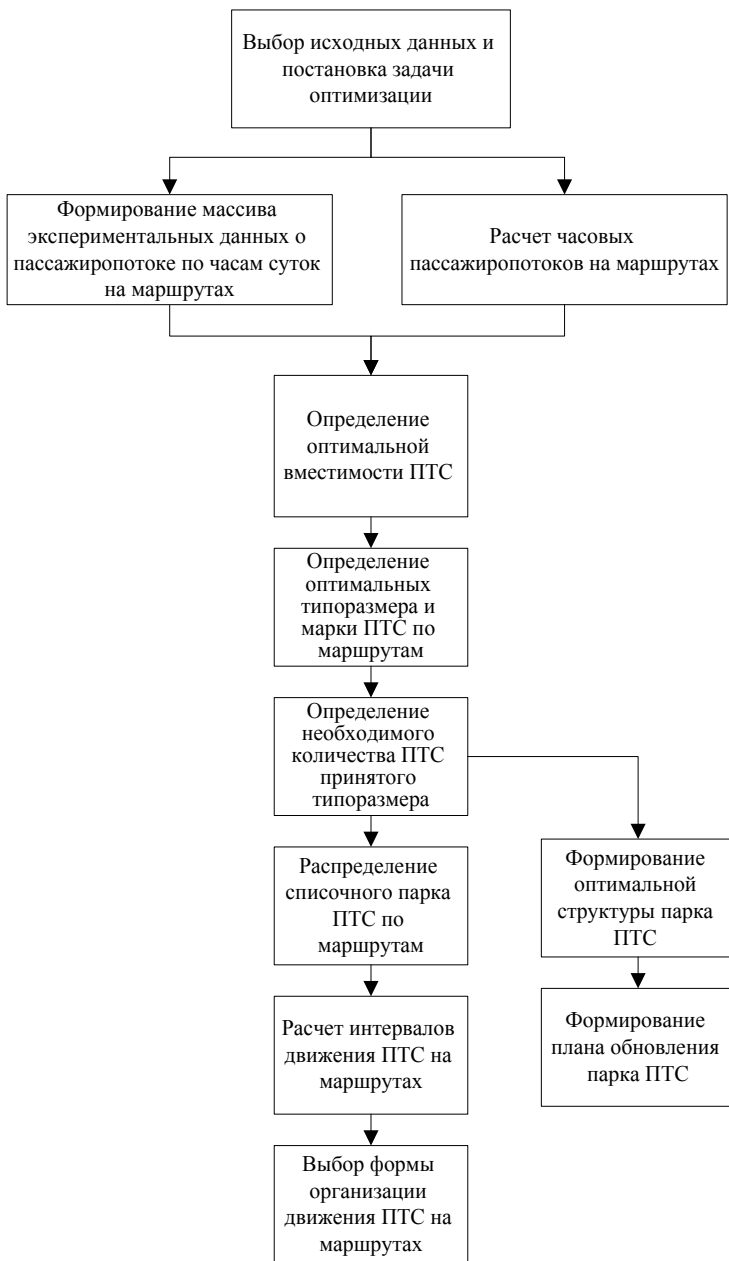


Рисунок 5.1 – Алгоритм реализации разработанной методики

Таблица 5.2 – Показатели работы транспортных средств на маршрутах

Маршрут	l_0 , км	l_{cp} , км	η_{cm}	$k_{пер}$	$K_{вн}$	t_0 , ч
1	14,6	3,51	2,08	1,89	1,25	1,15
4	21,2	5,69	1,86	1,51	1,25	1,37
5	23,6	3,23	3,65	1,69	1,25	1,47
12	32,2	3,73	4,32	1,40	1,25	2,06
16	24,2	3,96	3,06	1,90	1,25	1,65
25	25,0	4,27	2,93	1,76	1,25	1,65

По данным работы перевозчика корреляционно-регрессионным анализом устанавливаются значения параметров зависимости затрат на 1 километр $a_{км1}$ и 1 час работы транспортных средств.

Имеется ряд значений стоимости одного километра $S_{км}$ и одного часа $S_ч$ работы транспортного средства при соответствующем значении его вместимости (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Затраты на 1 час и 1 км работы автобусов по маркам

Марка	Вместимость, $q_{н}$, пас.	Затраты за 1 ч $S_ч$, руб./ч	Затраты за 1 км $S_{км}$, руб./км
ГАЗ-22171 Соболь	10	7,87	0,25
ГАЗ-332132	13	6,99	0,29
АО-9201, АО-9202	41	10,53	0,35
МАЗ-256	43	8,81	0,38
АО-9212 Радимич	45	11,23	0,39
МАЗ-206	72	11,59	0,48
МАЗ-103	90	10,35	0,64
МАЗ-107	145	12,52	0,64
МАЗ-105, МАЗ-215	175	13,09	0,75

Требуется найти уравнения вида

$$S_{км}(q) = a_{км1} + a_{км2}q; S_ч(q) = a_{ч1} + a_{ч2}q.$$

Для определения коэффициентов уравнения зависимости часовых затрат от вместимости ПТС воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$a_{ч1} = \bar{S}_ч - a_{ч2}q_{cp}; a_{ч2} = \frac{\sum_{k=1}^r ((q_k - q_{cp})(S_{чk} - \bar{S}_ч))}{\sum_{k=1}^r (q_k - q_{cp})^2}; q_{cp} = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r q_k; \bar{S}_ч = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r S_{чk}.$$

Аналогично для коэффициентов уравнения зависимости затрат на километр пробега от вместимости ПТС:

$$a_{\text{км1}} = \overline{S_{\text{км}}} - a_{\text{км2}} q_{\text{ср}}; a_{\text{км2}} = \frac{\sum_{k=1}^r ((q_k - q_{\text{ср}})(S_{\text{кмк}} - \overline{S_{\text{км}}}))}{\sum_{k=1}^r (q_k - q_{\text{ср}})^2}; \overline{S_{\text{км}}} = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r S_{\text{кмк}}.$$

Используя программу *Excel* пакета *Microsoft Office*, построим графики (рисунки 5.2 и 5.3) зависимости затрат на 1 км пробега и 1 час работы ПТС от их вместимости и определим уравнения зависимости $S_{\text{км}} = f(q)$ $S_{\text{ч}} = f(q)$.

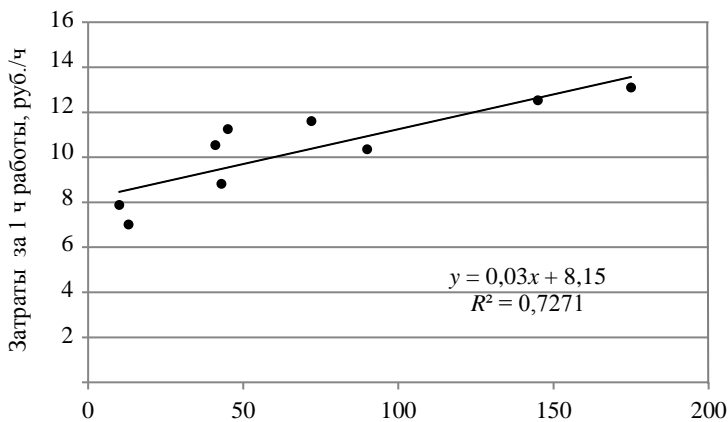


Рисунок 5.2 – График зависимости затрат за 1 ч работы ПТС от их вместимости

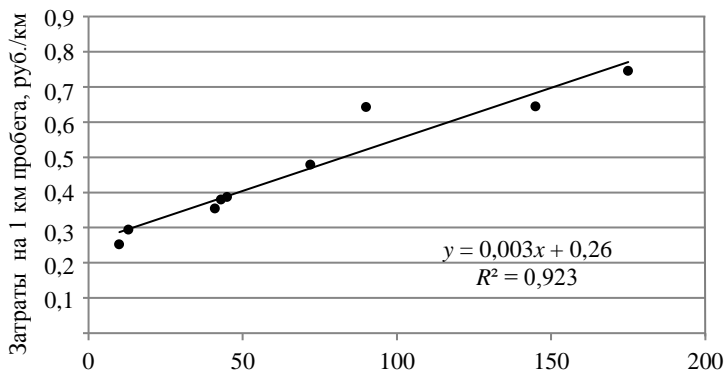


Рисунок 5.3 – График зависимости затрат на 1 км пробега ПТС от их вместимости

Таким образом, зависимость позволяет рассчитать затраты:

– на 1 км пробега транспортного средства на маршрутах –

$$S_{\text{км}} = 0,26 + 0,003q; \quad (5.1)$$

– на 1 час работы транспортного средства на маршрутах –

$$S_{\text{ч}} = 8,15 + 0,03q. \quad (5.2)$$

Параметры зависимостей для расчета оптимальной вместимости $a_{\text{км1}} = 0,26$; $a_{\text{км2}} = 0,003$; $a_{\text{ч1}} = 8,15$, $a_{\text{ч2}} = 0,03$.

Значение $C_{\text{пч}}$ принимается на основе часовой минимальной заработной платы, установленной в Республике Беларусь, на момент выполнения расчетов в размере 1,28 руб. [122].

Длина оборота транспортных средств на маршруте l_0 , км, и длительность периода оборота на маршруте t_0 , ч, принимается на основании плана-заказа на выполнение транспортной работы по перевозке пассажиров в будние и выходные дни.

Коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока $k_{\text{вн}}$ определяется по данным обследования МС, при их отсутствии принимается равным 1,25.

Коэффициент сменности пассажиров за один рейс пассажирского транспортного средства на маршруте $\eta_{\text{см}}$ определяется по формуле

$$\eta_{\text{см}} = l_{\text{м}}/l_{\text{ср}}.$$

Коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам маршрута за оборот пассажирского транспортного средства $k_{\text{нер}}$, определяется по формуле (3.62)

$$k_{\text{нер}} = Q_{\text{пч}}/Q_{\text{ср.ч}}.$$

После формирования массива исходных данных на втором этапе реализации методики производится расчет значения оптимальной пассажироместности транспортных средств исходя из выражения (3.67) в случае, если известно значение максимального часового пассажиропотока по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении $Q_{\text{пч}}$:

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{пч}} k_{\text{нер}} (l_0 a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} t_0)}{C_{\text{пч}} \eta_{\text{см}}}}$$

или из выражения (3.73), если известно значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{\text{общ.ч}}$:

$$q_{\text{опт}} = \frac{k_{\text{пер}}}{\eta_{\text{см}}} \sqrt{\frac{Q_{\text{общ.ч}} K_{\text{вн}} (l_0 a_{\text{км1}} + a_{\text{ч1}} t_0)}{2C_{\text{пч}}}}$$

Данные о величине часовых пассажиропотоков на маршрутах приведены в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Величина часовых пассажиропотоков на маршрутах

Время суток	Величина пассажиропотока $Q_{\text{общ.ч}}$, пас./ч, на маршрутах					
	1	4	5	12	16	25
6–7	341	444	281	622	358	432
7–8	2540	1600	1598	1729	2517	1920
8–9	1978	780	290	761	1364	522
9–10	1101	400	222	865	1028	525
10–11	1087	614	284	644	935	537
11–12	760	775	336	587	1129	361
12–13	683	720	314	461	752	281
13–14	614	755	367	418	776	360
14–15	556	748	307	362	752	389
15–16	701	773	388	439	806	589
16–17	846	352	731	633	1070	658
17–18	2469	1389	1899	1553	2668	1799
18–19	1865	978	1023	1189	2277	1643
19–20	915	595	253	616	1114	521
20–21	728	411	188	476	766	409
21–22	615	390	101	355	597	323
22–23	214	232	0	229	321	150
23–24	55	50	0	156	185	97

Пример расчета оптимальной пассажироместимости транспортных средств для работы на маршрутах с учетом изменчивости пассажиропотока по часам суток при известном значении общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{\text{общ.ч}}$ представлен ниже в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Оптимальная вместимость ПТС для работы на маршрутах по периодам суток

Время суток	Оптимальная вместимость ПТС по маршрутам					
	1	4	5	12	16	25
6–7	61	70	33	41	54	56
7–8	165	132	78	67	137	117
8–9	146	92	34	45	101	61
9–10	109	66	29	48	88	61
10–11	58	82	33	41	84	62
11–12	91	92	36	39	92	51
12–13	86	89	35	35	75	45
13–14	81	91	38	33	76	51
14–15	78	90	35	31	75	53
15–16	87	92	39	34	78	65
16–17	96	62	53	41	90	68
17–18	163	123	85	64	141	113
18–19	142	103	63	56	130	108
19–20	99	81	31	40	91	61
20–21	89	67	27	36	76	54
21–22	82	65	20	31	67	48
22–23	48	51	19	25	49	33
23–24	41	41	18	21	38	27

Полученные значения оптимальной вместимости являются исходными данными для определения оптимального типоразмера и марки ПТС для работы на маршрутах.

Третий этап методики заключается в определении оптимального типоразмера и марки ПТС для работы на маршрутах. Критерием оптимизации в данном случае выступает минимум потерь, вызванных работой на маршрутах ПТС неоптимальной вместимости для конкретного периода времени (час, смена, день) на маршруте по методике, разработанной в п. 3.4 [147], за счет применения транспортных средств пассажировместимости, близкой к оптимальной.

