

656.211(043.3)

Н 418

СССР — МПС

БЕЛОРУССКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи ✓

НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ РАЗМЕЩЕНИЯ
ПАССАЖИРСКИХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ**

(05.22.08 — Эксплуатация железнодорожного транспорта)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Гомель · 1975

СССР — МПС

БЕЛОРУССКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ РАЗМЕЩЕНИЯ
ПАССАЖИРСКИХ УСТРОЙСТВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

(05.22.08 — Эксплуатация железнодорожного транспорта)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1975

Гомель · 1975

1975

93896

656.211 (043.3)
H 418

Работа выполнена в Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — доктор технических наук профессор **Н. В. Правдин.**

Официальные оппоненты — заслуженный деятель науки и техники БССР, доктор технических наук профессор **И. Г. Тихомиров**, кандидат технических наук **В. А. Бураков.**

Ведущее предприятие — Управление Белорусской ордена Ленина железной дороги.

Автореферат разослан « *25* *Февраля* » 1975 г.

Защита диссертации состоится « *27* *Марта* » 1975 г.

в *13* часов на заседании Ученого совета Белорусского института инженеров железнодорожного транспорта по адресу: г. Гомель, ул. Кирова, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
кандидат технических наук доцент
В. А. Голубев

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БИИЖТ'а

В программе КПСС указывается: «Города и поселки должны представлять собой рациональную комплексную организацию производственных зон, жилых районов, сети общественных и культурных учреждений, бытовых предприятий, транспорта, инженерного оборудования и энергетики, обеспечивающих наилучшие условия для труда, быта и отдыха людей».

Для успешного решения задач, стоящих перед транспортом, необходимо согласованное, планомерное и пропорциональное развитие всех звеньев транспортной сети города с учетом основных сдвигов и изменений, происходящих в развитии городов под действием научно-технического прогресса. К ним относятся:

а) возрастание доли крупных городов и концентрация в них больших масс населения. В 1974 г. в СССР уже насчитывалось свыше 500 агломераций, в которых проживало более 80% городского населения;

б) перераспределение населения между крупными городами и пригородами, обеспечивающее быстрое развитие пригородных зон и увеличение городов-спутников;

в) увеличение доли систематических маятниковых перемещений людей на работу, учебу, к местам отдыха и культурно-бытового обслуживания;

г) общее уплотнение сети городских поселений, которое способствует увеличению транспортной подвижности населения;

д) быстрая автомобилизация городов и др.

Происходящие процессы обостряют транспортную проблему, создают противоречие между техническими возможностями современного транспорта и его фактической скоростью в городах, обычно не превышающей 15—20 км/ч.

Рост городов и удаление мест расселения от мест приложения труда увеличивают затраты времени на трудовые поездки, которые только для пригородных пассажиров в крупном городе составляют около 50 млн. чел.-ч в год. Сокращение продолжительности поездки на 5 мин равноценно экономии примерно 3 млн. чел.-ч в год, что при стоимости пассажира-ч, равному 0,3 руб., эквивалентно получению эффекта в 1 млн. руб. в год.

Ценность фактора индивидуального свободного времени и экономия времени трудящихся, которая по словам К. Маркса «...ровно как и планомерное распределение рабочего времени по различным отраслям производства, становится первым экономическим законом... даже гораздо более высокой степени законом»* будут в условиях научно-технической революции непрерывно возрастать.

Современный процесс развития городов находит свое отражение в росте масштабов пассажирской транспортной системы и ее технико-эксплуатационных показателей.

Объем перевозок городским транспортом, включая и пригородные, превышает сейчас 41 млрд. пассажиров, а по данным прогнозов к 1980 г. эта величина достигнет 65 млрд. человек. В этих условиях любые просчеты на стадии проектирования приводят к экономическим потерям, во много раз превышающим затраты на проектирование. Особенно характерно такое положение для пассажирских транспортных систем крупных городов. Поэтому вопросы выявления перспективных потребностей в устройствах внешнего пассажирского транспорта и координация их работы с устройствами городского транспорта приобретают важное значение и требуют развития новых методов для решения усложняющихся практических задач.

Впервые вопросы рационального построения транспортных систем рассматривались в работах Ламе и Клайперона и сводились к тем или иным приемам нахождения «транспортного центра» методами статической механики. Этот подход развивался рядом других исследователей, однако ограниченность его как вычислительной, так и постановочной схемы не позволили достичь желанных результатов.

Дальнейшее развитие принципов построения и размещения пассажирских транспортных узлов, а также связанных с ними проблем, нашло отражение в работах отечественных ученых В. Н. Образцова, С. В. Земблинова, К. Ю. Скалова, Ф. П. Кочнева, Ф. И. Шаульского, Н. В. Правдина, В. А. Персианова, Н. И. Бещевой, А. К. Бируля, В. А. Бутягина, В. Г. Давидовича, В. П. Дахно, В. А. Черепанова и др., а также в исследованиях зарубежных авторов.

Работы этих ученых обеспечили научную методологическую основу всех проводимых разработок, правильное понимание идей, исходных принципов, подходов и методов проектирования пассажирских транспортных узлов.