Задача ставится в следующем виде:

1) имеются ресурсы k распределены в виде общей пассажировместимости $Q_{\text{общ}i}$ различных i -х типоразмеров общим числом m ($i = \overline{1, m}$). Значение

$Q_{\text{общ}i}$ определяются как произведение числа списочных транспортных средств i -х типоразмеров на соответствующую пассажировместимость одного ПТС;

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

3) в качестве стоимости C_{kj} ($k = \overline{1, r}$; $j = \overline{1, n}$) для решения задачи устанавливается удельное значение затрат, определенных на основе целевой функции (3.47) в части, зависимой от пассажировместимости транспортного средства, в отношении к требуемой на маршруте пассажировместимости $Q_{\text{опт}ji}$. [формула (3.60)] [138, 147]:

$$C_{kj} = \frac{l_{oj}}{t_{oj}} \left(\frac{a_{\text{км}1k}}{q_k} + \frac{C_{\text{пч}} q_k}{2k_{\text{вн}j}^2 k_{\text{нер}j} l_{\text{пн}j} Q_{\text{пч}j}} \right);$$

если известно только значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{\text{общ.ч}}$, то расчет стоимости выполняется по формуле (3.61) [136, 147]:

$$C_{kj} = \frac{l_{oj}}{t_{oj}} \left(\frac{a_{\text{км}1k}}{q_k} + \frac{C_{\text{пч}} q_k \eta_{\text{см}}}{k_{\text{вн}j} k_{\text{нер}j}^2 l_{\text{пн}j} Q_{\text{общ.ч}}} \right),$$

где l_{oj} – длина оборота транспортных средств на j -м маршруте, км; t_{oj} – длительность периода оборота на j -м маршруте, ч; $a_{\text{км}1k}$ – параметры зависимости затрат на 1 км пробега ПТС k -го типоразмера, руб/км; q_k – вместимость ПТС k -го типоразмера, пас.; $C_{\text{пч}}$ – стоимость потерь пассажира за 1 ч ожидания транспорта, руб./ч; $k_{\text{вн}j}$ – коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока; $k_{\text{нер}j}$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам j -го маршрута за оборот пассажирского транспортного средства; $l_{\text{пн}j}$ – среднее расстояние поездки пассажира на j -м маршрутах, км; $Q_{\text{пч}j}$ – максимальный часовой пассажиропоток по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении, пас./ч.

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

Для решения задачи определения оптимального типоразмера и марки ПТС для работы на маршруте их число принимается на основании данных перевозчика о количестве списочного количества ПТС по маркам и моделям (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Характеристика парка ПТС для работы на маршрутах

Марка ПТС	Количество ПТС	Вместимость ПТС, пас.	
		одного	общая
МАЗ-103	12	90	1080
МАЗ-105	25	175	4375
АО-9212	5	45	225
МАЗ-206	13	72	936
МАЗ-107	25	145	3190

Для решения задачи по формуле (3.61) произведем расчет стоимостей C_{kj} – удельное значение затрат, определенных на основе целевой функции (3.66), в части, зависимой от пассажировместимости транспортного средства, в отношении к необходимой на маршруте пассажировместимости $Q_{вмj}$, по формуле (3.80).

Пример расчета стоимостей C_{kj} приведен в таблице 5.7. Аналогично расчет C_{kj} производился и для других периодов времени.

Таблица 5.7 – Расчет стоимостей C_{kj} в период времени с 7-00 до 8-00

Номер маршрута j	Часовой пассажиропоток $Q_{общj}$, пас./ч	Длина оборота l_{oj} , км	Время оборота t_{oj} , мин	Коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам маршрута за оборот $k_{нер}$	Среднее расстояние поездки пассажиров $l_{пнj}$, км	Пассажировместимость ПТС, пас.	Стоимость C_{kj} , руб./пас.ч
1	2540	14,6	58	1,89	3,51	45	948
4	1600	21,2	70	1,51	5,69	45	1163
5	1598	23,6	78	1,69	3,23	45	1232
12	1729	32,2	115	1,40	3,73	45	1135
16	2517	24,2	88	1,90	3,96	45	1026
25	1920	25,0	88	1,76	4,27	45	1086
1	2540	14,6	58	1,89	3,51	72	674
4	1600	21,2	70	1,51	5,69	72	846
5	1598	23,6	78	1,69	3,23	72	957
12	1729	32,2	115	1,40	3,73	72	876
16	2517	24,2	88	1,90	3,96	72	720
25	1920	25,0	88	1,76	4,27	72	785

Окончание таблицы 5.7

Номер маршрута j	Часовой пассажиропоток $Q_{общj}$, пас./ч	Длина оборота l_{oj} , км	Время оборота t_{oj} , мин	Коэффициент неравномерности пассажиропотока по участкам маршрута за оборот $k_{нер}$	Среднее расстояние поездки пассажиров $l_{ппj}$, км	Пассажировместимость ПТС, пас.	Стоимость $C_{кп}$ руб./пас.ч
1	2540	14,6	58	1,89	3,51	90	598
4	1600	21,2	70	1,51	5,69	90	765
5	1598	23,6	78	1,69	3,23	90	904
12	1729	32,2	115	1,40	3,73	90	825
16	2517	24,2	88	1,90	3,96	90	634
25	1920	25,0	88	1,76	4,27	90	707
1	2540	14,6	58	1,89	3,51	145	535
4	1600	21,2	70	1,51	5,69	145	716
5	1598	23,6	78	1,69	3,23	145	941
12	1729	32,2	115	1,40	3,73	145	852
16	2517	24,2	88	1,90	3,96	145	553
25	1920	25,0	88	1,76	4,27	145	654
1	2540	14,6	58	1,89	3,51	175	544
4	1600	21,2	70	1,51	5,69	175	742
5	1598	23,6	78	1,69	3,23	175	1014
12	1729	32,2	115	1,40	3,73	175	915
16	2517	24,2	88	1,90	3,96	175	556
25	1920	25,0	88	1,76	4,27	175	675

Пример расчета необходимой общей пассажировместимости ПТС $Q_{вмj}$ на маршрутам приведен в таблицах 5.8–5.10.

Используя результаты расчетов стоимостей (см. таблицу 5.7) и оптимальной пассажировместимости транспортных средств (см. таблицу 5.5), составим таблицу исходных данных для решения задачи распределения общей пассажировместимости ПТС по маршрутам (см. таблицу 5.8).

Пример распределения общей пассажировместимости ПТС в будний день по предложенным маршрутам перевозок пассажиров для периода времени с 7-00 до 8-00 часов на основе решения транспортной задачи линейного программирования приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Исходная таблица для распределения общей пассажировместимости ПТС по маршрутам в период времени с 7-00 до 8-00 ч

Номер маршрута j	Оптимальная вместимость транспортных средств, пас.	Распределение общей пассажировместимости ПТС $Q_{вмij}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пас.				
		АО-9212 (45)	МА3-206 (72)	МА3-103 (90)	МА3-107 (145)	МА3-105 (175)
1	165	948	674	598	535	544
4	132	1163	846	765	716	742
5	78	1232	957	904	941	1014
12	67	1135	876	825	852	915
16	137	1026	720	634	553	556
25	117	1086	785	707	654	675
Общая вместимость (количество) ПТС		225(5)	936(13)	1080(12)	3190(25)	4375(25)

Таблица 5.9 – Распределение общей пассажировместимости ПТС по маршрутам для периода времени с 7-00 до 8-00 часов

Номер маршрута j	Оптимальная вместимость транспортных средств, пас.	Распределение общей пассажировместимости ПТС $Q_{вмij}$ по маршрутам в зависимости от их вместимости, пас.				
		АО-9212 (45)	МА3-206 (72)	МА3-103 (90)	МА3-107 (145)	МА3-105 (175)
1	165					175
4	132				145	
5	78			90		
12	67		72			
16	137				145	
25	117				145	
Общая вместимость		225(5)	936(13)	1080(12)	3190(25)	4375(25)

Исходя из распределения общей пассажировместимости ПТС по маршрутам для периода времени принимаются следующие значения необходимой пассажировместимости ПТС в период времени с 7-00 до 8-00 (см. таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Необходимое распределение общей пассажировместимости ПТС по маршрутам для периода времени с 7-00 до 8-00 ч

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

Принятые значения необходимой пассажировместимости, марка и модель ПТС по часам суток по маршрутам представлены в таблице 5.11.

Таким образом, получено значение необходимой пассажировместимости транспортных средств $q_{пр}$, близкое к оптимальному по маршрутам для всех периодов времени, а также марка (модель) транспортного средства.

Четвертый этап заключается в определении необходимого количества транспортных средств для работы на маршрутах по часам суток принятого типоразмера.

Количество ПТС для работы на маршруте для конкретного периода времени в случае, когда известно значение общего часового объема перевозок пассажиров на маршруте $Q_{общ.ч}$, определяется по формуле [138]

$$A = \frac{Q_{общ.ч} k_{пер} k_{вн} t_o}{2q_{пр} \eta_{см}}, \quad (5.3)$$

или, если известно значение максимального часового пассажиропотока по участкам маршрута в наиболее напряженном направлении $Q_{пч}$, по следующей формуле [147]

$$A = \frac{Q_{пч} t_o}{q_{пр} \eta_{см}}. \quad (5.4)$$

Таблица 5.11 – Необходимая пассажироместность, марка и модель ПТС по часам суток на маршрутах

Номер маршрута	Марочный состав – (количество типоразмеров) ПТС по времени суток																	
	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21	21–22	22–23	23–24
1	МАЗ-206 (1)	МАЗ-105 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-105 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9201 (1)
4	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9201 (1)
5	МАЗ-256 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9201 (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	АО-9201 (1)	АО-9201 (1)	АО-9201 (1)	АО-9201 (1)	АО-9201 (1)
12	МАЗ-206 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9212 Радиомич (1)	АО-9201 (1)	МАЗ-256 (1)
16	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-103 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-256 (1)
25	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9212 Радиомич (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-107 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	МАЗ-206 (1)	АО-9201 (1)	МАЗ-256 (1)

После определения количества транспортных средств для работы на маршрутах определяется интервал движения ПТС.

$$I = t_0 / A. \quad (5.5)$$

Расчет количества ПТС необходимой пассажироместимости для работы на маршрутах и их интервалов движения в период времени с 7 до 8 ч, выполненный по формуле (5.3), приведен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет количества транспортных средств необходимой пассажироместимости и их интервалов движения

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

Расчеты количества ПТС необходимой пассажироместимости и их интервалов движения в остальные периоды суток приведены в таблицах (5.13, 5.14).

Таблица 5.13 – Количество ПТС необходимой вместимости по периодам суток

Время суток	Количество ПТС необходимой вместимости по маршрутам					
	1	4	5	12	16	25
6–7	4	5	3	4	4	4
7–8	10	8	8	9	12	9
8–9	9	4	6	5	7	5
9–10	5	4	3	6	8	5
10–11	5	5	3	4	7	5
11–12	6	4	4	4	5	4
12–13	5	6	3	5	6	4
13–14	5	6	4	4	6	4
14–15	5	6	3	4	6	4
15–16	6	4	4	5	6	6
16–17	4	4	5	4	8	6
17–18	10	7	6	8	12	8
18–19	9	5	5	6	11	8
19–20	5	5	3	4	5	5
20–21	6	4	2	5	6	4
21–22	5	4	2	4	6	3
22–23	2	3	1	3	3	3
23–24	1	1	1	2	3	2

Таблица 5.14 – Интервалы движения ПТС необходимой вместимости на маршрутах по периодам суток

Время суток	Интервал движения ПТС по маршрутам, мин					
	1	4	5	12	16	25
6–7	15	8	10	19	15	11
7–8	6	9	10	10	7	10
8–9	8	9	15	15	9	9
9–10	10	12	17	16	10	12
10–11	15	17	19	13	11	16
11–12	10	8	21	18	9	10
12–13	12	8	14	19	12	32
13–14	15	8	16	22	12	17
14–15	11	7	9	26	9	9
15–16	14	10	12	22	11	12
16–17	10	11	13	16	9	10
17–18	8	8	8	15	8	7
18–19	9	8	9	17	8	8
19–20	12	11	15	19	11	13
20–21	14	11	14	18	11	12
21–22	9	9	20	19	8	8
22–23	13	14	0	22	11	13
23–24	22	25	0	25	20	18

Данные таблиц 5.11–5.14 служат основанием для формирования оптимальной структуры парка ПТС для освоения сложившегося пассажиропотока с учетом его изменения по часам суток или распределения технически исправных ПТС из числа списочного парка состоящих на балансе транспортного предприятия, для работы на маршрутах.

Пятый этап реализации методики предусматривает распределение парка технически исправных транспортных средств, имеющихся у перевозчика, для работы на маршрутах.

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

1) имеются ресурсы к распределению в виде пассажировместимости Q_{ai} различных i -х типоразмеров общим числом m ($i = \overline{1, m}$). Значение Q_{ai} определяются как произведение числа технически исправных ПТС i -х типоразмеров на соответствующую пассажировместимость одного ПТС;

2) имеется потребность в ресурсах на j -х маршрутах в виде необходимой

пассажировместимости транспортных средств Q_{vmj} ($j = \overline{1, m}$). Общее число маршрутов n . Значения Q_{vmj} определяются как произведение средней необходимой пассажировместимости q_c на количество ПТС необходимой вместимости (см. таблицу 5.10).

Число ПТС i -х типоразмеров, назначаемых на j -й маршрут, определяется в соответствии с оптимальным значением Q_{rij} с учетом целочисленности работающих на маршруте ПТС и их общего числа по маркам и моделям.

Для решения задачи распределения ПТС их число для работы на маршруте принято на основании данных перевозчика о количестве технически исправных ПТС по маркам и моделям.

Таким образом, для работы на городских маршрутах распределяются: 13 ПТС марки МАЗ-206 с пассажировместимостью каждого 72 пас. (общая пассажировместимость – 936 пас.); 12 ПТС марки МАЗ-103 с пассажировместимостью каждого 90 пас. (общая пассажировместимость – 1080 пас.); 25 ПТС марки МАЗ-107 с пассажировместимостью каждого 145 пас. (общая пассажировместимость – 3190 пас.); 25 ПТС марки МАЗ-105 с пассажировместимостью каждого 175 пас. (общая пассажировместимость – 4375 пас.). 5 ПТС марки АО-9212 с пассажировместимостью каждого 45 пас. (общая пассажировместимость – 225 пас.). Исходные данные для распределения ПТС по маршрутам в период времени с 7 до 8 ч представлены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Исходные данные для распределения ПТС по маршрутам в период времени с 7 до 8 ч

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

Такая постановка задачи распределения ПТС по маршрутам является транспортной задачей линейного программирования, которая решается с применением одного из существующих алгоритмов [123]. Результат расчета представлен в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Результат распределения ПТС по маршрутам с 7 до 8 ч

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

Далее на основании принятого количества ПТС по формуле (5.5) рассчитываются интервалы движения ПТС на маршрутах (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Принятое количество ПТС, вместимость, марка (модель) и их интервалы движения с 7 до 8 ч на маршрутах

Номер маршрута j	Часовой пассажиропоток $Q_{\text{пчij}}$, пас./ч	Марка модель (количество) ПТС	Средняя пассажироместимость $q_{\text{с}}$, пас.	Время оборота на маршруте, мин	Принятое количество ПТС	Принятый интервал движения ПТС, мин
1	2540	МАЗ-105-175 (2) МАЗ-107-145 (9)	175	58	11	5
4	1600	МАЗ-107-145 (8)	145	70	8	9
5	1598	МАЗ-103-90 (8)	90	78	8	10
12	1729	МАЗ-103-72 (4) МАЗ-107-45 (3)	72	115	7	16
16	2517	МАЗ-105-175 (10)	145	88	10	9
25	1920	МАЗ-107-145 (9)	145	88	9	10

Результаты расчетов для других периодов суток представлены в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Распределение технически исправных ПТС по часам суток на маршрутах, марка и модель ПТС

№ маршрута	Марочный состав –вместимость (количество) ПТС по времени суток																	
	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21	21–22	22–23	23–24
1	МА3-206-72 (3); АО-9212-45(2)	МА3-107-145 (2); МА3-105-175 (9)	МА3-107-145 (9)	МА3-103-90 (9)	МА3-103-90 (3); МА3-107-145 (3)	МА3-206-72 (6); МА3-103-90 (1)	МА3-206-72 (6)	МА3-206-72 (6)	МА3-206-72 (6)	МА3-206-72 (4); МА3-103-90 (2)	МА3-105-175 (4)	МА3-107-145 (12)	МА3-107-145 (9)	МА3-103-90 (8)	МА3-206-72 (4); МА3-103-90 (3)	МА3-206-72 (5); МА3-103-90 (1)	МА3-206-72 (2)	АО-9212-45 (1)
4	МА3-103-90 (4)	МА3-107-145 (8)	МА3-103-90 (7)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (4); МА3-103-90 (2)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (4); МА3-107-145 (2)	МА3-206-72 (4)	МА3-105-175 (3); МА3-107-145 (4)	МА3-103-90 (8)	МА3-206-72 (4); МА3-103-90 (2)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (3)	АО-9212-45 (1)
5	АО-9212-45 (3)	МА3-103-90 (8)	МА3-206-72 (3); МА3-103-103-90 (2)	АО-9201-45 (3)	АО-9201-45 (3)	АО-9212-45 (4)	АО-9212-45 (3)	АО-9212-45 (4)	АО-9212-45 (3)	АО-9212-45 (4)	МА3-206-72 (5)	МА3-107-145 (6)	МА3-206-72 (6)	АО-9212-45 (3)	АО-9212-45 (2)	АО-9212-45 (2)	АО-9212-45 (1)	АО-9212-45 (1)
12	МА3-206-72 (4)	МА3-103-90 (4); МА3-107-145 (3)	МА3-206-72 (5)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (3)	АО-9212-45 (1); МА3-206-72 (2)	АО-9212-45 (2); МА3-206-72 (2)	АО-9212-45 (1); МА3-206-72 (3)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (1); МА3-103-90 (4)	МА3-206-72 (4)	АО-9212-45 (3); МА3-206-72 (1)	АО-9212-45 (2); МА3-206-72 (1)	АО-9212-45 (1); МА3-206-72 (1)	МА3-206-72 (1)	МА3-206-72 (1)
16	МА3-206-72 (4)	МА3-105-175 (10)	МА3-103-90 (3); МА3-107-145 (5)	МА3-103-90 (2); МА3-107-145 (3)	МА3-103-90 (7)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (7); МА3-107-145 (1)	МА3-105-175 (10)	МА3-107-145 (11)	МА3-103-90 (2); МА3-107-145 (4)	МА3-103-90 (6)	МА3-103-90 (5)	МА3-206-72 (3)	МА3-206-72 (2)
25	МА3-206-72 (2); МА3-103-90 (2)	МА3-107-145 (9)	МА3-206-72 (5)	МА3-206-72 (5)	МА3-206-72 (5)	АО-9212-45 (1); МА3-206-72 (4)	АО-9212-45 (2); МА3-206-72 (2)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (6)	МА3-103-90 (5)	МА3-105-175 (7)	МА3-105-175 (7)	МА3-206-72 (5)	МА3-206-72 (4)	МА3-206-72 (3)	АО-9212-45 (3)	АО-9212-45 (2)

В зависимости от величины интервала принимается решение о выборе формы организации работы транспортных средств на маршрутах. Численное значение интервала, при котором целесообразно организовать работу по расписанию, определенное на основе выполненных исследований составляет 15 мин. В случае, если расчетное значение интервала менее 15 мин, работа должна быть организована по интервалу, если более – по расписанию, доведенному до пассажира.

Для формирования оптимальной структуры парка транспортных средств для работы на маршрутах в условиях сложившихся или расчетных общечасовых пассажиропотоков необходимо на третьем этапе реализации методики изменить ресурсы к распределению таким образом, чтобы количество ПТС каждого типоразмера было больше или равно количеству обслуживаемых парком ПТС маршрутов, а количество типоразмеров транспортных средств соответствовало бы номенклатуре транспортных средств для перевозки пассажиров, доступных для приобретения. Затем выполнить четвертый этап методики, по завершении которого будет получена оптимальная структура парка ПТС для работы на маршрутах, а именно – марка и модель ПТС и их количество для работы на маршрутах.

Таким образом, рассмотренная методика применима для решения многих задач по организации и управлению городскими перевозками пассажиров маршрутизированным транспортом, позволяет получать оптимальные значения пассажироместимости, количества и марки ПТС, а также интервалов их движения на маршрутах в зависимости от изменения часового пассажиропотока по часам суток.

5.2 Разработка алгоритма и компьютерной программы оптимизации параметров функционирования городского маршрутизированного транспорта

Использование современных средств и методов для оптимизации функционирования ГПМТ позволит обоснованно и осознанно принимать решения. Это обуславливает необходимость автоматизации работы специалистов, отвечающих за управление работой городского маршрутизированного транспорта, и делает разработку компьютерной программы актуальной.

В основу конструирования компьютерной программы положены следующие принципы [124, 125, 135]:

1 Максимальная ориентация на конечного пользователя, достигаемая созданием инструментальных средств в адаптации к уровню подготовки пользователя.

2 Формализация профессиональных знаний, т.е. возможность предоставления с помощью компьютерной программы самостоятельно автоматизировать новые функции и решать новые задачи.

3 Проблемная ориентация компьютерной программы на решение определенного класса задач, объединенных общей технологией обработки информации, единством режимов работы и эксплуатации.

4 Модульность построения, обеспечивающая сопряжение компьютерной программы с другими элементами системы обработки информации, а также модификацию и наращивание ее возможностей без прерывания функционирования.

5 Эргономичность, т.е. создание для пользователя комфортных условий труда и дружественного интерфейса общения с системой.

Базой для проектирования компьютерной программы служат результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований [127–136]. Они могут быть использованы структурами в администрации города, отвечающими за организацию работы общественного транспорта, операторами автомобильных перевозок, службами эксплуатации пассажирских автотранспортных предприятий.

В соответствии с результатами исследований разработана компьютерная программа, общий алгоритм которой представлен на рисунке 5.4, позволяющая реализовывать различные производственные сценарии:

- определение закономерностей изменения пассажиропотоков и определение пассажиропотока на перспективу;
- определение оптимальной вместимости пассажирских транспортных средств;
- распределение парка транспортных средств по маршрутам по критерию оптимальности;
- определение оптимального количества транспортных средств для работы на маршрутах;
- расчет интервалов движения пассажирских транспортных средств на маршрутах.

На основании разработанных алгоритмов создана компьютерная программа «Optima», выполненная на языке программирования – C# 2.0. Среда разработки MS Visual Studio версий 2010 и 2012, а в качестве платформы используется .NET Framework 4.5. и предназначена для работы под управлением операционной системы Microsoft Windows [124].

Microsoft Visual Studio – линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств. Данные продукты позволяют разрабатывать как консольные приложения, так и приложения с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии Windows Forms, а также веб-сайты, веб-приложения и веб-службы [125].