Однако, как показал обзор литературы, значительно меньшее внимание уделяется вопросам оптимизации размещения и параметров пассажирских транспортных узлов. В связи с этим наряду с оценкой возможных направлений применения различных логических подходов и методов при формировании структуры постоянных

устройств железнодорожного транспорта должны быть рассмотрены пути решения задач оптимизации размещения, выбора мощности, специализации пассажирских транспортных узлов на основе сочетания традиционных и новых методов.

Основной целью настоящего исследования является разработка методики расчетов оптимального формирования структуры постоянных устройств пассажирского железнодорожного транспорта в крупных городах, как составной части единой пассажирской транспортной системы. Для этого:

а) произведен анализ основных факторов, влияющих на размещение пассажирских станций, остановочных пунктов, городских касс на расстановку подвижного состава по маршрутам;

б) разработаны аналитические способы и модели задач определения оптимального числа пассажирских устройств железнодорожного транспорта в городах;

в) разработан метод расчета оптимального развития пропускных способностей устройств железнодорожного транспорта в динамике с учетом непрерывного роста пассажиропотоков, ограничения ресурсов;

г) исследована возможность преодоления «размерности» задач, связанных с выбором оптимальных вариантов проектирования устройств железнодорожного транспорта и сети обслуживания;

д) исследованы вопросы расстановки подвижного состава по линиям, выбора оптимальных мощностей городских видов транспорта, обслуживающих пассажирские узлы железнодорожного транспорта.

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении на основе изучения основных предложений и идей разработана комплексная классификация задач рационального размещения устройств пассажирского транспорта, учитывающая как качественные, так и количественные характеристики. Основными классификационными признаками приняты: виды транспорта, критерии оптимальности, учет фактора времени, способы задания переменных и характер исходной информации. Классификация позволила обобщить не только существующие разнообразные постановки, но и что более важно, показать общие очертания и тенденцию их развития. В частности, из классификации задач следует:

а) в ближайшем будущем следует ожидать создание стандартизованных методик, способных обслуживать более или менее широкие классы математически однотипных проблем. Рациональной стратегией в этом направлении является построение универсальных алгоритмов, самонастраивающихся за счет апостериорной информации при решении разнообразных и не часто повторяющихся задач;

б) наибольшее распространение получают методы, использующие в качестве критерия оптимальности минимум приведенных затрат, при расчете которых будет использован принцип «интегрального эффекта». Применительно к задачам оптимального размещения устройств пассажирского транспорта это означает учет наряду с прямыми эффектами и косвенных, механизм возникновения которых связан с ростом производительности труда;

в) большинство задач оптимального размещения устройств пассажирского транспорта в крупных городах должно решаться в динамической постановке, когда процесс изменения размещения и числа пассажирских устройств транспорта, а также развитие их пропускных способностей должны быть управляемы с социально-техноэкономических позиций;

г) совершенствование путей решения проблемы оптимизации размещения устройств пассажирского транспорта будет идти по линии разработки методов, позволяющих принимать решение в условиях некоторой зоны неопределенности исходной информации.

В первой главе рассматриваются вопросы определения оптимального числа и размещения пассажирских станций в больших городах.

Анализ размещения пассажирских станций позволяет сделать вывод, что в каждом большом городе имеются индивидуальные особенности размещения, однако появляется и возможность выделения ряда факторов, характерных практически для всех городов. Главными из них являются:

- а) планировочная структура города;
- б) схема пассажирского транспортного узла;
- в) численность населения города;
- г) расположение промышленных и селитебных центров;
- д) определенное единство развития транспортной сети и города.

Настоящий процесс развития городов характерен тем, что темпы застройки промышленных и селитебных районов значительно опережают развитие внеуличной транспортной сети, что приводит к снижению ее плотности и увеличению продолжительности поездки, особенно пригородных пассажиров.

Для экономической оценки различных вариантов размещения устройств железнодорожного транспорта в плане города необходимо получить зависимость объема работы городских видов транспорта и затрат времени пассажирами от величины города, его планировочной конфигурации, характера расселения и др. факторов. Исследованиями установлено, что если узел пассажирского железнодорожного транспорта расположен в центре зоны обслуживания и пассажиры, пользующиеся услугами этого узла, распределены

равномерно внутри территории, имеющей форму круга, то теоретическая средняя продолжительность поездки определяется по формуле

$$t_{\text{ср}} = \frac{0,375}{v} \sqrt{S}, \quad (1)$$

где S — площадь территории обслуживания;

v — средняя скорость движения городских видов транспорта.

В формуле (1) принято допущение, что пассажиры перемещаются по прямой. В действительности средняя продолжительность поездки равна

$$t_{\text{ср}}^{\Delta} = (1,10 \div 1,43) \frac{0,375}{v} \sqrt{S}, \quad (2)$$

где $(1,10 \div 1,43)$ — коэффициенты, учитывающие схему планировки уличной сети.

Величина транспортной работы определяется из зависимости

$$\Sigma П^{\Delta} = (1,10 \div 1,43) 0,375 N \sqrt{\frac{N}{\Delta}}, \quad (3)$$

где N — число пассажиров, обслуживаемых транспортным узлом;

Δ — плотность распределения пассажиров по территории города.