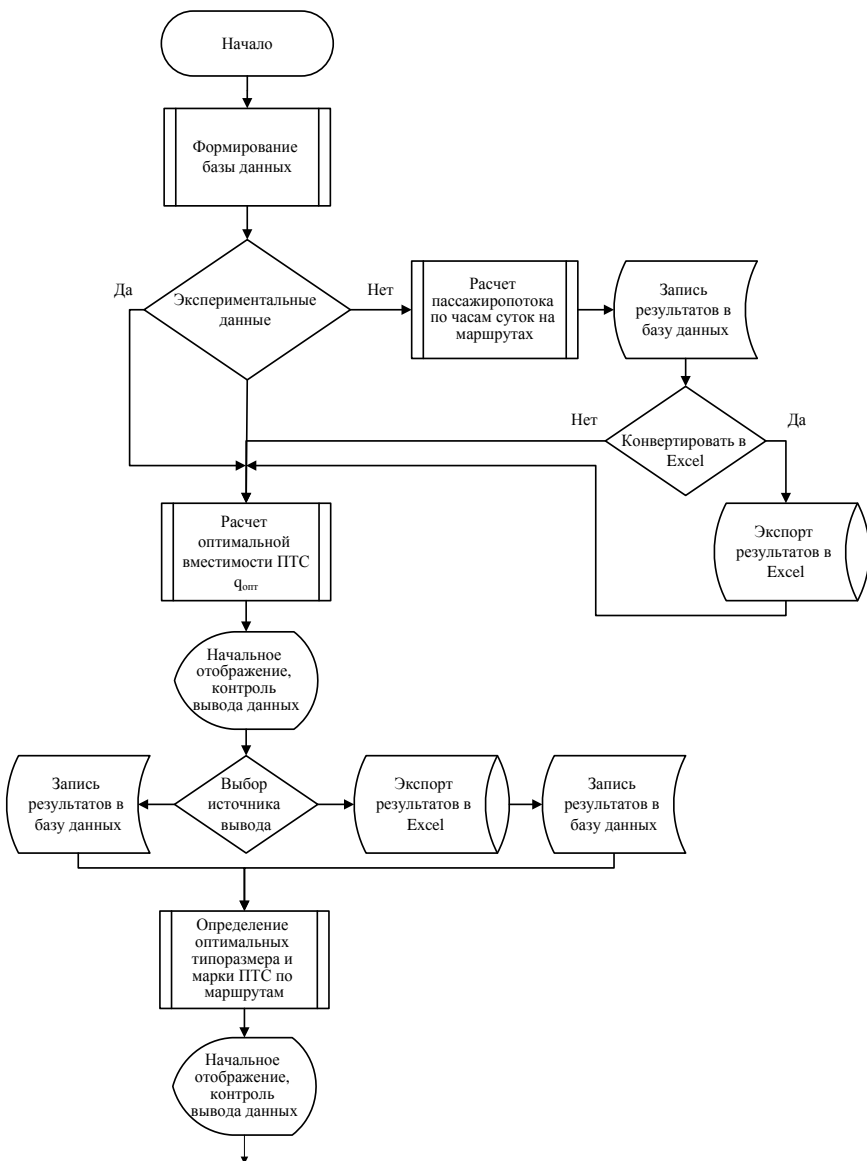


Рисунок 5.4 (начало) – Общий алгоритм компьютерной программы

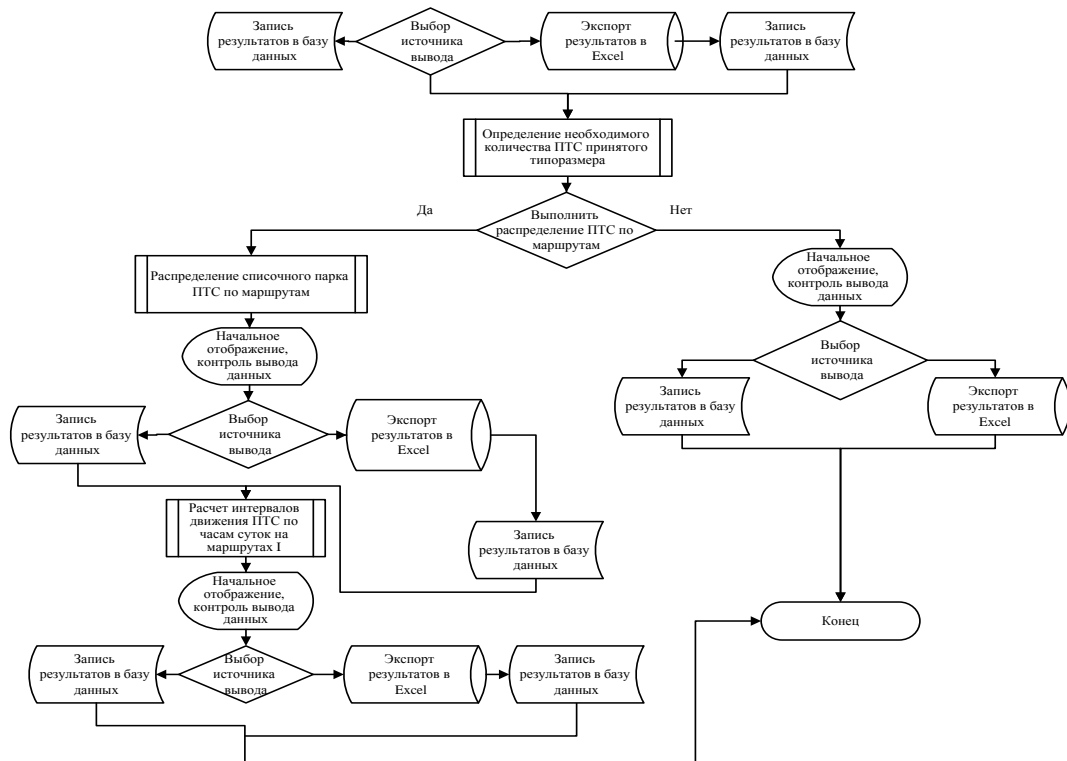


Рисунок 5.4 (окончание) – Общий алгоритм компьютерной программы

Пакет установки включает весь набор дополнительных библиотек, необходимых для работы программы и не требует дополнительных действий для корректной работы. Работа с программой построена в диалоговом режиме. При ошибке пользователя выводятся сообщения о характере ошибки и способах ее устранения. Результаты вычислений программы представляются в виде таблиц и графиков, удобных для восприятия.

В программе реализована возможность конвертирования результатов в формат удобный для возможного дальнейшего использования результатов вычислений в приложение Microsoft Excel пакета Microsoft Office. Экспортированные данные доступны для редактирования и дальнейшего использования по необходимости [152]. Подробные алгоритмы процедур, входящих в состав программы представлены на рисунках 5.5–5.12.

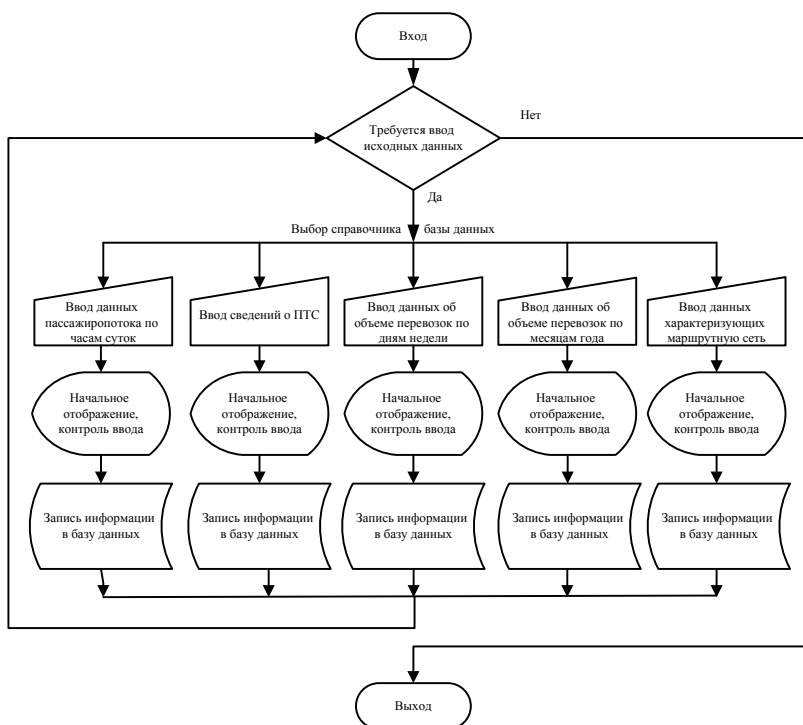


Рисунок 5.5 – Блок-схема алгоритма процедуры формирования базы данных программы

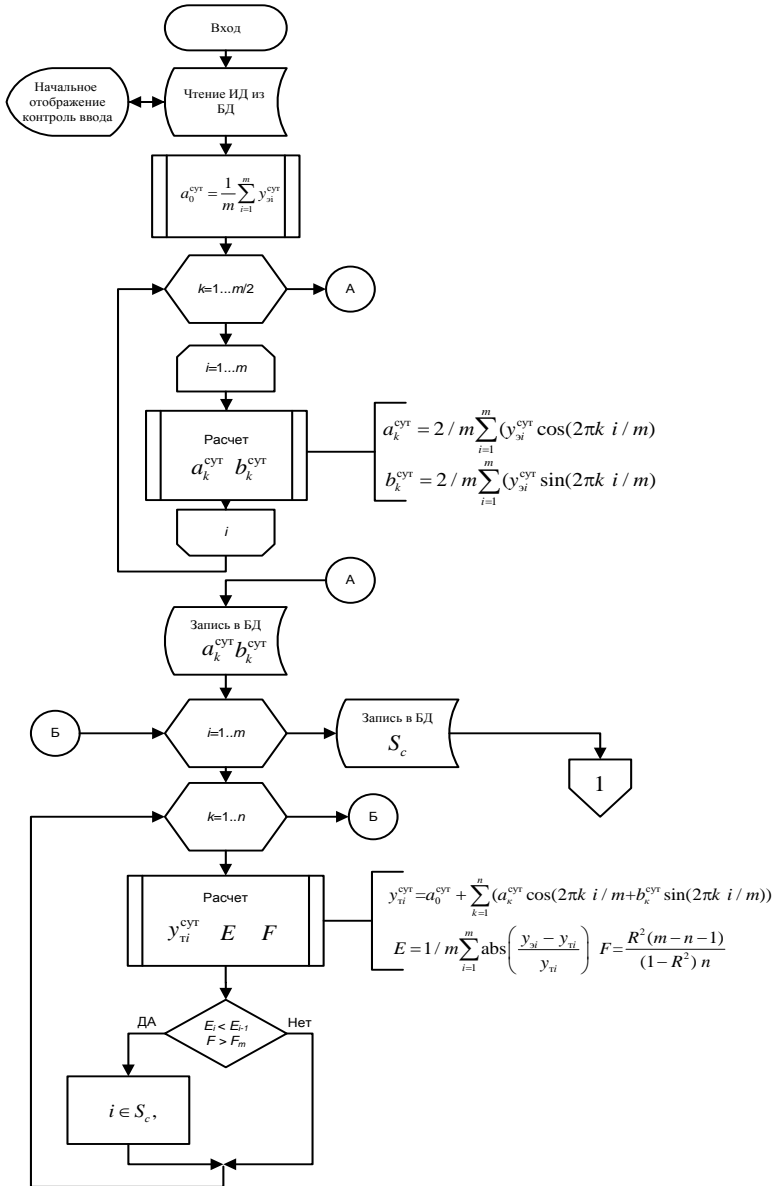


Рисунок 5.6 – Блок-схема алгоритма процедуры расчета величины пассажиропотока по часам суток (поиск суточного тренда)

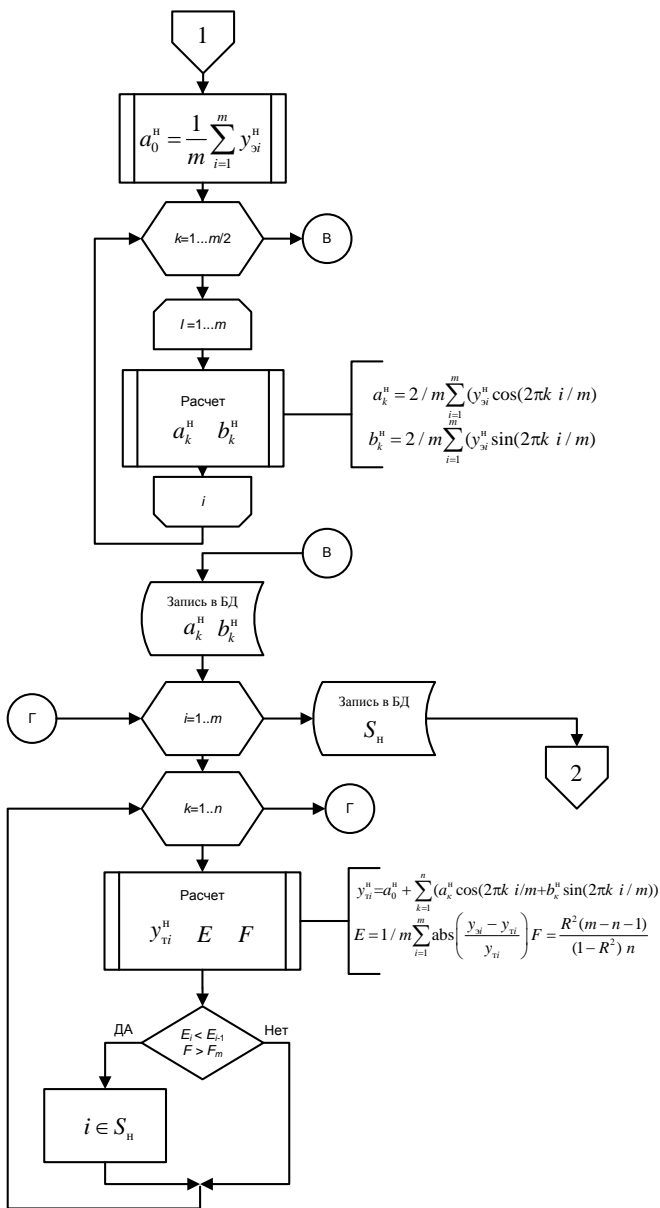


Рисунок 5.7 – Блок-схема алгоритма процедуры расчета величины пассажиропотока по часам суток (поиск недельного тренда)

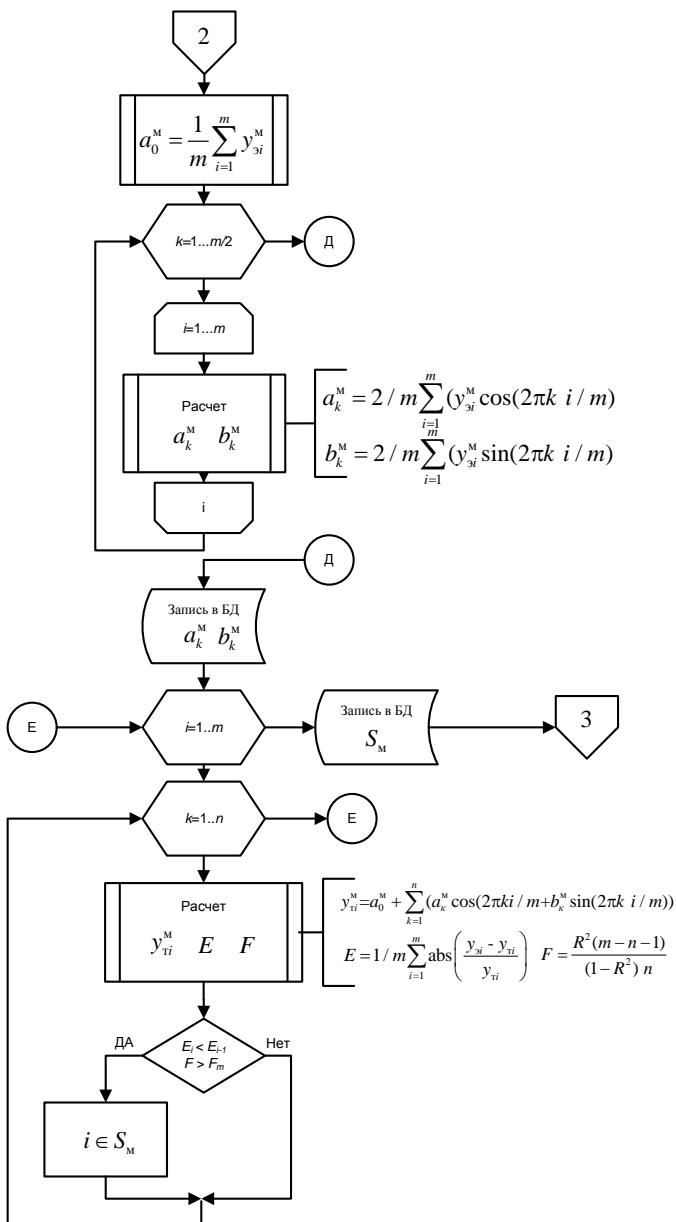


Рисунок 5.8 – Блок-схема алгоритма процедуры расчета величины пассажиропотока по часам суток (поиск месячного тренда)

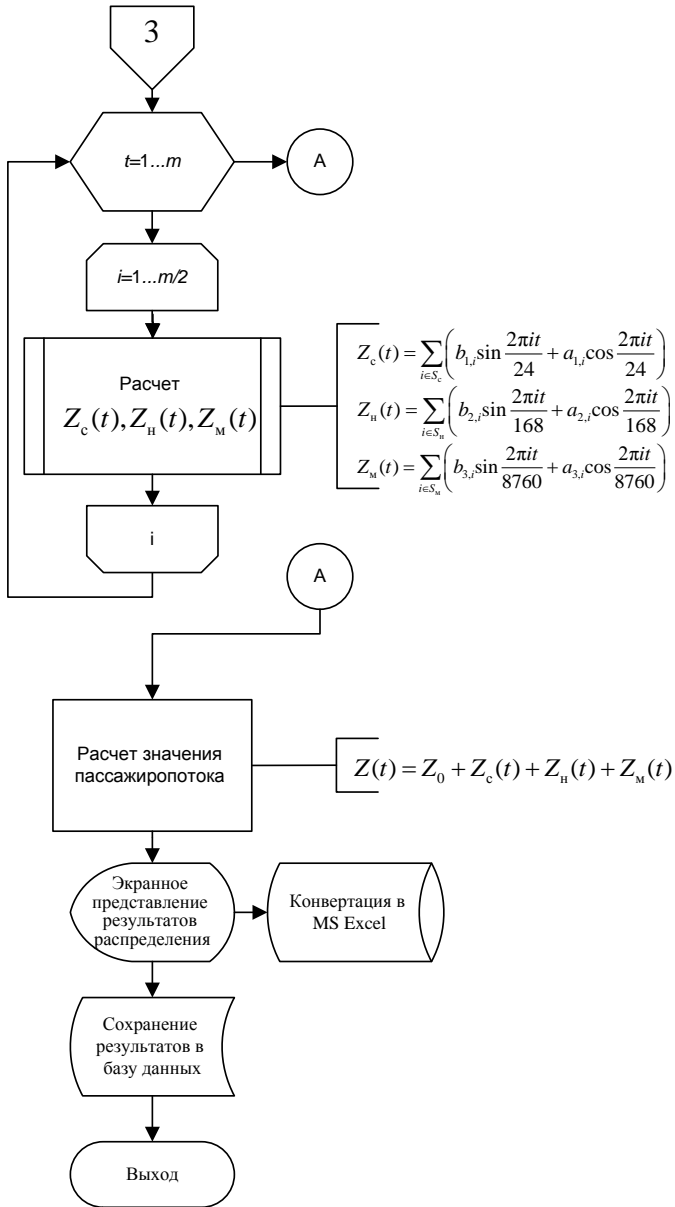


Рисунок 5.9 – Блок-схема алгоритма процедуры расчета величины пассажиропотока по часам суток

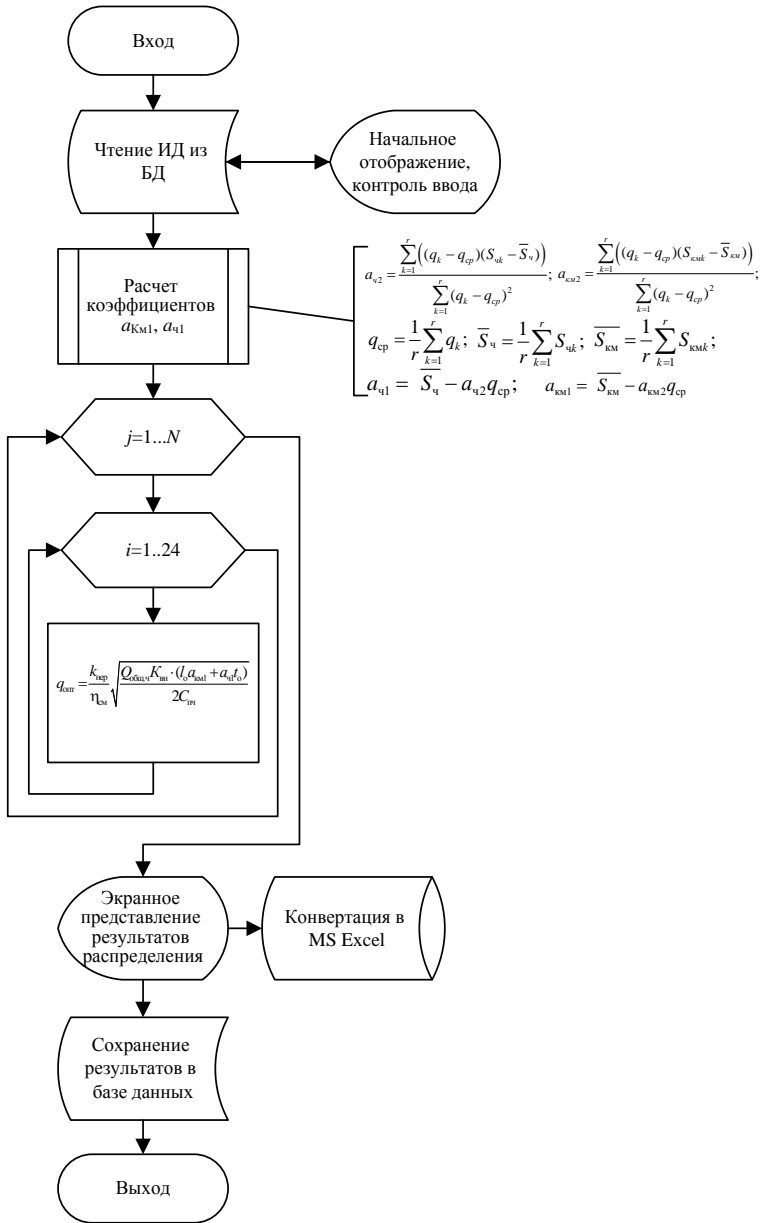


Рисунок 5.10 – Блок-схема алгоритма процедуры определения рациональной вместимости транспортных средств

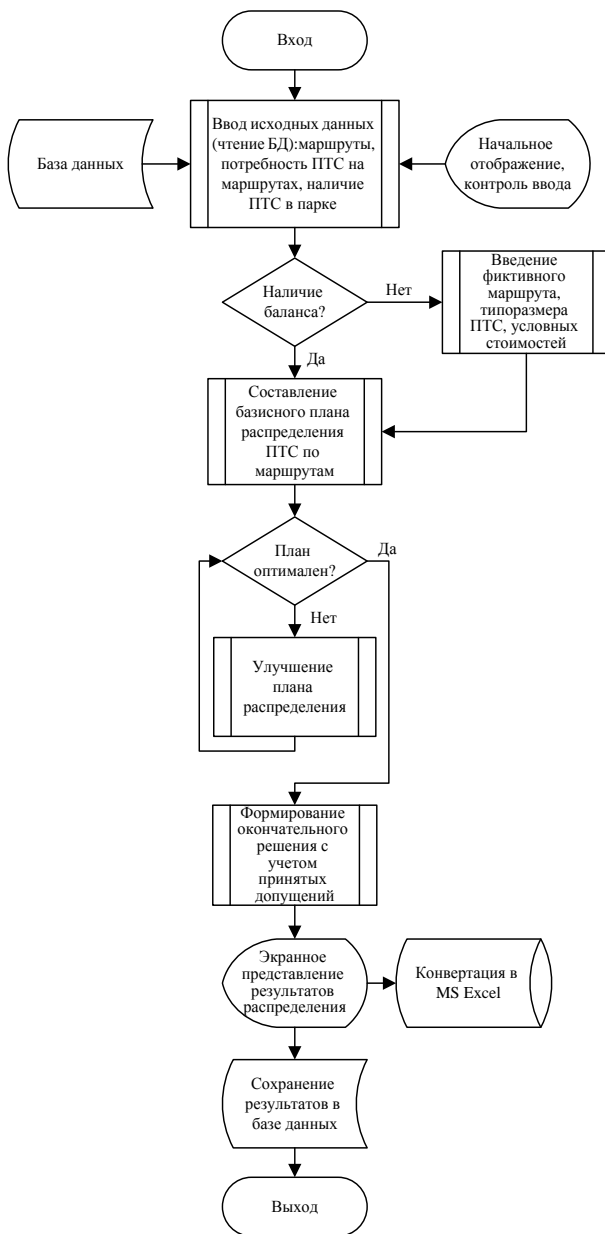


Рисунок 5.11 – Блок-схема алгоритма процедуры распределения парка транспортных средств по маршрутам

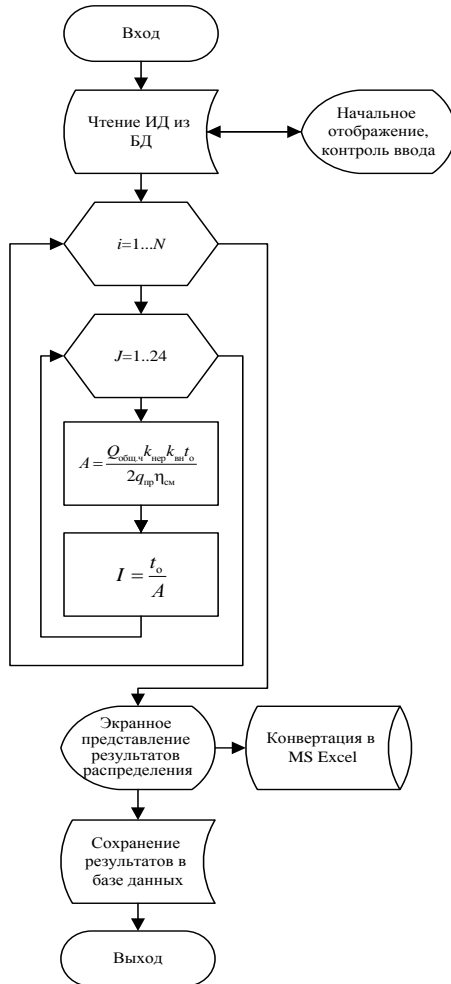


Рисунок 5.12 – Блок-схема алгоритма процедуры расчета количества ПТС для работы на маршрутах и их интервалов движения

Результатом работы программы являются значения вместимости ПТС, для работы на маршруте по часам суток, план распределения ПТС по маршрутам по критерию минимума потерь, вызванных использованием транспортных средств неоптимальной вместимости, оптимальные интервалы движения транспортных средств на маршрутах по часам суток и рациональные режимы работы [152]. Подробное описание работы с компьютерной программой «Optima» приведено в работе [156].

На основании указанных расчетов составляется расписание движения ПТС на маршрутах по часам суток с указанием применяемого типоразмера ПТС, а также их марок и моделей.

5.3 Методика оценки эффективности предлагаемых решений

Основной эффект будет достигаться на основе снижения затрат на перевозки пассажиров за счет увеличения коэффициента использования пассажироместности и соответственно сокращения пробега ПТС, и в первую очередь особо большой пассажироместности.

Суммарный экономический эффект от снижения затрат на организацию и осуществление перевозок и стоимостного выражения потерь пассажиров от ожидания ПТС на остановочных пунктах, исходя из выражения (3.31), может быть определен по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \mathcal{E}_{\text{сут}} + \mathcal{E}_{\text{пас}}, \quad (5.6)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сут}}$, $\mathcal{E}_{\text{пас}}$ – экономический эффект от снижения затрат на организацию и осуществление перевозок и от сокращения ожидания пассажирами ПТС на остановочных пунктах, руб.

Расчетный экономический эффект от снижения затрат на организацию и осуществление перевозок $\mathcal{E}_{\text{сут}}$ будет определяться как уменьшение убыточности работы перевозчика за счет снижения затрат на выполнение перевозок:

$$\mathcal{E}_{\text{сут}} = \mathcal{Z}_{\text{сущ}} - \mathcal{Z}_{\text{пред}}, \quad (5.7)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{сущ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{пред}}$ – суточные затраты соответственно при существующей и предлагаемой организации работы ГПМТ в регулярном сообщении, руб.

Суточные затраты \mathcal{Z} при предлагаемой или существующей организации ГПМТ в регулярном сообщении определяются по формуле

$$\mathcal{Z} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r n_{\text{р}jk} l_{oj} S_{\text{км}k}, \quad (5.8)$$

где $n_{\text{р}jk}$ – суточное количество рейсов, выполненных k -м типоразмером ПТС на j -м маршруте; l_{oj} – длина одного оборотного рейса ПТС на j -м маршруте, км; $S_{\text{км}k}$ – затраты на 1 км пробега ПТС k -го типоразмера, руб./км; n – число маршрутов, на которых выполняются перевозки; r – общее число типоразмеров ПТС.