При увеличении площади обслуживания в k раз, как следует из формул (2) и (3), среднее время передвижения увеличивается в \sqrt{k} раз, а общее время передвижения в $k\sqrt{k}$.

Таким образом, эти расчеты поясняют причины возникновения значительных транспортных затруднений в больших городах и позволяют дать им количественную оценку. Например, для города с численностью населения 400 тыс. человек средняя продолжительность поездки пригородного пассажира на городских видах транспорта при $v = 18$ км/ч и одной станции, расположенной в центральной части, составит около 15 мин, а для города с численностью 800 тыс. человек при тех же условиях 20 мин, а объемы работы городских видов транспорта составят соответственно 65 000 и 437 500 пасс.-км в сутки.

Таким образом, при неуклонном росте больших городов наступает период, когда объем пассажирских перевозок становится настолько большим, что оказывается целесообразным сооружать вторую пассажирскую станцию.

На стадии проектирования или реконструкции пассажирской транспортной системы возникает необходимость определения объемов работы городских видов транспорта при смещении транспортного узла из геометрического центра. Расчеты показывают, что

максимальное увеличение средней продолжительности поездки при расположении узла на периферии составляет 70%. При смещении на произвольное расстояние интересующее увеличение средней продолжительности поездки определяется по таблице, приведенной в диссертации.

На величину средней продолжительности поездки значительное влияние оказывает форма территории обслуживания (планировочная структура города). Установлено, что для компактных по форме городов (круг, правильный шестиугольник, квадрат) величина t_{cp} и $\sum N t_{cp}$ имеет минимальное значение, а для удлинённых территорий — максимальное значение. Например, для города прямоугольной формы с соотношением сторон $d=10$, средняя продолжительность поездки больше, чем соответствующая величина для города компактной формы в 2,1 раза. Это обстоятельство требует в таких городах переходить к сооружению второй станции и рациональному размещению остановочных пунктов (если город расположен вдоль железнодорожной линии).

Оптимальное число пассажирских станций определяется минимальной величиной суммарных приведенных расходов по перевозке пассажиров и рядом индивидуальных особенностей городов.

При одной пассажирской станции в городе с площадью S_r средняя продолжительность поездки городскими видами транспорта больше такой же величины при n пассажирских станциях в \sqrt{n} раз. Транспортная работа городского пассажирского транспорта при n станциях будет равна

$$\Sigma Пл = (1,10 \div 1,43) \varphi N \sqrt{\frac{S_r}{n}} \quad (4)$$

Таким образом, увеличение числа пассажирских станций приводит к значительному сокращению потерь времени пассажирами и уменьшает объем транспортной работы. Однако децентрализация пассажирского комплекса приводит к появлению дополнительных затрат, вызванных появлением дублирующих устройств, менее интенсивным использованием техники и т. п. Поэтому оптимальное число пассажирских станций определяется из выражения

$$\Sigma E_0 = f(n) = \Sigma E + \Sigma P, \quad (5)$$

где ΣE — эксплуатационные расходы при n станциях;

ΣP — приведенные капитальные вложения на сооружение станций и других устройств.

Суммарные годовые приведенные расходы при n станциях в общем виде можно представить следующим образом

$$\Sigma E_0 = \varepsilon (K_{гор} + K_{жд} + K_{пn} + K_{вокn} + K_{cn} + \sum_{i=1}^n K_{in}) + 365 (\mathcal{E}_{пр}^{гор} + \mathcal{E}_{пр}^{жд} + \mathcal{E}_{пч}^{гор} + \mathcal{E}_{пч}^{жд} + \mathcal{E}_{обn} + \mathcal{E}_{дшn} + \mathcal{E}_{cn}), \quad (6)$$

где

$K_{гор}$, $K_{жд}$, $K_{п}$ — капитальные вложения соответственно в подвижной состав городского и железнодорожного транспорта, строительство станции, вокзала, снос городской застройки, строительство путепроводов и инженерных сетей;

$\mathcal{E}_{пр}^{гор}$, $\mathcal{E}_{пр}^{жд}$ — эксплуатационные расходы, связанные с пробегом соответственно ГПТ и железнодорожного транспорта;

$\mathcal{E}_{пч}^{гор}$, $\mathcal{E}_{пч}^{жд}$ — то же с задержкой пассажиров;

$\mathcal{E}_{об}$ — величина затрат, связанных с обработкой пассажирских поездов;

$\mathcal{E}_{дш}$ — затраты по содержанию дополнительных штатов;

$\mathcal{E}_с$ — эксплуатационные расходы по содержанию одной станции.

В диссертации разработаны зависимости для определения отдельных статей расходов и получена расчетная формула для определения оптимального числа пассажирских станций в городе

$$N_{опт} = \sqrt{\frac{S_r W_r^2}{L_r^2}}, \quad (7)$$

где W_r и L_r — параметры, которые выделяют расчетные данные, находящиеся в прямой и обратной зависимости от числа пассажирских станций.

Расчеты показывают, что в городах с населением до 600 тыс. человек целесообразно концентрировать работу на одной пассажирской станции. Для городов с населением от 600 тыс. до 1 млн. 800 тыс. человек оптимальное число станций составляет 1—2. Основная причина таких колебаний вызвана индивидуальными особенностями планировочных решений городов, колебаниями числа пассажиров, прибывающих в город, погрешностью прогноза потоков, следующих в промышленные или селитебные районы и др.