Подставив выражение (5.8) в (5.7), получим

$$\Theta_{\text{сут}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^r (n_{\text{ржк}}^{\text{сущ}} l_{\text{ој}}^{\text{сущ}} - n_{\text{ржк}}^{\text{пред}} l_{\text{ој}}^{\text{пред}}) S_{\text{кмк}}. \quad (5.9)$$

Значение $S_{\text{кмк}}$ приближенно можно определять по формуле (4.1) и другим данным разд. 4, т.е.

$$S_{\text{кмк}} = 0,26 + 0,003q_k, \quad (5.10)$$

где q_k – вместимость ПТС k -го типоразмера, пас.

Экономическая эффективность $\Theta_{\text{уд}}$ определяется в данном случае как отношение величины суточного экономического эффекта к выполненной транспортной работе за тот же период:

$$\Theta_{\text{уд}} = \frac{\Theta_{\text{сут}}}{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^n l_{\text{пјј}} Q_{\text{общ.чјі}}}, \quad (5.11)$$

где $l_{\text{пјј}}$ – среднее расстояние поездки пассажира на j -м маршруте, км; $Q_{\text{общ.чјі}}$ – общечасовой объем перевозок пассажиров на j -м маршруте в i -й час суток, пас.

Экономический эффект от сокращения ожидания пассажирами транспортных средств на остановочных пунктах $\Theta_{\text{пас}}$ определяется как разница затрат времени пассажиров в стоимостном выражении:

$$\Theta_{\text{пас}} = Z_{\text{пас}}^{\text{сущ}} - Z_{\text{пас}}^{\text{пред}}, \quad (5.12)$$

где $Z_{\text{пас}}^{\text{сущ}}$, $Z_{\text{пас}}^{\text{пред}}$ – стоимостное выражение суточных затрат времени пассажиров при существующей и предлагаемой формам организации работы ПТС на маршрутах, руб.

Стоимостное выражение суточных затрат времени пассажиров при различных формах организации работы может быть определено по формуле:

$$Z_{\text{пас}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (t_{\text{ожјі}} Q_{\text{общ.чјі}} C_{\text{пч}}), \quad (5.13)$$

где $t_{\text{ожјі}}$ – среднее время ожидания пассажирами ПТС на остановочных пунктах на j -м маршруте в i -й час суток, ч; $C_{\text{пч}}$ – стоимостная оценка пассажиро-часа, руб.

Подставив формулу (5.13) в (5.12), получим

$$\mathcal{E}_{\text{пас}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (t_{\text{ож}ji}^{\text{сущ}} Q_{\text{общ.ч}ji} C_{\text{пч}} - t_{\text{ож}ji}^{\text{пред}} Q_{\text{общ.ч}ji} C_{\text{пч}}). \quad (5.14)$$

После преобразования формула (5.14) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\text{пас}} = C_{\text{пч}} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (t_{\text{ож}ji}^{\text{сущ}} - t_{\text{ож}ji}^{\text{пред}}) Q_{\text{общ.ч}ji}. \quad (5.15)$$

Суммарная эффективность от внедрения предлагаемых мероприятий

$$\mathcal{E}_{\text{уд}}^{\text{сум}} = \frac{(\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{сущ}} - \mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{пред}})}{\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{пред}}} \cdot 100\%, \quad (5.16)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{сущ}}$, $\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{пред}}$ – суммарный экономический эффект при существующей и предлагаемой формах организации работы ПТС на маршрутах, руб.

Удельное сокращение времени ожидания пассажирами ПТС на остановочном пункте

$$\Delta t_{\text{уд}} = \frac{t_{\text{ож}}^{\text{сущ}} - t_{\text{ож}}^{\text{пред}}}{t_{\text{ож}}^{\text{пред}}} \cdot 100\%, \quad (5.17)$$

где $t_{\text{ож}}^{\text{сущ}}$, $t_{\text{ож}}^{\text{пред}}$ – суммарное время ожидания пассажирами транспортных средств при существующей и предлагаемой формах организации работы ПТС на маршрутах, ч.

Суммарное время ожидания пассажирами ПТС при какой-либо форме организации работы ПТС на маршрутах

$$t_{\text{ож}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (t_{\text{ож}ji} Q_{\text{общ.ч}ji}). \quad (5.18)$$

Существующие среднесуточные затраты могут быть оценены по результатам работы перевозчика, представленным в таблице 5.19.

Эффективность использования ПТС также оценивают коэффициентом наполнения ПТС в среднем за сутки $\gamma_{\text{сут}}$:

$$\gamma_{\text{сут}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\frac{Q_{\text{общ.ч}ji}}{P_{ij}} \right), \quad (5.19)$$

где P_{ij} – производительность ПТС на j -м маршруте в i -й час суток, пас./ч.

В свою очередь производительность ПТС на маршруте за час

$$P_{ij} = n_{чij} q_{прij} \eta_{смij} K_{нерij}, \quad (5.20)$$

где $n_{чij}$ – частота движения ПТС j -м маршруте в i -й час суток, авт/ч; $q_{прij}$ – принятая вместимость ПТС для работы j -м маршруте в i -й час суток, пас.; $\eta_{смij}$, $K_{нерij}$ – коэффициенты сменности пассажиров и неравномерности пассажиропотока на j -м маршруте в i -й час суток.

После подстановок получаем

$$\gamma_{сут} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\frac{Q_{общ.чji}}{n_{чij} q_{прij} \eta_{смij} K_{нерij}} \right). \quad (5.21)$$

Таблица 5.19 – Результаты работы перевозчика за сутки

Маршрут	Число рейсов в сутки	Длина оборота, км	Длина рейса, км	Суточный пробег, км	Вместимость, пас.	Затраты, руб.
<i>До внедрения</i>						
1	100	14,6	7,3	730,0	90	380,70
4	69	21,2	10,6	731,4	90	381,43
5	52	23,6	11,8	613,6	175	472,80
12	55	32,2	16,1	885,5	175	682,30
16	75	24,2	12,1	907,5	175	699,25
25	43	25,0	12,5	375,0	175	414,16
<i>Итого</i>	394	140,8	70,4	4243,0		3030,64
<i>После внедрения</i>						
1	86	14,6	7,3	906,21	96	338,40
4	102	21,2	10,6	872,23	83	541,68
5	70	23,6	11,8	599,08	57	350,90
12	48	32,2	16,1	688,80	59	332,83
16	95	24,2	12,1	957,00	92	606,20
25	63	25,0	12,5	741,48	65	353,01
<i>Итого</i>	464	140,8	70,4	4764,79		2523,02

Расчетный экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{сут}}$ определяется по формуле (5.9):

$$\mathcal{E}_{\text{сут}} = 3030,64 - 2523,02 = 507,62 \text{ руб.}$$

В годовом исчислении экономический эффект

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 507,62 \cdot 365 = 185281,3 \text{ руб.}$$

Стоимостное выражения потерь времени пассажиров от ожидания ПТС на остановочных пунктах определяется по формуле (5.17):

$$\mathcal{E}_{\text{пас}} = 6201,21 - 4402,09 = 1799,12 \text{ руб.}$$

Суммарный экономический эффект от внедрения определяется по формулам (5.6) – (5.16):

$$\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{суш}} = 3030,64 + 6201,21 = 9231,85 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{сум}}^{\text{пред}} = 2567,05 + 4402,09 = 6969,14 \text{ руб.};$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{сут}} = 9231,85 - 6969,14 = 2262,71 \text{ руб./сут};$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{год}} = (9231,85 - 6969,14) \cdot 365 = 825889,15 \text{ руб./год};$$

$$\mathcal{E}_{\text{уд}}^{\text{сум}} = \frac{(9231,85 - 6969,14)}{9231,85} \cdot 100 \% = 24,51 \%$$

Сокращение суммарного времени ожидания пассажирами ПТС на остановочных пунктах определяется по формуле (5.17)

$$\Delta t_{\text{уд}} = \frac{(581363 - 412696)}{581363} \cdot 100 \% = 29,01 \%$$

Коэффициент наполнения ПТС в среднем за сутки по формуле (5.21)

$$\gamma_{\text{сут}} = \frac{81682}{198403,82} = 0,412.$$

Таким образом, **среднесуточные затраты** при существующей системе организации городских перевозок в регулярном сообщении составляют 3030,64 руб./сут, а при внедрении разработанных предложений – 2523,02 руб./сут. Ожидаемое суточное сокращение затрат (снижение убыточности) на выполнение перевозок пассажиров при внедрении разработанных предложений составит 507,62 руб., или 16,7 %. Экономический эффект в расчете на один маршрут составляет 1015160,396 руб./сут, а суммарный экономический эффект, выраженный в снижении затрат на организацию и осуществление перевозок и стоимостного выражения потерь времени пассажиров от ожидания ПТС на остановочных пунктах в ценах декабря 2015 г. составляет 2262,71 руб., или 24,51 %. Суммарное время ожидания пассажирами ПТС на остановочных пунктах сократится с 581363 до 412696 ч, или на 29,01 %. Коэффициент наполнения ПТС в среднем за сутки составил 0,412.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные мероприятия по совершенствованию системы городских перевозок пассажиров в регулярном сообщении позволяют снизить затраты и повысить эффективность таких перевозок без снижения качества обслуживания пассажиров за счет повышения коэффициента использования пассажироместности транспортных средств на малонагруженных участках маршрутной сети в определенные часы суток, а также путем увеличения полноты сбора платы за выполненные перевозки и снижения затрат по отдельным статьям.

Для достижения поставленной цели на основе логистических принципов произведены анализ работы перевозчика на городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении, исследованы существующие пассажиропотоки и пассажирские корреспонденции между пассажирообразующими и пассажиропоглащающими пунктами, и на их основе усовершенствована структура парка транспортных средств для перевозки пассажиров, а также предложен критерий выбора формы организации работы пассажирских транспортных средств на маршрутах.

Результаты проведенных обследований пассажиропотоков позволят также самому перевозчику принимать корректирующие решения по организации городских перевозок пассажиров в регулярном сообщении.

В работе даны предложения по оптимизации структуры парка транспортных средств используемых для перевозки пассажиров в регулярном сообщении. Убыточность перевозок сокращается в основном за счет оптимизации вместимости пассажирских ПТС и их количества при работе на городских маршрутах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Общественный транспорт Беларуси: состояние и пути развития / Д. М. Бабицкий [и др.]; Фонд им. Фридриха Эберта. – Минск : И. П. Логвинов, 2010. – 82 с.

2 Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках : Закон Республики Беларусь от 10 января 2015 г. № 242-3 (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 22.01.2015, 2/2240).

3 О городском электрическом транспорте и метрополитене : Закон Республики Беларусь № 141-3 от 5.05.2014.

4 Об утверждении Правил перевозок пассажиров городским электрическим транспортом и Правил перевозок пассажиров метрополитеном : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22 ноября 2014 г. № 1088.

5 Правила автомобильных перевозок пассажиров, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 июня 2008 г. № 972 «О некоторых вопросах автомобильных перевозок пассажиров» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 186, 5/28040; 2009 г., № 105, 5/29628).

6 Правила автомобильных перевозок пассажиров, Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 октября 2012 г. № 947 (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 27.10.2012, 5/36384).

7 Положение об операторе автомобильных перевозок пассажиров : утв. постановлением М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь от 8 февраля 2005 г. № 11 «Об утверждении Положения об операторе автомобильных перевозок пассажиров».

8 О государственных минимальных социальных стандартах : Закон Республики Беларусь от 4 января 2003 г. № 180-3 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2003 г., № 8, 2/929).

9 *Капский, Д. В.* Опасности в дорожном движении / Д. В. Капский, Ю. А. Врубель. – М. : Новое знание, 2014. – 244 с.

10 *Капский, Д. В.* Метод прогнозирования дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности / Д. В. Капский. – М. : Новое знание, 2015. – 327 с.

11 *Kapский, D.* Theoretical basis for an economic evaluation of road accident losses / D. Kapский, T. Samoilovich // Transport. – 2009. – Vol. 24, № 3. – P. 200–204.

12 *Виноградова, С. Н.* Транспортное обслуживание : учеб. пособие для студ. вузов / С. Н. Виноградова, Н. Г. Петухова. – Минск : Выш. шк., 2008. – 221 с.

13 *Гизатуллина, В. Г.* Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. Вып. 4 / под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 279 с.

14 *Загорский, И. О.* Эффективность организации регулярных перевозок пассажирским автомобильным транспортом / И. О. Загорский, П. П. Володькин // Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 154 с.

15 *Криницкий, Е. К.* Городской транспорт – проблема общая / Е. К. Криницкий // Автомобильный транспорт. – 2008. – № 1. – С. 25–30.

16 *Скирковский, С. В.* Исследование изменения городских перевозок пассажиров во времени. / С. В. Скирковский // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. II / под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 15–17.

17 Сайт Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой формы информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.mintrans.gov.by/> – Дата доступа: 15.01.2017.

18 Официальный сайт КТУП «Гомельоблпассажиртранс». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gomeloblpassajirtrans.by/>. – Дата доступа: 18.10.2016.

19 Технико-экономическое обоснование проекта «Автоматизированной системы оплаты и контроля проезда» (АСОКП) для города Гомеля на городских маршрутах, обслуживающихся ОАО «Автобусный парк № 6 города Гомеля», ОАО «Гомельский автобусный парк № 1» и КУП «Горэлектротранспорт». – Гомель : КТУП «Гомельоблпассажиртранс», 2013. – 66 с.

20 *Аррак, А. О.* Развитие и эффективность пассажирских перевозок / А. О. Аррак. – Таллин, 1981. – 150 с.

21 *Бронштейн, Л. А.* Экономика автомобильного транспорта / Л. А. Бронштейн, А. С. Шульман. – М. : Транспорт, 1976. – 350 с.

22 *Антошвили, С. Ю.* Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спириг; отв. ред. М. Е. Антошвили. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.

23 *Липенков, А. В.* Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А. В. Липенков. – Орел: Приокский гос. ун-т, 2015. – 16 с.

24 *Кравченко, Е. Е.* Повышение качества обслуживания населения за счёт использования служебного автобусного транспорта на муниципальной маршрутной сети : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Е. Е. Кравченко. – Волгоград: ВГТУ, 2006. – 19 с.

25 *Славина, Ю. А.* Научно-практические методы оценки качества обслуживания населения городским наземным пассажирским транспортом : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Ю. А. Славина. – Волгоград, 2015. – 194 с.

26 *Мотузка, Д. А.* Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Д. А. Мотузка. – Орёл : Гос. ун-т – УНПК, 2012. – 19 с.

27 *Шарыпов, Б. Н.* Разработка методики оценки конкурентоспособности автобусов для городских пассажирских перевозок : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Б. Н. Шарыпов. – Вологда, 1998. – 193 с.

28 *Любимов, И. И.* Методика формирования рациональной структуры подвижного состава автотранспортного предприятия : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / И. И. Любимов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург, 2007. – 17 с.

29 *Прохоров, В. Н.* Обеспечение эффективности функционирования городских автобусов в условиях мегаполиса : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / В. Н. Прохоров. – Владимир, 2006. – 463 с.

30 *Кригер, Л. С.* Управление движением городского пассажирского транспорта на основе нечеткого ситуационного подхода : дис. канд. техн. наук : 05.13.01 / Л. С. Кригер. – Астрахань, 2014. – 157 с.

31 *Антошвили, М. Е.* Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спириг, отв. ред. М. Е. Антошвили. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.

32 *Чижонок, В. Д.* Теоретические основы и практические приложения логистики / В. Д. Чижонок. – М. : Новое знание, 2015. – 320 с.

33 Пассажи́рские автомоби́льные перево́зки : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Л. Л. Афанасьев [и др.]. – М. : Транспорт, 1986 – 220 с.

34 *Блатнов, М. Д.* Пассажи́рские автомоби́льные перево́зки / М. Д. Блатнов. – М. : Транспорт, 1981. – 222 с.

35 *Варелопуло, Г. А.* Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г. А. Варелопуло. – М. : Транспорт, 1990. – 208 с.

36 *Грановский, Б. И.* Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах / Б. И. Грановский // Автомобильный и городской транспорт (Итоги науки и техники). – М. : ВИНТИ, 1986. – С. 67–105.

37 *Ефремов, И. С.* Теория городских пассажирских перевозок : учеб. пособие для вузов / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М. : Высш. Шк., 1980. – 535 с.

38 *Зильберталь, А. Х.* Проблемы городского пассажирского транспорта / А. Х. Зильберталь. – М. : Гострансиздат, 1937. – 272 с.

39 *Шейлеховский, Г. В.* Композиция городского плана как проблема транспорта / Г. В. Шейлеховский. – М. : Гипрогор, 1946. – 129 с.

40 *Поляков, А. А.* Городское движение и планировка улиц / А. А. Поляков, И. В. Бордуков. – Л. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. – 252 с.

41 *Черепанов, В. А.* Транспорт в планировке городов / В. А. Черепанов. – М. : Издательство литературы по строительству, 1970. – 304 с.

42 *Поляков, А. А.* Организация движения на улицах и дорогах / А. А. Поляков. – М. : Транспорт, 1965. – 376 с.

43 *Якшин, А. М.* Планировка транспортных сетей. Опыт градостроительного исследования / А. М. Якшин. – М. : Гос. архитектурное изд-во, 1946. – 88 с.

44 *Гольц, Г. А.* Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М. : Наука, 1981. – 248 с.

45 *Wilson, A. G.* Entropy in urban and regional modelling. / A. G. Wilson. – London : Pion, 1970. – 248 p.

46 *Федоров, В. А.* Совершенствование управления городским пассажирским транспортом крупного города в современных условиях : дис. ... канд. техн. наук : 08.00.05 / В. А. Федоров. – СПб., 1998. – 146 с.

47 *Ugge, A.* Matematické metody při dopravním resení měst / A. Ugge. – Praha, 1965. – 126 с.

48 *Заблоцкий, Г. А.* Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах (обзор) / Г. А. Заблоцкий. – М. : ЦНТИ по гражд. стр-ву и арх., 1968. – 92 с.

49 *Зенгбуш, М. В.* Пассажи́ропотоки в городах / М. В. Зенгбуш. – М. : Транспорт, 1974. – 136 с.

50 *Ларин, О. Н.* Организация пассажирских перевозок: учеб. пособие / О. Н. Ларин. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.

51 *Гудков, В. А.* Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учеб. / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – М. : Транспорт, 1997. – 254 с.

52 *Миротин, Л. Б.* Логистика: общественный пассажирский транспорт: учеб. для студентов эконом. вузов / отв. ред. Л. Б. Миротин. – М. : И-во Экзамен, 2003. – 224 с.

53 Пассажирские автомобильные перевозки : учебник для вузов / В. А. Гудков [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.

54 *Спирин, И. В.* Городские автобусные перевозки: справочник / И. В. Спирин. – М. : Транспорт, 1991. – 238 с.

55 *Спирин, И. В.* Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учеб. для студентов учреждений среднего профессионального образования / И. В. Спирин. – М. : Изд. центр «Академия», 2010. – 400 с.

56 *Ульяновский, И. А.* Комплексная методика обследования пассажиропотока на наземном городском пассажирском транспорте / И. А. Ульяновский // Вузовская наука региону : сб. науч. тр. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – С. 100–102.

57 *Блюмин, С. Л.* Модель поведения пассажира городского транспорта / С. Л. Блюмин, В. А. Суворов // Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ. – 2004. – № 1(12). – С. 59–65.

58 *Болоненков, Г. Б.* Моделирование развития и функционирование систем городского пассажирского транспорта / Г. Б. Болоненков. – Ташкент : Узбекистан, 1983. – 174 с.

59 *Володин, Е. П.* Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом : учеб. / Е. П. Володин, Н. И. Громов. – М. : Транспорт, 1982. – 224 с.

60 *Вельможин, А. В.* Прогнозирование транспортной подвижности населения / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, А. А. Сериков // Проблема качества и эксплуатации автотранспортных средств : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ч. II. – Пенза, 2003. – С. 333–337.

61 *Володченко, С. В.* Моделирование распределения пассажирских потоков в крупных городах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. В. Володченко. – СПб., 2005. – 184 с.

62 *Островский, Н. Б.* Пассажирские автомобильные перевозки / Н. Б. Островский. – М. : Транспорт, 1986. – 224 с.

63 *Юдин, В. А.* Городской транспорт / В. А. Юдин, Д. С. Самойлов. – М. : Высш. шк., 1975. – 345 с.

64 *Корчагин, В. А.* Методы прогнозирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта / В. А. Корчагин, А. В. Гринченко // ЛГТУ : сб. тезисов докл. науч. конф. студентов и аспирантов. – Липецк : ЛГТУ, 2004. – С. 142–145.

65 *Булычева, Н. В.* Расчет пассажиропотоков и оптимизация параметров маршрутных схем / Н. В. Булычева, В. П. Федоров // Математические методы в управлении городскими транспортными системами : сб. – Л. : Наука, 1979. – С. 65–90.

66 *Дармоян, П. А.* Методы прогнозирования пассажирских перевозок / П. А. Дармоян, Н. Г. Кучевский. – М. : Транспорт, 1975. – 86 с.

67 *Богомолов, А. А.* Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А. А. Богомолов. – Вологда, 2002. – 274 с.

68 *Новоселов, Д. М.* Определение оптимального количества и вместимости подвижного состава на городском маршруте : дис. ... канд. техн. наук. 05.22.10 / Д. М. Новоселов. – Тюмень, 2009. – 125 с.

69 *Ванчукевич, В. Ф.* Автомобильные перевозки : учеб. пособ. для техникумов / В. Ф. Ванчукевич. – Минск : Дизайн-ПРО, 1999. – 190 с.

70 *Вельможин, А. В.* К вопросу о выборе подвижного состава для городских маршрутных перевозок. / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, А. В. Куликов, // Актуальные проблемы транспорта Поволжья и пути их решения : Межвуз. науч. сб. – Саратов, 2001. – С. 226–228.

71 *Ampelas, A.* The use of new technologies by public transport. / A. Ampelas // Public. Transport International. – 2001. – № 6. – С. 20–25.

72 *Антошвили, М. Е.* Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрушев; отв. ред. М. Е. Антошвили. – М. : Транспорт, 1974. – 104 с.

73 *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование : учеб. : в 3 ч. / А. И. Орлов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Ч. 2 : Экспертные оценки. – 2011. – 486 с.

74 *Справочник инженера-экономиста автомобильного транспорта / С. Л. Голованенко [и др.] ; под общ. ред. С. Л. Голованенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1991. – 351 с.*

75 *Голованенко, С. Л.* Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом / под общ. ред. С. Л. Голованенко. – Киев : Техника, 1981. – 167 с.

76 *Бойко, Г. В.* Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Г. В. Бойко. – Волгоград, 2006. – 162 с.

77 *Борщенко, Я. А.* Практическая методика оптимизации количества пассажирских транспортных средств на городских маршрутах / Я. А. Борщенко, И. П. Димова, В. И. Васильев // Современные научные исследования и инновации. 2012. – № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// web.snauka.ru/issues/2012/03/10229](http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10229). – Дата доступа: 19.10.2015.

78 *Мячкова, С. В.* Методика определения рациональной структуры парка АТП на основе комплексного показателя : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. В. Мячкова. – Оренбург, 2012. – 169 с.

79 *Аррак, А. О.* Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок / А. О. Аррак. – Таллин : Ээсти раамат, 1982. – 220 с.

80 *Доля, В. К.* Методы организации перевозок пассажиров в городах / В. К. Доля. – Харьков : Основа, 1992. – 144 с.

81 *Хачатуров, Т. С.* Экономика транспорта / Т. С. Хачатуров. – М. : Транспорт, 1959. – 587 с.

82 *Молодых, И. А.* Определение экономической эффективности систем городского пассажирского транспорта : метод. пособие / И. А. Молодых. – М. : Транспорт, 1997. – 380 с.

83 *Оленина, Е. А.* Совершенствование методов экономической оценки качества и эффективности пассажирских перевозок : дис. ... канд. экон. наук 08.00.05 / Е. А. Оленина. – М. : 2001. – 167 с.

84 *Купцов, В. С.* Техничко-экономическое обоснование наивыгоднейшей скорости в пассажирском движении / В. С. Купцов // Тр. ХабИИЖТа. – Вып. 12. – Хабаровск, 1960. – С. 100–110.

85 *Кочнев, Ф. П.* Оптимальные параметры пригородных пассажирских перевозок / Ф. П. Кочнев. – М. : Транспорт, 1975. – 304 с.

86 *Böhme, U.* Der Zeitaufwand ein maßgebendes Kriterium im städtischen Personenverkehr / U. Böhme. – Die Straße 12 (1972) H.2. – S. 54–59.

87 *Гюлев, Н. У.* Стоимостная оценка потерь времени пассажиров на передвижение в городском транспорте / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, И. В. Терлецкая // Совершенствование экономической работы на автотранспорте. – Саратов, 1987. – С. 13–116.

88 *Пузин, А. И.* Пассажирские перевозки за рубежом / А. И. Пузин, В. А. Федоров. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – 155 с.

89 *Черномордик, Г. И.* Сферы применения скоростного пассажирского движения на железных дорогах СССР / Г. И. Черномордик, К. В. Паршикова. – М. : Транспорт, 1970. – С. 1–57.

90 *Улицкая, И. М.* Организация, нормирование и оплата труда на предприятиях транспорта : учеб. для вузов / И. М. Улицкая. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 386 с.

91 *Цибулка, Я.* Качество пассажирских перевозок в городах / Я. Цибулка ; пер. с чеш. И. В. Шварца. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.

92 Erfolgreich modernisierter Busverkehr in Nordhungen. Vogt Heinz // Stadtverkehr. – 2001. – № 7. – С 47–50.

93 *Яценко, С. А.* Повышение качества обслуживания пассажиров на городских автобусных маршрутах в условиях применения подвижного состава разной вместимости : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. А. Яценко. – Иркутск, 2012. – 213 с.

94 *Спирин, А. В.* Повышение качества перевозки пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам совершенствованием организационно-функциональной структуры перевозчика : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А. В. Спирин. – Оренбург, 2013. – 150 с.