Проблема поиска наиболее экономичного варианта территориального размещения пассажирских станций довольно сложна. Ее решение существенно осложняется необходимостью учета многих функциональных ограничений, которые указаны в диссертации и поэтому попытка автора использовать методы линейного программирования успеха не имела.

Перспективным способом для решения такой задачи является поэтапный метод, схема которого приведена ниже.

1	Сбор и получение исходной информации
2	Отбор возможных площадок для строительства
3	Формирование k возможных вариантов размещения станций, определив предварительно $P_{\text{опт}}$
4	Решение k вариантов задачи оптимального распределения пассажиропотоков (при наличии ограничений пропускной способности)
5	Расчет приведенных расходов по k вариантам
6	Выбор из множества допустимых k вариантов оптимального

Наиболее сложным является четвертый этап. Для решения задачи оптимального распределения пассажиропотоков при наличии ограничений пропускной способности необходимо найти

$$\min \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + \sum_{s=1}^k \sum_{i=1}^m t_{is} y_{is} \right) \quad (8)$$

при выполнении ограничений

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j; \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{s=1}^k a_s; \\ \sum_{i=1}^m y_{is} &= a_s; \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k y_{is}; \\ H_c &\geq x_{ij} \geq 0; \quad y_{is} \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где m — число возможных мест размещения станций;

n — число промышленных и селитебных районов города;

t_{is} , t_{ij} — соответственно время на перемещение пассажира по железной дороге от черты города до i -й станции, от i -й станции к j -му пункту;

a_s — объемы пассажиропотоков на s -м внешнем подходе;

x_{ij} — количество пассажиров, перевозимое городским транспортом из пункта i в пункт j ;

y_{is} — число пассажиров, следующих с s -го подхода к i -й станции.

Эту задачу в диссертации предлагается решать как двухэтапную транспортную.

Получив решение в виде матрицы $\|A_{ij}\|$ ($i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$), определяются оптимальные объемы перевозок от i -й станции, которые служат исходной информацией для перехода к пятому этапу.

Статическая постановка задачи оптимального размещения пассажирских устройств, рассмотренная в первой главе, наиболее простой вариант оптимизационной модели, который требует минимального количества исходной информации и сравнительно небольшого объема вычислительных операций. Однако при такой постановке значительно снижаются возможности оптимизации, так как крайне ограничивается возможность учета фактора времени и поэтому основным направлением совершенствования статической модели в соответствии с классификацией следует считать разработку метода решения задачи в динамической постановке и составляющем содержание второй главы. Такая постановка задачи развития пассажирских устройств железнодорожного транспорта в городе рассматривается впервые.

Анализом установлено, что пассажирские транспортные узлы представляют собой системы со все возрастающим объемом работы, что требует поиска рациональных путей их развития.

Основные условия и закономерности развития, как известно, устанавливаются теорией взаимодействия пассажирских комплексов железнодорожного транспорта с городскими видами транспорта, разработанной проф. Н. В. Правдиным. Однако перечень мероприятий, позволяющий в той или иной степени увеличить пропускную способность по-разному влияет на изменение эксплуатационных расходов. Кроме того, проведение одного какого-либо мероприятия (изменение схемы станции, реконструкция привокзальной площади и т. п.) обычно предопределяет дальнейший путь их развития. Поэтому для установления эффективности этого мероприятия его необходимо рассматривать в общей системе мер по увеличению пропускной способности и в определенной последовательности их проведения.

В диссертации дается экономико-математическая формулировка такой задачи в общем виде и доказывается необходимость перехода к дискретной модели, в которой непрерывный процесс развития пассажирского комплекса рассматривается как последовательность его состояний в некоторые дискретные моменты времени t_k ($k=1, 2, \dots, l$), которые делят расчетный период T на $m+1$ этапов.

Тогда уравнение суммарных приведенных затрат для r -й схемы развития может быть записано в виде:

$$E_r = \sum_{k=0}^l \sum_{t_k}^{t_{k+1}} \Theta_k(t_1, t_2, \dots, t_l) (1+\varepsilon)^{-t_k} \Delta t + \sum_{k=0}^l K_k(t_1, t_2, \dots, t_l) (1+\varepsilon)^{-t_k}, \quad (10)$$

где при $k=0$; $t_k = t_0$, $K_k = 0$.

Задача сводится к тому, чтобы найти такие t_k , при которых E_t получает наименьшее значение.

Величина Δt интерпретируется как время запаздывания информации об изменении состояния системы «город — пригород» и на протяжении отрезка времени $(t_0, \Delta t_k)$ имеется та же информация, что и при t_0 . Наблюдения показывают, что величину Δt наиболее целесообразно принимать равной 3—5 лет. Для оптимизации функционала (10) используются идеи динамического программирования, для чего задача рассматривается в сетевой постановке. Оптимизация осуществляется на расчетном графе, который строится по следующему правилу:

- 1) число вершин графа равно $m + 1 = \frac{T}{\Delta t} + 1$;
- 2) каждая вершина графа имеет Q_k реализаций по числу возможных вариантов развития пассажирских комплексов;
- 3) две вершины графа соединяются дугой k, l , если возможен переход от варианта развития $a_{Q_k}^i$ к варианту $a_{Q_l}^j$ и не соединяются в противном случае;
- 4) «длина» дуги определяется по формуле

$$b_{kl} = K_k(1 + \varepsilon)^{-t_k} + \sum_{t_k}^{t_{k+1}} \varepsilon_k(1 + \varepsilon)^{-t_k} \Delta t. \quad (11)$$

В диссертации излагается алгоритм оптимизации такого графа и рассматривается решение задачи в условиях ограничения на капитальные вложения (или другой вид ресурса), задаваемых выражением

$$\sum_{k=0}^l K_k(t_1, t_2, \dots, t_l) \leq B, \quad (12)$$

где B — предельное значение ресурса.

Выполнение расчетов по оптимизации развития пассажирских комплексов требует обязательного знания характера изменения важнейших технико-экономических показателей при различных режимах работы. Тем самым предопределяется целесообразность, а в ряде случаев и необходимость получения аналитических зависимостей технико-экономических показателей от меняющихся режимов работы пассажирского узла.

Особенно важно выявить характер таких показателей, как пропускная способность, капитальные вложения, эксплуатационные затраты, в зависимости от различных условий функционирования.

Наибольшее влияние на режимы работы пассажирского комплекса оказывает неравномерность прокладки поездов на графике

(итоговый для пассажирской станции), которую предлагается оценивать по формуле

$$K_n = \frac{N_{\max}(T)}{\bar{N}(T)}, \quad (13)$$

где $N_{\max}(T)$ — максимальное число поездов, прибывающих на станцию за период времени T ;

$\bar{N}(T)$ — то же среднее.

Для выявления определенных закономерностей, которым подчиняется коэффициент неравномерности потока пассажирских поездов, было обработано большое число графиков прибытия и натурных наблюдений (объемы выборок рассчитывались по известным формулам).

Установлено, что величина коэффициента зависит:

1. От среднего числа пассажирских поездов, прибывающих в рассматриваемый интервал времени.

2. От величины расчетного периода T .

3. От числа подходов, уровня их загрузки и других факторов.

Оценка сравнительной силы влияния различных факторов позволила выделить основные, которыми оказались плотность потока поездов λ , а также величина расчетного периода T .

Важное значение имеет установленная зависимость коэффициента неравномерности от периода T , позволяющая обосновать величину потребного путевого развития пассажирских станций.

Методами математической статистики получена следующая зависимость коэффициента неравномерности от λ и T

$$k_n = 1,03(2,032 - 0,412 T + 0,050 T^2)(1,253 - 0,059 \lambda + 0,0027 \lambda^2). \quad (14)$$

Анализ выражения (14) показывает, что для более мощных пассажирских комплексов необходимо иметь меньший резерв пропускной способности, который вызван неравномерностью прокладки пассажирских поездов.

На основании выполненных исследований разработан аналитический способ определения потребного числа путей на пассажирских станциях

$$m = T_3 \lambda k_n + m_d, \quad (15)$$

где T_3 — расчетное время занятия пути одним поездом;

m_d — число дополнительных путей, регламентированных ТУПС.

Для облегчения расчетов построены соответствующие номограммы.

Расчет числа путей на пассажирских станциях по предлагаемой методике прошел проверку графическим способом, которая показала хорошую сходимость результатов. Применение методики позволяет учесть неравномерность прокладки пассажирских поездов, вызванную объективными условиями работы транспорта и существенно облегчить производство многовариантных расчетов пассажирских станций на перспективу.

С целью информационного обеспечения динамической модели в работе получены дополнительные аналитические зависимости для:

- а) определения пропускной способности привокзальной площади;
- б) расчета капитальных вложений на строительство станции, вокзала, привокзальной площади;
- в) вычисления расходов, связанных с простоем подвижного состава и задержками пассажиров, вызванных недостаточным путевым развитием станции.

В третьей главе исследуются вопросы оптимального числа и размещения остановочных пунктов на железнодорожной линии, позволяющие в рамках решения общей задачи размещения пассажирских устройств в планировке города определить тот расчетный оптимум, который обеспечивает для пригородных и городских пассажиров минимальные суммарные затраты времени на передвижение.

Вопросом определения оптимального числа остановочных пунктов занимался ряд исследователей. Применительно к условиям работы железнодорожного транспорта он разработан проф. Н. И. Бещевой. Однако прямой функциональной зависимости между числом остановочных пунктов и факторами, его определяющими, получить не удалось. В частности, не учтены:

- а) характер распределения пассажиропотока вдоль железнодорожной линии;
- б) реальные условия трассировки линии;
- в) соотношение числа городских и пригородных пассажиров, пользующихся железной дорогой в чертах города;
- г) зона влияния железнодорожной линии.

В работе исследована возможность учета этих факторов и получены расчетные формулы для определения оптимального числа остановочных пунктов:

- а) при условии равномерного распределения пассажиропотока и когда железной дорогой пользуются только пригородные пассажиры

$$n = 0,342 \sqrt{\frac{k_1 a L}{v_{\text{пеш}}^2 t_{\text{ст}}^2}}, \quad (16)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий планировочную структуру города;

L — длина линии;

$v_{\text{пеш}}$ — скорость пешехода;

$t_{\text{ст}}$ — продолжительность стоянки поезда;

б) железной дорогой пользуются и городские пассажиры

$$n = \sqrt{\frac{k_1 k_2 \left[\alpha \frac{\sqrt{aL}}{2} + (1-\alpha) \sqrt{aL_{cp}} \right]^2}{v_{пеш}^2 t_{ст}^2}}, \quad (17)$$

где α — коэффициент, учитывающий долю пригородных пассажиров;

a — ширина зоны влияния железнодорожной линии.

в) при условии неравномерного распределения пассажиропотока, которое, как показали исследования, описывается с достаточной степенью точности функцией

$$N = a + bl + cl^2 \quad (18)$$

аналитическое выражение оптимального числа остановочных пунктов получить нельзя и поэтому целесообразно пользоваться разработанным в диссертации итеративным способом (l — расстояние от головной станции).

Разработанный метод позволяет получить количественную оценку эффективности таких мероприятий снижения затрат времени при передвижении трудящихся на работу как концентрация застройки, повышение этажности, размещение массовых общественно-торговых центров в зоне действия остановочного пункта железнодорожного транспорта.

В работе приводятся также формулы и алгоритм для определения оптимального числа остановочных пунктов по экономическому критерию. Сравнение по двум критериям показывает, что оптимальное число остановочных пунктов, рассчитанное по критерию минимум приведенных расходов при увеличении стоимости пассажиро-ч и продолжительности стоянки стремится к оптимальному их числу, рассчитанному по критерию минимум затрат времени на поездку. Абсолютное уменьшение величины n колеблется в пределах 0—4 остановок. Для облегчения производства расчетов построены специальные номограммы и графики.

В четвертой главе рассматриваются задачи размещения городских касс по продаже билетов, устройств технического обслуживания подвижного состава и др., для решения которых необходимо исследовать большое количество вариантов, и поэтому необходима разработка методов, позволяющих резко уменьшить их число.

При минимизации суммарных затрат времени задача формулируется так:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w t_{ij} A_j x_{ij} \rightarrow \min, \quad (19)$$

где A_j — вектор распределения населения по территории города, нуждающегося в обслуживании;

t_{ij} — затраты времени на передвижение из района i в j ($i=j=1, 2, \dots, w$);
 $x_{ij} = 0$ или 1 .

Если в качестве критерия оптимизации приняты приведенные расходы, то уравнение (19) имеет вид:

$$E_{\text{пр}} = c_{\text{пч}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w t_{ij} A_j x_{ij} + \dots + \sum_{i=1}^n x_{ij} K_i. \quad (20)$$

Оптимизацию функционалов типа (19) и (20) целесообразно осуществлять с помощью алгоритма, разработанного в диссертации и использующего идеи теории автоматов.

Пусть действием автомата является выбор совокупностей p мест размещения объектов обслуживания из w возможных, которые минимизируют целевую функцию вида (19). Каждому действию приписывается некоторая вероятность его выбора. Набор вероятностей действий называется стратегией автомата. В ответ на каждое действие (выбор некоторой совокупности размещения объектов) автомат получает «платеж» — величина которого равна значению целевой функции.

В начале (первый такт) автомат все действия совершает с одинаковой вероятностью

$$P_1 = \frac{1}{w}. \quad (21)$$

Процесс выбора места размещения на первом такте происходит следующим образом:

а) отрезок длиной в одну единицу разбивается на w частей. Каждому отрезку $\frac{1}{w}$ ставится возможный район размещения объекта;

б) используя таблицу случайных чисел производится выбор районов, которым на числовой оси соответствует значение вероятности, полученное из таблицы.

После выполнения d тактов производится изменение стратегии автомата: вероятности тех действий, которым отвечает минимальное значение целевой функции, увеличиваются за счет изменения вероятностей тех действий, для которых $E_d^i = \max$, т. е. увеличивается вероятность выбора тех районов, которые обеспечили $\min E_d^i$. Процесс размещения продолжается до тех пор, пока не выделится оптимальное решение, обеспечивающее минимальное значение целевой функции. Признаком оптимальности является выбор одного и того же сочетания мест размещения объектов обслуживания.

Для облегчения расчета целевой функции в диссертации разработан простой метод ее определения, построенный на принципах арифметики Шимбела.

Общий алгоритм позволяет определять и оптимальное число объектов, когда получить аналитическое выражение не удастся. В этом случае к шкале размещения добавляется шкала объектов, которая делится на число отрезков m с шириной

$$h = \frac{1}{m_{\max} - m_{\min}}, \quad (22)$$

где m_{\max} , m_{\min} — соответственно максимальное и минимальное число объектов.

Разработанный метод используется для определения рационального размещения городских касс, оптимальное число которых определяется по формулам, полученным в исследовании.

Для задач небольшой размерности оптимальной стратегией автомата является полный перебор вариантов.

В соответствии с классификацией задач оптимального размещения устройств железнодорожного транспорта в отдельную группу выделены задачи по размещению устройств технического обслуживания и отстоя подвижного состава. Существующие методы выбора места размещения этих устройств, определение их мощности и специализации исходят из решения ограниченных задач, которые не позволяют получить комплексное решение.

Постановка задачи. Известно число подвижного состава, нуждающегося в обслуживании $N_{\text{то}}$; выбраны k -е пункты (площадки) развития действующих и намечаемых к строительству объектов технического обслуживания, $k=1, 2, \dots, n$; для каждой площадки установлена функциональная зависимость приведенной себестоимости E_r^k от объемов работы x_r , т. е. $E_r^k = f(x_r^k)$.

Требуется определить мощность, размещение и число объектов технического обслуживания, обеспечивающих минимум приведенных расходов

$$\sum_{k=1}^n E_r^k(x_r^k) \rightarrow \min \quad (23)$$

при ограничениях: $\sum_{k=1}^n x_r^k = N_{\text{то}}; x_r^k \geq 0. \quad (24)$

В работе исследуется возможность расчета величины $E_r^k(x_r^k)$ и оптимизации функционала (23) методом динамического программирования.

В пятой главе дается расчет оптимальной мощности и выбор наилучшего варианта распределения парков машин городского транспорта, обслуживающих узел железнодорожного пассажирского транспорта.

В работе, используя метод неопределенных множителей Лагранжа и теорию массового обслуживания, получена аналитическая зависимость для оптимального распределения парков машин по маршрутам, обслуживающих привокзальную площадь,

$$M_i = \lambda_i + \sqrt{\lambda_i} \frac{M - \lambda}{\sum_{i=1}^N \sqrt{\lambda_i}} \quad (25)$$

где M_i — число машин на i -м маршруте;

λ_i — средняя интенсивность поступления заявок в i -й маршрут;

M — общий парк машин.

Для оптимизации интервалов движения на городских маршрутах может быть использована формула (при условии, что среднее время ожидания пассажира равно половине интервала)

$$I_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^m \sqrt{n_i t_i} / N \sqrt{\frac{n_i}{t_i}}, \quad (26)$$

где n_i — количество пассажиров, перевозимых i -м маршрутом;

t_i — время полного оборота подвижной единицы на маршруте;

N — эксплуатируемый парк машин.

Количественная оценка отклонений действительных значений интервалов от оптимальных в процентах может быть получена по формуле

$$\Delta = \frac{T_{\text{сущ}} - T_{\text{опт}}}{T_{\text{сущ}}} 100, \quad (27)$$

где $T_{\text{сущ}}$, $T_{\text{опт}}$ — продолжительность средней задержки пассажира в ожидании транспорта, соответственно, при существующем и оптимальном значении интервала.

В результате расчетов установлено, что относительное сокращение задержки пассажира в ожидании транспорта при оптимальном распределении сокращается на 15—20%.

Кроме оптимизации распределения парков машин часто возникает задача определения оптимального числа машин, обслуживающих привокзальную площадь, которая для случая $N=1$ впервые решена проф. Н. В. Правдиным. В работе дается обобщение на случай $N > 1$.

Получена следующая зависимость:

$$M = \sqrt{\frac{c_3 \lambda t \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \Sigma \sqrt{\lambda_i}}{\lambda \sqrt{\lambda_i}}}{b}} + \lambda, \quad (28)$$

где c_3 — стоимость задержки одной заявки;

t — расчетный период;

b — стоимость одного машино-ч.

При этом числе машин суммарные расходы по ожиданию пассажиров и эксплуатации парка будут минимальны. Из формулы следует, что оптимальное число машин должно удовлетворять среднему числу заявок, поступающих на привокзальную площадь в течение периода t и иметь дополнительный резерв на погашение колебаний входящего потока.

Расчеты, выполненные для условий ряда городов, показывают, что оптимальные режимы подвода городского транспорта не могут быть реализованы из-за отсутствия резерва пропускной способности привокзальной площади или улиц. Такое положение характерно для площадей, которые пропускают свыше 180 машин в час.

Общие выводы

1. За годы Советской власти достигнуты большие успехи в решении задачи удовлетворения населения в перевозках. Эти успехи стали возможны в результате повышения технического уровня пассажирского транспорта, внедрения новой технологии, тщательного технико-экономического обоснования плановых и проектных решений. Однако, следует отметить, что в ряде городов еще недостаточен уровень комфорта при перевозках, велики затраты времени, особенно для пассажиров, прибывающих в город внешними видами транспорта. Основная причина такого явления заключается в отсутствии комплексного подхода к решению вопросов планировки городов и развития внешних видов транспорта; недостаточном внимании к разработке методики размещения пассажирских устройств железнодорожного транспорта в городах, позволяющей находить решения, обеспечивающие комфортабельное обслуживание пассажиров с соблюдением интересов города и железной дороги.

2. Сложную задачу выбора оптимального числа, мощности и размещения пассажирских устройств железнодорожного транспорта в городе целесообразно решать по методике, разработанной в диссертации. Если по условию задачи требуется решить проблему на один заданный срок, то используется методика расчетов в статической постановке, если необходимо установить оптимальную последовательность развития пассажирских устройств в течение планируемого периода T , то в динамической постановке.

3. Оптимальное число пассажирских станций в городе во многом определяется его индивидуальными особенностями и высокой степенью неопределенности исходной информации, что определяет большой разброс оптимизируемой величины. Для городов с населением до 0,6 млн. человек во всех случаях (при $c_{\text{пр}} = 0,3$ руб.) целесообразно иметь одну пассажирскую станцию. В диапазоне от 0,6 до 1,8 млн. человек оптимальное число станций колеблется от 1 до 2.

4. При решении проблемы в статической постановке основу модели составляет задача оптимального распределения пассажиропотоков между узлами внешнего транспорта, которую, как показали исследования, целесообразно решать как двухэтапную транспортную. Первый этап заключается в доставке пассажиров от черты города до станции, а второй — от станции до промышленных или жилых районов.

5. При решении проблемы в динамической постановке железнодорожная пассажирская транспортная система, город и пригород должны рассматриваться с учетом процессов развития, когда необходимо постоянно поддерживать в состоянии равновесия техническое оснащение пассажирских устройств железнодорожного транспорта, их размещение в соответствии с растущими объемами перевозок, изменениями в характере расселения и размещения промышленности.

6. Разработанная в диссертации экономико-математическая модель оптимального развития пассажирских устройств железнодорожного транспорта позволяет в условиях растущих объемов перевозок выбрать оптимальную макро (размещение) и микро-структуры (техническое оснащение).

Для информационного обеспечения динамической модели в диссертации разработан ряд дополнительных методик, в частности, аналитический способ расчета путевого развития пассажирских станций, позволяющий учитывать неравномерность прокладки пассажирских поездов на графике.

Расчеты, выполненные по модели при реконструкции двух железнодорожных узлов сети, показали, что оптимальное решение способствует сокращению расходов на 6—10%.

7. При формировании макроструктуры пассажирских устройств железнодорожного транспорта важное значение имеет выбор оптимального числа и размещения остановочных пунктов. Выведенные в работе зависимости позволяют сделать вывод, что оптимальная длина перегона при равномерном распределении пассажиропотоков колеблется от 1,0 до 1,6 км, при неравномерном — величина перегона в центральной части уменьшается до 0,8 км.

8. Существенную роль в транспортном обслуживании населения выполняют городские кассы, оптимальное число и размещение которых целесообразно рассчитывать по методике, изложенной в диссертации.

9. Важным резервом сокращения затрат времени на поездку пассажиров, прибывающих в город железнодорожным транспортом является оптимизация распределения подвижного состава городского пассажирского транспорта по маршрутам. Расчеты показывают, что относительное сокращение средней задержки пассажира в ожидании городских видов транспорта при оптимальном распределении составляет 15—20%.

10. Оптимальное число машин, обслуживающих узлы железнодорожного пассажирского транспорта, должно определяться с учетом общих затрат на ожидание и транспорт. Расчеты по конкретным городам показали, что наблюдается устойчивая тенденция недооценки потерь, связанных с ожиданием, что приводит к завышенному времени ожидания пригородными пассажирами городских видов транспорта. Для городов, пропускающих на привокзальную площадь свыше 180 машин в час, оптимальные режимы подвода не могут быть реализованы из-за отсутствия резервов пропускной способности привокзальных площадей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Негрей В. Я. Определение оптимального числа машин, обслуживающих привокзальную площадь, и их распределение по отдельным маршрутам. — В сб.: «Проектирование и расчеты станций и узлов». Гомель, 1972. (Труды БелИИЖТа, вып. 115).

Правдин Н. В., Негрей В. Я. Применение экономико-математических методов и ЭВМ для совершенствования управления городским пассажирским транспортом. — В сб.: «Применение математических методов и ЭВМ при проектировании железнодорожных станций и узлов». Гомель, 1973. (Труды БелИИЖТа, вып. 118).

Правдин Н. В., Негрей В. Я. Размещение пассажирских устройств в плане города. — В сб.: «Применение математических методов и ЭВМ при проектировании железнодорожных станций и узлов». Гомель, 1973. (Труды БелИИЖТа, вып. 118).

Негрей В. Я. Расчет путевого развития пассажирских станций — В сб.: «Применение математических методов и ЭВМ при проектировании железнодорожных станций и узлов». Гомель, 1973. (Труды БелИИЖТа, вып. 118).

Правдин Н. В., Негрей В. Я. Проблемы пользования личным и общественным транспортом для трудовых поездок. — В сб.: «Преобразование городской среды». Минск, «Полымя», 1973.

Правдин Н. В., Негрей В. Я. Исследование некоторых вопросов построения оптимальных транспортных сетей и совершенствования управления ГПТ с применением экономико-математических методов и ЭВМ. — В сб.: «Автоматизация управления городским пассажирским транспортом». Л., 1972.

Отдельные положения диссертационной работы доложены: на второй Всесоюзной научно-технической конференции по автоматизации управления городским пассажирским транспортом в 1972 г. в г. Ленинграде;

на одиннадцатой юбилейной научно-технической конференции кафедр института и секций ДорНТО Белорусской ж. д. в 1972 г. в г. Гомеле;

на техническом совете отделов «Узлы и станции» и «Сортировочные горки» Киевгипротранса в 1974 г.

АЗ 02058. Подписано к печати 27.1.75 г. Печатных листов 1,25.

Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Заказ 434. Тираж 150.

Тип. БелИИЖТа, г. Гомель.