95 *Якунина, Н. В.* Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомобильным транспортом: дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / Н. В. Якунина. – Оренбург, 2014. – 323 с.

96 *Ульянов, С. А.* Повышение качества обслуживания пассажиров на базе разработанной автоматизированной системы управления процессами перевозок в городе : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / С. А. Ульянов. – Орел, 2012. – 274 с.

97 *Максимкин, В. Н.* Управление качеством перевозок пассажиров автобусами в городском сообщении : дис. ... канд. экон., наук : 08.00.05 / В. Н. Максимкин. – М., 1999. – 145 с.

98 Измерение эффективности работы городского пассажирского общественного транспорта / А. В. Вельможин [и др.] // Прогресс транспортных средств. – Волгоград. – 2002. – С. 240–242.

99 *Глазков, М. В.* Экономико-организационный механизм управления перевозками городского общественного пассажирского транспорта : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / М. В. Глазков. – СПб., 2000. – 198 с.

100 *Санамов, Р. Г.* Повышение эффективности функционирования городских пассажирских автомобильных перевозок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Р. Г. Санамов ; Ростовский гос. строит. ун-т. – Волгоград, 1999. – 20 с.

101 *Сериков, А. А.* Оценка эффективности функционирования городского пассажирского общественного транспорта (на примере г. Волжского) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А. А. Сериков. – Волгоград, 2003. – 133 с.

102 Исследование действующей городской маршрутной сети пассажирского транспорта и разработка предложений по ее совершенствованию в г. Слониме : Отчет о науч.-исслед. теме № 7420/12с 27.12.12. – 83 с.

103 *Гудков, В. А.* Опыт организации пассажирских автомобильных перевозок в г. Волгограде / В. А. Гудков, С. А. Ширяев, А. Г. Тимаков // Прогресс транспортных средств и систем – 2005: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоград : гос. техн. ун-т. Волгоград, 2005. – С. 545–546.

104 *Гудков, В. А.* Совершенствование технологии, организации и управления доставки грузов и пассажиров автомобильным транспортом. (Теория и практика). дис. ... д-ра техн. наук в виде науч. докл. / В. А. Гудков. – Волгоград, 1999. – 48 с.

105 *Шапиро, Д. И.* Принятие решений в системах организационного управления. Использование расплывчатых категорий / Д. И. Шапиро. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.

106 *Курбатов, В. И.* Математические методы социальных технологий : учеб. пособие / В. И. Курбатов, Г. А. Угольницкий. – М. : Вузовская книга, 1998. – 256 с.

107 *Stadtbusssysteme in Mittel – und Kleinstädten des Freistaates Sachsen.* Hirsemann Harald, Herzog Rudolf. // Stadverkehr. – 2001. – № 1. – С 36–42.

108 *Карманов, В. Г.* Математическое программирование: учеб. пособие / В. Г. Карманов – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1986. – 288 с.

109 *Костевич, Л. С.* Математическое программирование: Информационные технологии оптимальных решений : учеб. пособие / Л. С. Костевич. – Минск : Новое знание, 2003. – 424 с.

110 Об утверждении «Положения о рабочем времени и времени отдыха для водителей автомобилей» : постановление М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 нояб. 2010 г., № 82 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.

111 Об утверждении инструкции о порядке определения тарифных ставок и должностных окладов : постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 26 апр. 2010 г. № 60 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.

112 Об утверждении Методических рекомендаций по применению гибких систем оплаты труда в коммерческих организациях : постановление Минтруда и соцзащиты Респ. Беларусь от 30.09.2010 № 131 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.

113 Трудовой кодекс Республики Беларусь. – 2-е изд., с изм. и доп. – Минск : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2007. – 256 с.

114 Основные итоги переписи населения. Национальный состав, численность населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <http://census.belstat.gov.by/Intro.aspx>. – Дата доступа: 1.12.2015 г.

115 *Айвазян, С. А.* Прикладная статистика: Исследование зависимостей : Справ. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; отв. ред. С. А. Айвазян. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.

116 *Боровиков, В.* STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 656 с.

- 117 *Гмурман, В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.
- 118 *Корчагин, В. А.* Научные основы эксперимента на транспорте : учеб. пособие для вузов / В. А. Корчагин, И. В. Жилин. – Липецк : ЛПУТ, 2003. – 176 с.
- 119 *Суворов, В. А.* Математическая статистика. Ч. 2. Исследование зависимостей : учеб. пособие / В. А. Суворов. – Липецк : ЛЭГИ, 1999. – 80 с.
- 120 Исследование существующей маршрутной сети и организационно-экономического механизма управления пассажирским автомобильным и электрическим транспортом в Гомельской области и их оптимизация на основании обследования пассажиропотоков на видах пассажирского транспорта : отчет о науч.-исслед. теме ; гос. рег. № 20132485.
- 121 *Бокс, Дж.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление : пер. с англ. Вып. 1, 2 / Дж. Бокс, Г. Джеккинс. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
- 122 Об установлении размера минимальной заработной платы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 декабря 2014 г. № 1151.
- 123 *Седюкевич, В. Н.* Математические модели в транспортных системах (конспект лекций) : учеб. пособие для студентов специальности 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте» [Электронный ресурс] / В. Н. Седюкевич. – Минск : БНТУ, 2009. – Режим доступа : <http://Libsrv24.library.bntu.by/text/trudu/Sedziukevich/konspMMTS.pdf>.
- 124 *Albahari, J.* C# 5.0 in a Nutshell. The Definitive Reference C# 5.0. 5th Edition / J. Albahari, В. Albahari. – California : O'Reilly Media, 2014. – 1064 p.
- 125 *Абрамян, М. Э.* Visual C# на примерах / М. Э. Абрамян. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 496 с. : ил. + CD-ROM.
- 126 *Пауэрс, Л.* Microsoft Visual Studio 2008 / Л. Пауэрс. – М. : Снелл : пер. с англ. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 1200 с. : ил.
- 127 *Скирко́вский, С. В.* Повышение эффективности городских перевозок пассажиров автобусами. / С. В. Скирко́вский // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2. – С. 97–101.
- 128 *Skirkovsky, S.* Research of change of volumes of city transportations of passengers in time. / S. Skirkovsky // The 7 International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication. City Development, 24-25 Oct. – Riga, 2007. – P. 279–285.
- 129 Снижение задержек транспортных средств на остановочных пунктах при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С. А. Аземша [и др.] // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2009. – № 2. – С. 21–25.
- 130 *Скирко́вский, С. В.* Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С. В. Скирко́вский // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2013. – № 2. – С. 44–54.
- 131 *Аземша, С. А.* Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении. / С. А. Аземша, А. Н. Старовойтов, С. В. Скирко́вский // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2013. – № 2. – С. 52–58.
- 132 *Скирко́вский, С. В.* Исследование закономерностей движения автобусов и времени ожидания поездов. / С. В. Скирко́вский // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника. – 2006. – № 69. – С. 254–257.

133 *Скирковский, С. В.* Совершенствование структуры парка подвижного состава пассажирского автопредприятия / С. В. Скирковский // Уральский научный вестник. 2007. – № 2 (3). – Белгород : ООО «Руснаучкнига», 2007. – С. 26–32.

134 *Скирковский, С. В.* Методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом / С. В. Скирковский, В. Н. Седюкевич, П. А. Пегин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 1. – С. 69–77.

135 *Скирковский, С. В.* Разработка алгоритма и компьютерной программы оптимизации параметров функционирования городского маршрутизированного транспорта. // С. В. Скирковский, В. Н. Седюкевич, П. А. Пегин // Вестник гражданских инженеров. – № 1 (60). – СПбГАСУ, 2017. – С. 277–287.

136 *Седюкевич, В. Н.* Выбор вместимости транспортных средств для городских перевозок пассажиров в регулярном сообщении / В. Н. Седюкевич, С. В. Скирковский // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XI Междунар. (XIV Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 14-15 июня 2005 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2005. – С. 199–202.

137 *Скирковский, С. В.* Анализ изменения объемов перевозок пассажиров во времени / С. В. Скирковский // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XIII Междунар. (XVI Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 14-15 июня 2007 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2007. – С. 199–202.

138 Совершенствование эффективности автобусных перевозок пассажиров в г. Слониме / В. Н. Седюкевич, [и др.] // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XX Междунар. (XXIII Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13-14 июня 2014 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2014. – С. 281–287.

139 Исследование пассажиропотоков (на примере г. Слоним) / В. Н. Седюкевич [и др.] // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XX Междунар. (XXIII Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13-14 июня 2014 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2014. – С. 287–295.

140 Повышение материальной заинтересованности работников автобусных парков в снижении убыточности перевозок / В. Н. Седюкевич [и др.] // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XX Междунар. (XXIII Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13-14 июня 2014 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2014. – С. 318 – 321.

141 Оценка экономической эффективности предложений по совершенствованию автобусных перевозок (на примере АП№ 3 г. Слонима) / В. Н. Седюкевич, [и др.] // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XX Междунар. (XXIII Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13-14 июня 2014 г. / Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2014. – С. 321–326.

142 Разработка расписаний движения автобусов различной пассажироместности (на примере г. Слонима) / В. Н. Седюкевич [и др.] // Социально-

экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XX Междунар. (XXIII Екатеринбургской) науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13-14 июня 2014 г./ Уральский гос. экон. ун-т; изд-во АМБ; ред. кол.: С. А. Ваксман [и др.]. – Екатеринбург, 2014. – С. 326–341.

143 *Скирковский, С. В.* Исследование воздействия установленных льгот по оплате проезда на финансовую устойчивость предприятий общественного транспорта / С. В. Скирковский // Совершенствование работы транспортных систем : сб. науч. трудов / под ред. А. А. Михальченко; Белорус. гос. ун-т. трансп. – Гомель : БелГУТ, 2001. – С. 118–125.

144 *Скирковский, С. В.* Совершенствование системы управления городским пассажирским транспортом / С. В. Скирковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т.1 / под общ. ред. Б. М. Хрусталева, В. Л. Соломахо. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – С. 261–265.

145 *Седюкевич, В. Н.* Разработка новой редакции «Правил автомобильных перевозок пассажиров» / В. Н. Седюкевич, С. В. Скирковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т.1 / под общ. ред. Б. М. Хрусталева, В. Л. Соломахо. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – С. 265–269.

146 *Скирковский, С. В.* Оптимизация распределения автобусов по маршрутам / С. В. Скирковский // Современный транспорт и транспортные средства: проблемы, решения, перспективы : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 55-летию автотракта. фак-та БНТУ, Минск, 2007 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2007. – С. 186–189.

147 *Скирковский, С. В.* Расчет параметров уравнения оптимальной вместимости / С. В. Скирковский // Вместе к эффективному дорожному движению! : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 28-31 окт. 2008. – Минск : БНТУ, 2008. – С. 6–8.

148 *Аземша, С. А.* Социально-экономическая оценка временных потерь пассажиров маршрутных транспортных средств в городском регулярном сообщении / С. А. Аземша, С. В. Скирковский, В. Н. Стукачев // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 окт. 2009. – Минск : БНТУ, 2010. – С. 64–69.

149 *Скирковский, С. В.* Анализ системы оплаты проезда маршрутизированным городским пассажирским транспортом / С. В. Скирковский // Автотракторный факультет на рубеже столетий. : сб. докл. / под ред. Н. М. Капустина. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – С. 60–65.

150 *Аземша, С. А.* Автомобильные перевозки грузов и пассажиров. Практикум. учеб. пособие / С. А. Аземша, С. В. Скирковский, С. В. Сушко. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 181 с.

151 *Аземша, С. А.* Автомобильные перевозки пассажиров и грузов. Практикум: учеб. пособие / С. А. Аземша, С. В. Скирковский, С. В. Сушко. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 205 с.

152 Программа для ЭВМ «Optima»: пат. сер. III-ПП №2016-003 / С. В. Скирковский; заявитель С. В. Скирковский – № ВУ/1516; заявл. 14.10.2016; депон. 14.11.2016, БелТПП, УП «Белпатентсервис».

153 *Скирковский, С. В.* Исследование влияния факторов на результативность работы городского пассажирского маршрутизированного транспорта / С. В. Скирковский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1(34). – С. 30–35.

154 *Скирковский, С. В.* Обоснование выбора формы организации работы пассажирских транспортных средств на маршруте / С. В. Скирковский // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2017. – № 1(34). – С. 26–29.

155 *Аземша, С. А.* Повышение эффективности перевозок пассажиров автобусами различной вместимости / С. А. Аземша, С. В. Скирковский // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника. – 2010. – № 95. – С. 204–212.

156 *Скирковский, С. В.* Организация перевозок пассажиров с обоснованием параметров городского маршрутизированного транспорта : дис. ...канд. техн. наук : 05.22.10. В 2 т. / С. В. Скирковский. – Минск, 2018. – 346 с.

Научное издание

СКИРКОВСКИЙ Сергей Владимирович
СЕДЮКЕВИЧ Владимир Николаевич

**ГОРОДСКОЙ НАЗЕМНЫЙ
МАРШРУТИЗИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ:
РЕШЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК**

Редактор И. И. Эвентов

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 26.12.2019 г. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 10,28. Уч.-изд. л. 10,80. Тираж 100 экз.
Зак. № 4820. Изд. № 63.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель