

**Тема 6. Лекция 2 по дисциплине  
«Городской транспортный  
комплекс»**

**Кандидат технических наук, доцент  
САВИНОВСКИХ  
Андрей Геннадьевич**

**Тема 6. Лекция 2.  
Маршрутная система  
городского пассажирского  
транспорта**

# Вопросы

1. *Маршрутная система городского пассажирского транспорта.*

# *1. Маршрутная система городского пассажирского транспорта.*

Использование того или иного вида транспорта, равно как и нескольких видов сразу, определяется следующими факторами: планировочные особенности населенных пунктов, численность жителей, природно-климатические особенности, экономический потенциал, уровень развития транспортной системы и т. д. Однако в последнее время все острее ощущается необходимость взаимосвязи транспортной инфраструктуры и планировочной структуры города. Следует отметить, что на всех этапах градостроительное проектирование неразрывно связано с транспортным.

Поэтому не-

обходимо разрабатывать для всех городов с численностью населения 250 тыс. чел. и более, как отмечалось ранее, комплексные транспортные схемы (планы) развития всех видов транспорта на проектируемый срок 10–15 лет с выделением первоочередных работ на ближайшие 5 лет. Комплексная транспортная схема базируется на проектных транспортных разработках технико-экономических основ и генерального плана.

Проектный документ, определяющий комплексное решение функциональных элементов города и перспектив его развития, включая систему транспортного обслуживания, называют генеральным планом города. Для крупных и крупнейших городов его разработка ведется в две стадии: технико-экономические основы развития города (создание эскиза генерального плана) и генеральный план города. Для остальных городов и поселков городского типа генеральные планы разрабатываются в одну стадию. Таким образом, основными этапами транспортного проектирования городов в общем случае являются: технико-экономические основы, генеральный план и комплексная транспортная схема. Исходными материалами для транспортного проектирования служат данные натурных обследований городского движения.

Важно помнить, что транспортное проектирование во всех случаях должно рассматриваться как элемент градостроительного проектирования на системной основе. Системный подход при решении вопросов транспортного проектирования предполагает осуществление комплексного транспортного обслуживания всей агломерации, всего урбанизированного района. При этом нужно добиваться, чтобы транспортный проект обеспечивал оптимальное использование всех видов городского транспорта.

При транспортном проектировании и функционировании маршрутных систем используется ряд показателей для сравнительной оценки. Основные из них приведены ниже.

Экономический показатель оценивает транспортную сеть по минимуму капитальных затрат  $K$  и эксплуатационных расходов  $\mathcal{E}$ :

$$K + \mathcal{E} \rightarrow \min .$$



Технические показатели:

максимальная и средняя *пешеходная доступность* транспортных линий и их остановочных пунктов. Измеряется она расстоянием подхода пассажиров к ним  $l_{\text{пеш}}^{\text{max}}$ ,  $l_{\text{пеш}}^{\text{ср}}$  и временем подхода  $t_{\text{пеш}}^{\text{max}}$ ,  $t_{\text{пеш}}^{\text{ср}}$  по городу в целом и по зонам;

*населенность зоны пешеходной доступности* линий  $n_{\text{п.д}}$ , которая определяется отношением числа городских жителей, проживающих в зоне пешеходной доступности  $K_{\text{ж.п.д}}$ , к общему числу жителей города  $K_{\text{ж}}$ , %:

$$n_{\text{п.д}} = \frac{K_{\text{ж.п.д}}}{K_{\text{ж}}} 100;$$

среднесетевая разрешенная максимальная скорость движения  $v_{\text{ср}}^{\text{max}}$  ;

среднесетевой коэффициент непрямолинейности сообщений между важнейшими пассажирообразующими пунктами города  $k_{\text{н.с}}$ , равный отношению расстояния поездки пассажиров между пунктами к длине воздушной линии:  $k_{\text{н.с}} = L_{\text{м}} / L_{\text{в.л}}$ ;

доля трудовых передвижений с затратами времени, не превышающими норму (40 мин в крупных и 30 мин в остальных городах), в общем числе трудовых передвижений. Она должна быть не менее 0,8.

К основным техническим показателям городской транспортной сети относят маршрутный коэффициент и плотность транспортной сети.

*Маршрутным коэффициентом*  $M_k$  называют отношение суммы длин всех маршрутов  $L_m$  к сумме длины улиц и проездов  $L_y$ , по которым проходят эти маршруты:

$$M_k = \sum L_m / \sum L_y . \quad (5.3)$$

Числовые значения маршрутного коэффициента не могут быть меньше единицы. При слаборазвитых сетях  $M_k = 1,2-1,4$ , а при достаточно густой сети – 2–4 и даже более.

Степень насыщения обслуживаемого района транспортной сетью оценивается показателем плотности. *Плотность транспортной сети*  $\rho_{\text{тр}}$  характеризуется количеством километров пассажирских линий, приходящимся на  $1 \text{ км}^2$  территории города;

$$c_{\text{тр}} = \sum L_y / F, \quad (5.4)$$

где  $\sum L_y$  – протяженность улиц, по которым проходят маршруты,

$F$  – площадь обслуживаемого района.

Для больших городов  $\rho_{\text{тр}} = 2-2,5 \text{ км/км}^2$ .

Любая маршрутная система города должна соответствовать реально сложившимся пассажиропотокам как по размерам, так и по направлениям. Информацию о размерах и направлениях транспортных передвижений населенного пункта дает матрица пассажиропотоков, представляющая собой таблицу, в которой для каждой пары микрорайонов указано число поездок за определенный промежуток времени (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Микрорайон отправления	Микрорайон прибытия					Всего
	1	2	3	4	5	
I	0	410	150	0	140	700
II	0	0	0	0	0	0
III	0	210	0	0	710	920
IV	0	80	770	0	100	950
V	0	0	0	0	0	0
Всего	0	700	920	0	950	2570

Матрица пассажиропотоков может быть получена расчетным путем или специальным обследованием. Расчет матрицы ведется на основании данных о количестве жителей в микрорайоне, числе рабочих мест предприятий, посещаемости культурно-бытовых объектов. Разработаны и используются программы для расчета на ЭВМ.

При оптимизации маршрутной системы необходимы сведения о пассажирообороте остановочных пунктов, объеме перевозок по маршрутам и видам транспорта. Одной из главных характеристик маршрутной системы являются затраты времени пассажиров (суммарные или средние) на одну сетевую поездку (от пункта отправления до пункта назначения). На снижение этих затрат и направлена оптимизация маршрутной системы.



Поскольку совершенствование маршрутной системы весьма сложный и трудоемкий процесс, он практически невозможен без применения экономико-математических методов и ЭВМ. Так, маршрутную систему можно представить моделью, состоящей из трех частей: топологической схемы, перечня маршрутов и матрицы пассажиропотоков. Топологическая схема (рис. 5.1) представляет собой плоский граф с вершинами в микрорайонах населенного пункта и транспортными связями между микрорайонами, характеризующимися расстоянием и временем сообщения.

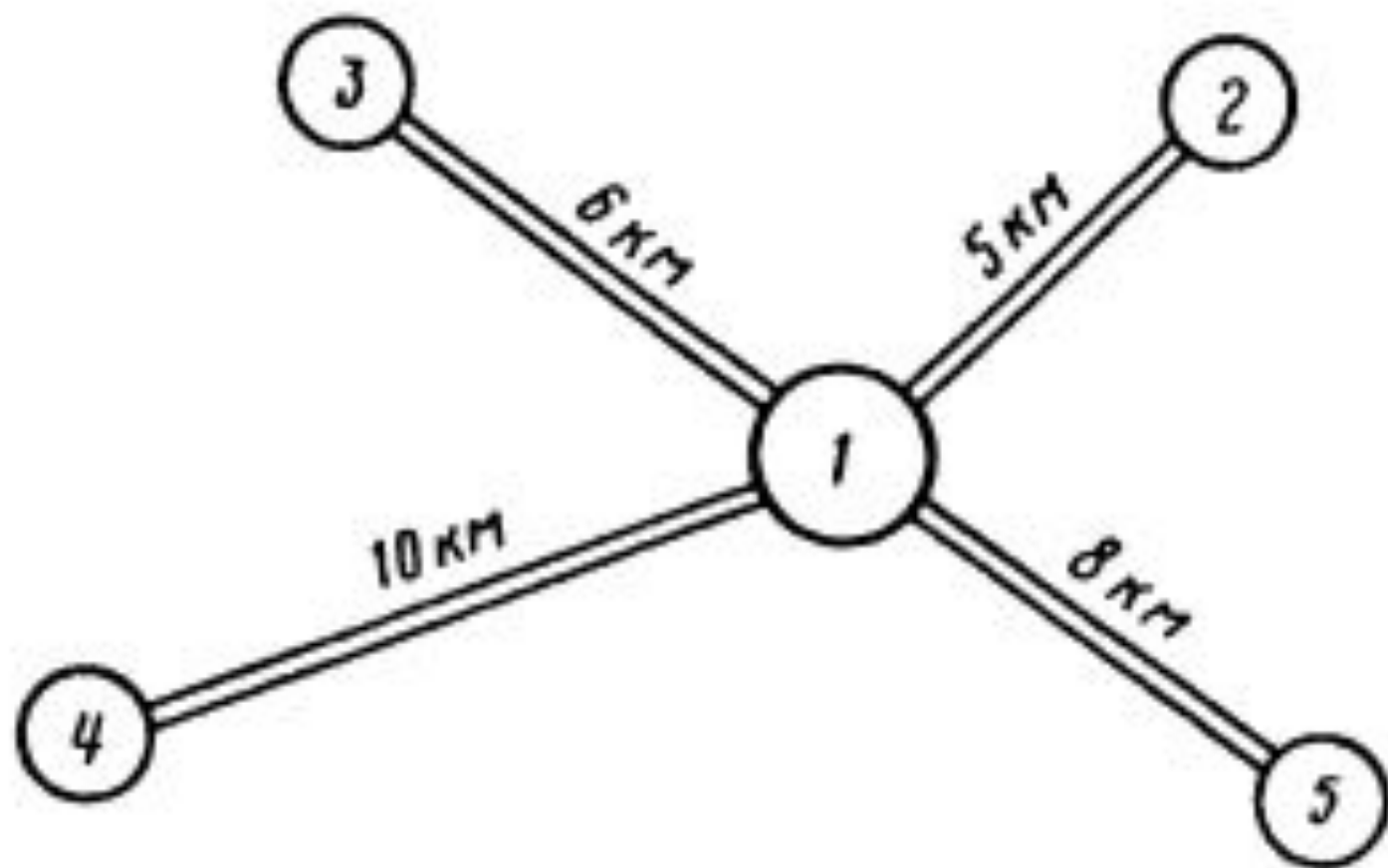


Рис. 5.1. Фрагмент топологической схемы города из 5 микрорайонов:  
1 – центр города; 2, 5 – промышленные районы; 3, 4 – жилые районы

Для построения топологической схемы населенные пункты разбиваются на микрорайоны с учетом, по крайней мере, двух основных требований: пешеходной доступности маршрутов внутри микрорайона и его относительной обособленности. В каждом микрорайоне выбирается центр, как правило, совпадающий с пересечением транспортных линий.

Перечень маршрутов должен содержать по каждому из них информацию о трассе движения (в виде последовательного перечисления номеров микрорайонов, через которые он проходит), длине маршрута как сумме длин соответствующих участков топологической схемы, времени движения по участкам топологической схемы от начального до конечного пункта (микрорайона), а также о средней вместимости автобусов по маршрутам, числе их и интервалах движения.

Такая модель позволяет получить почти все характеристики маршрутной системы. Алгоритм расчета оптимизации маршрутной системы заключается в минимизации суммарных затрат времени пассажиров на поездки на базе матрицы пассажиропотоков и транспортной сети, заданной топологической схемой связей микрорайонов конкретного населенного пункта.

Функция цели может быть представлена как

$$Ц = \sum_{k=1}^n \sum_{f=1}^{n'} Q'_{f_k} t_{ож_k} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} (t_{Д_{ij}} + t_{пер_{ij}}) \rightarrow \min, \quad (5.5)$$

где  $k = 1, 2, \dots, n$  – маршруты автобусов;

$f = 1, 2, \dots, n'$  – остановки на маршруте;

$Q_{f_k}$  – число пассажиров, ожидающих автобусы на остановке  $k$ -го маршрута;

$t_{ож_k}$  – время ожидания начала посадки пассажира на  $k$ -м маршруте;

$m$  – число микрорайонов населенного пункта;

$\Pi_{ij}$  – число передвижения между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$t_{Д_{ij}}$  – затраты времени пассажира на движение;

$t_{пер_{ij}}$  – то же на пересадку при проезде между микрорайонами  $i$  и  $j$ .

Потом переходят к выбору видов транспорта. Каждый из видов транспорта может быть оценен по трем факторам: экономическому, техническому и эксплуатационному. Экономический фактор определяется затратами на организацию движения, строительство, приобретение транспортных средств, а также эксплуатационными расходами. Технический фактор характеризуется скоростями движения, удобством использования, плавностью хода, безопасностью движения и т. д. Показателями эксплуатационного фактора являются интервалы движения, пропускная способность остановочных пунктов, возможность реализации заложенных скоростей движения

и т. д. При расчетах рассматриваются три возможных случая: для вновь проектируемого города; для развивающегося города, имеющего транспортную сеть; для установления связи города с новым районом.

Во всех этих случаях необходимо учитывать размеры пассажирских потоков, дальность поездок пассажиров, себестоимость перевозок и объем капитальных вложений. Необходимо установить пределы, в которых конкретные виды транспорта и типы подвижного состава будут иметь наилучшие экономические показатели.



При различных значениях пассажиропотоков для каждого вида транспорта и типа подвижного состава вычисляют приведенные строительно-эксплуатационные затраты. Затем строят графики изменения приведенных строительно-эксплуатационных затрат в зависимости от размеров пассажиропотоков  $Q$  (рис. 5.2). Пересечения графиков, построенных для различных видов транспорта и типов подвижного состава, показывают граничные пределы использования этих видов транспорта и типов подвижного состава. Области целесообразности применения на графике заштрихованы.

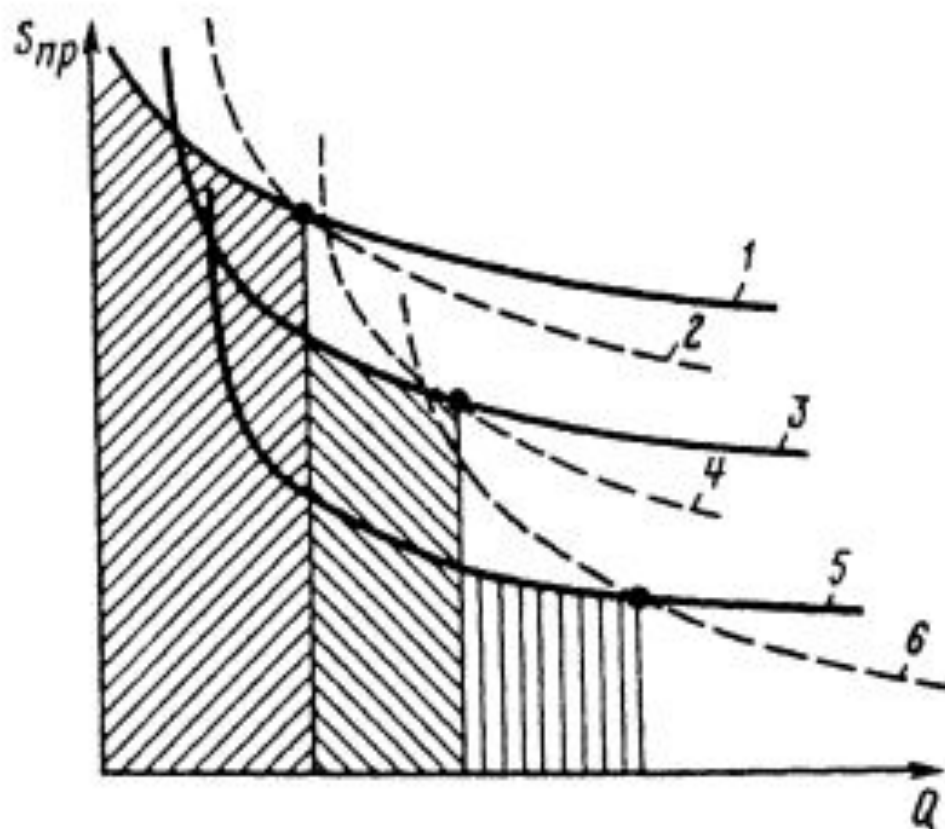


Рис. 5.2. Области рационального применения видов городского пассажирского транспорта:

1 – автобус ПАЗ-3205; 2 – автобус ЛиАЗ-5256;  
 3 – "Икарус-280"; 4 – троллейбус средней вместимости; 5 – троллейбус большой вместимости; 6 – трамвай

Если в городе намечается два и более видов транспорта, то после распределения транспортной сети между отдельными видами необходимо выделить долю каждого из них в освоении общегородского пассажирооборота. С достаточной для проводимых расчетов точностью долю каждого вида транспорта  $d_x$  можно определить, пользуясь формулой:

$$d_x = \frac{\Pi_{\text{В}}^x L_{\text{М}}^x}{\Pi_{\text{В}}' L_{\text{М}}' + \Pi_{\text{В}}'' L_{\text{М}}'' + \dots + \Pi_{\text{В}}^n L_{\text{М}}^n},$$

где  $\Pi_{\text{в}}^x$  – провозная возможность определенного вида транспорта;  $L_{\text{м}}^x$  – протяженность линий этого же вида транспорта.

Тогда годовое количество пассажиров, приходящееся на данный вид транспорта,

$$Q_{\Gamma}^{\lambda} = d_x Q_{\Gamma}^{\text{об}}, \quad (5.9)$$

где  $Q_{\Gamma}^{\text{об}}$  – общее число пассажиров, перевозимое в городе за год,

$$Q_{\Gamma}^{\text{об}} = K_{\text{ж}} P_{\text{тр}}.$$

Ориентируясь на перспективу развития города ( $K'_ж$  – перспективное прогнозируемое число жителей,  $P'_{тр}$  – прогнозируемая транспортная подвижность населения), можно с определенной степенью точности рассчитать предполагаемый объем перевозок:

$$Q'_г^{об} = K'_ж P'_{тр}.$$

Пользуясь рассчитанными значениями годовых объемов перевозок пассажиров различных видов транспорта согласно их доле в освоении общегородского объема перевозок, можно определить необходимое число подвижного состава для каждого вида транспорта, например, для автобусного.

$$A_{\text{и}} = \frac{Q_{\text{г}}^{\text{А}}}{W_Q^{\text{А}}} = \frac{Q_{\text{г}}^{\text{А}} l_{\text{еп}}^{\text{ср}} \eta_{\text{и}}}{365 v_{\text{т}} T_{\text{и}} q^{\text{ср}} \gamma_{\text{д}} \alpha_{\text{и}}}, \quad (5.10)$$

где  $Q_{\text{г}}^{\text{А}}$  – годовой объем перевозок, приходящихся на автобусный транспорт, пас.;

$l_{\text{еп}}^{\text{ср}}$  – средняя дальность поездки на автобусном транспорте, км;

$\eta_{\text{и}}$  – коэффициент неравномерности объемов перевозок пассажиров;

$v_{\text{т}}$  – техническая скорость, км/ч;

$T_{\text{и}}$  – время пребывания в наряде;

$q^{\text{ср}}$  – средняя вместимость подвижного состава;

$\gamma_{\text{д}}$  – коэффициент использования вместимости (динамический);

$\alpha_{\text{и}}$  – коэффициент использования парка.

Распределенная по маршрутам общая нагрузка дает основание для пропорционального помаршрутного распределения подвижного состава. На конкретном маршруте число автобусов.

$$A_M = Q_M A_H \alpha_H / Q_H^A, \quad (5.11)$$

где  $Q_M$  – нагрузка (объем перевозок) на данном маршруте.

Главным принципом транспортной политики, проводимой при проектировании и строительстве города, является полное удовлетворение общественно-признанной потребности в городских пассажирских перевозках, с минимальными транспортными затратами, осуществляемое благодаря транспортной кооперации и планомерно согласованному развитию всех транспортных мощностей.



Провозные возможности городского пассажирского общественного транспорта должны соответствовать удовлетворению потребности населения в передвижениях. Количество пассажиров, перевозимых в городском сообщении, определяется исходя из намечаемой на планируемый период численности городского населения и его транспортной подвижности.

Средняя дальность поездки в городах уст. наливается по результатам анализа данных периодически проводимых обследований пассажиропотоков.

Распределение объемов перевозок пассажиров между трамваями, автобусами, троллейбусами, маршрутными такси и легковыми такси производится исходя из потребностей населения (определяется также на основе периодически проводимых обследований перевозок), величины пассажиропотоков по отдельным направлениям, экономически целесообразных сфер применения отдельных видов транспорта. При этом должны полностью обеспечиваться потребность населения в перевозках и устанавливаемые нормы передвижения – время поездки, степень использования вместимости подвижного состава. При расчетах необходимо учитывать следующие целесообразные сферы применения отдельных видов городского транспорта:

трамвай – на направлениях с пассажиропотоками до 15 тыс. пассажиров;

троллейбус – на направлениях с потоками 6 – 9 тыс. пассажиров;

автобус – на направлениях с небольшими до 4 тыс. пассажиров в час пассажиропотоками.

При использовании более вместительных автобусов их можно применять и на маршрутах с потоками до 9 тыс. пассажиров.

Каждый вид городского пассажирского общественного транспорта имеет различные характеристики. Поэтому эффективной городской транспортной системе нужны различные виды транспорта, как общественного так и личного, тщательно скоординированные и использующие относительные преимущества каждого.

Следует отметить, что на различных видах транспорта технологические этапы перевозочного процесса протекают по-разному.

Для оценки качества обслуживания территории города транспортом используют понятие пространственного удаления, которое связано с этапом подхода к средствам транспорта. Если, например, пешеходы могут перемещаться по территории одинаково свободно во всех направлениях, то концентрические окружности с центром в исходном пункте показывают расстояния, которые должны быть пройдены до отдельных пунктов (рис. 5.3). Концентрические окружности на карте наносятся обычно на расстоянии 100 м.

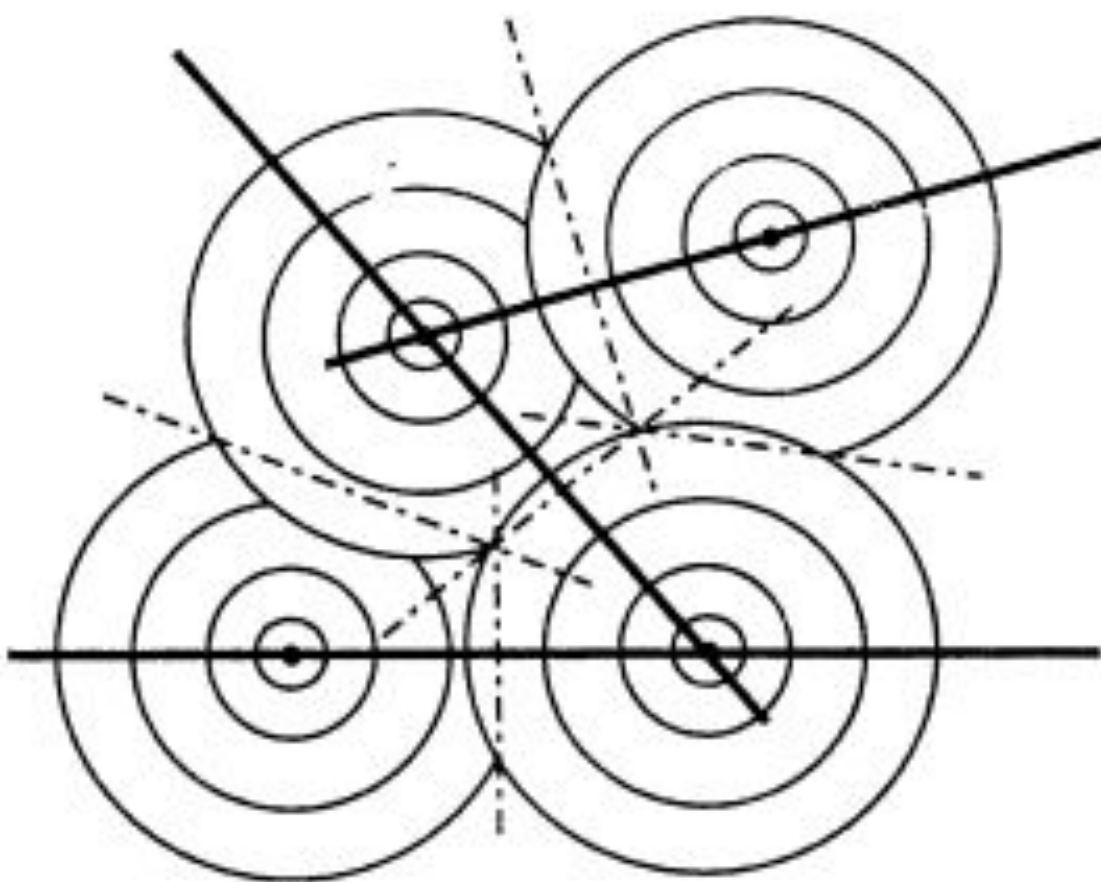


Рис. 5.3. Схема определения расстояния от места жительства населения до остановки:

- маршрутная сеть;
- - - - - разграничительная зона;
- остановки транспорта

На так называемой транспортной территории находится сеть транспортных путей, поэтому достичь любой пункт территории из исходного пункта по прямой линии невозможно. Однако вычислениями можно установить, на сколько процентов действительные пути в среднем длиннее прямых соединений.

Если расстояние по прямой равно  $r$ , то путь в одном из направлений, например, с востока на запад, будет равен  $r \cdot \sin \alpha$ , а путь в другом направлении, с юга на север —  $r \cdot \cos \alpha$ , причем  $\alpha$  является углом между вектором  $r$  и северным направлением.

Таким образом, искомая зависимость выразится в виде:

$$E = \frac{r(\cos \alpha + \sin \alpha)}{r} = \cos \alpha + \sin \alpha . \quad (5.21)$$

Предполагая круговую граничную линию транспортной траектории, среднее значение всех  $E$  определяется:

$$E = \int_0^{\pi/4} (\cos \alpha + \sin \alpha) d\alpha = 1,13 . \quad (5.22)$$

Таким образом, расстояние по прямой умножается на коэффициент 1,13.



В результате подобных расчетов был построен график распределения расстояния до автобусных остановок на примере г. Волжского (рис. 5.4).

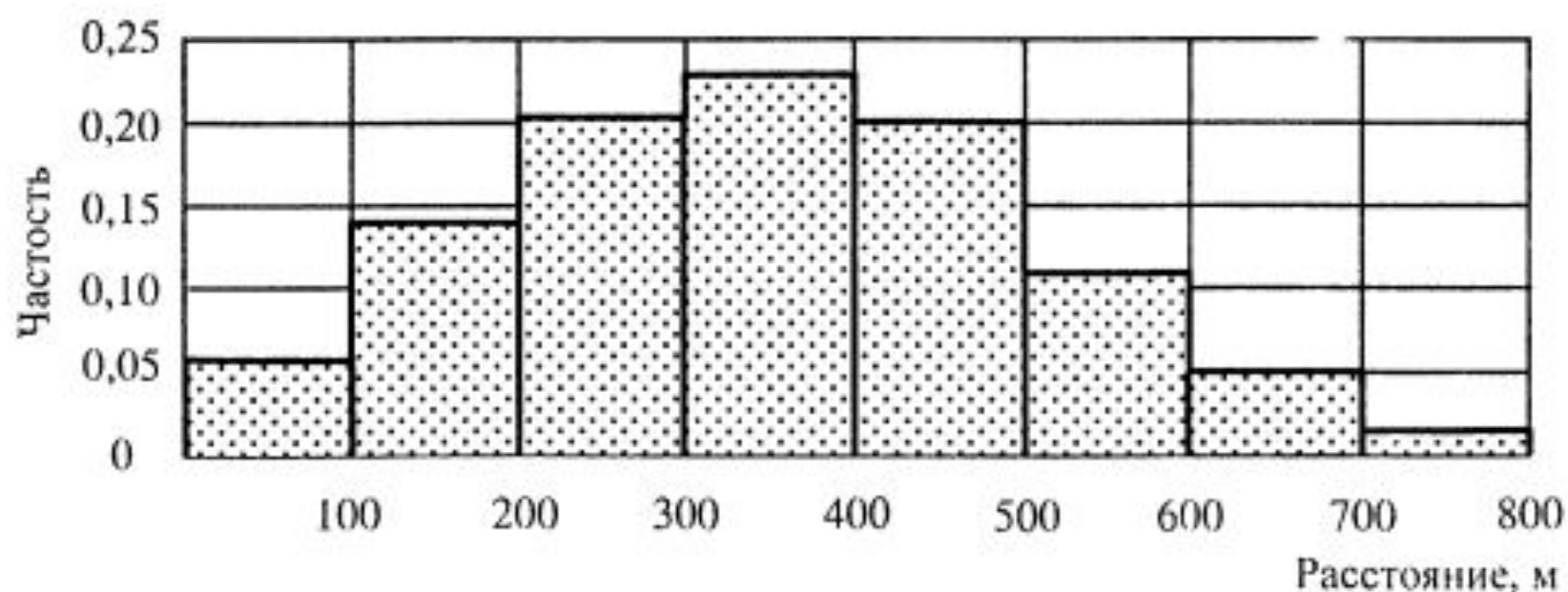


Рис. 5.4. Распределение расстояния от места жительства до автобусной остановки

Анализ графика показывает, что около 80 % населения проживает на расстоянии до 500 метров от остановки автобуса. Такая методика использовалась для определения расстояния до торговых центров города и других центров тяготения (рис. 5.5).

Транспортное удаление остановочных пунктов по продолжительности и времени или расстоянию должно укладываться в 15 мин, или 1 км. Преодоление пешим ходом расстояния в 1 км не слишком утомительно, а потерянное на это время не слишком чувствительно.

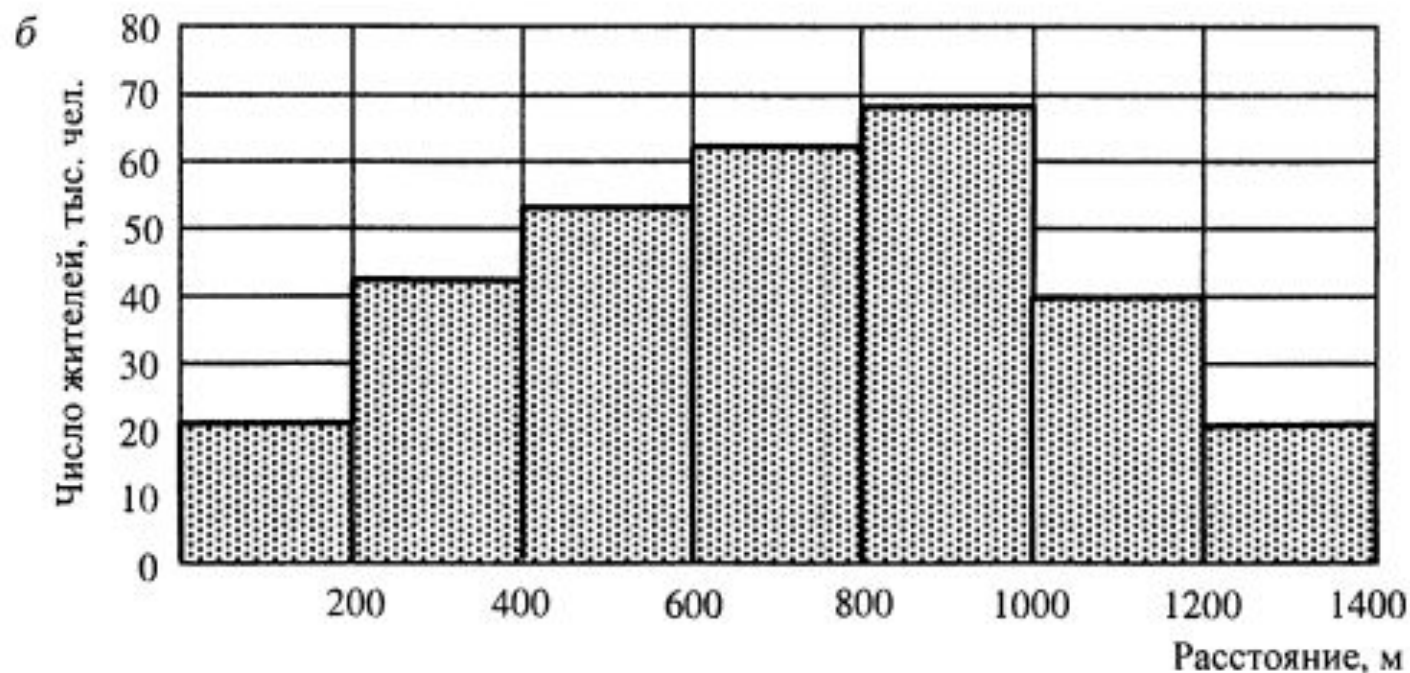
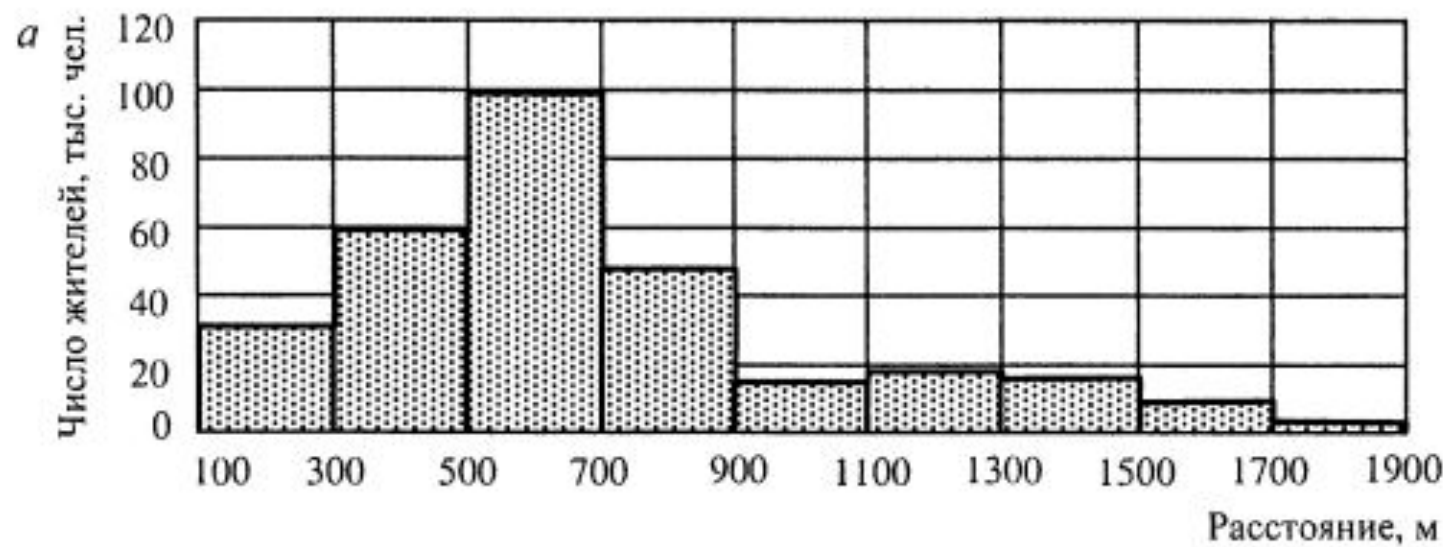


Рис. 5.5. Распределение расстояния от места жительства до:  
*a* – аптек; *б* – торговых центров

Рассмотрим этап посадки для городских перевозок. Продолжительность этого этапа в подвижной состав связана с ожиданием транспорта и определяется так:

$$t_{\text{пос}} = t_{\text{ож}} + t_{\text{ос}}, \quad (5.23)$$

где  $t_{\text{пос}}$  – продолжительность посадки в подвижной состав, мин.;

$t_{\text{ож}}$  – продолжительность ожидания подвижного состава, мин.;

$t_{\text{ос}}$  – продолжительность простоя автобуса на промежуточной остановке, мин.

Как показывают проводимые наблюдения, непосредственно на передвижение затрачивается 35–40 % времени, на ожидание транспортных средств 15–25 % и на подход к остановочным пунктам и от них к месту назначения поездки 35–50 %.

Проектирование систем городского транспорта связано не только с разработкой маршрутной сети, выбором видов транспорта, расчетом подвижного состава, но и с проектированием всех видов других сопутствующих и обслуживающих элементов транспортной системы, к которым относятся путевые сооружения, депо и гаражи, ремонтные мастерские и заводы, заправочные станции и тяговые подстанции.

Общими принципами при проектировании обеспечивающих подсистем должны быть: максимальное использование типовых решений и конструкций индустриального производства, прогрессивные технологии экономико-математические и логистические методы организации производства, автоматизированные системы управления.

Один из наиболее дорогостоящих элементов – путевые сооружения и устройства. Они зависят от вида транспорта и в порядке убывания стоимости по видам транспорта располагаются следующим образом: метрополитен подземного исполнения; метрополитен наземного и надземного исполнения; скоростной трамвай, линии обычного трамвая, троллейбус, автобус.

Одним из главных вопросов проектирования депо и гаражей являются вопросы выбора их мощности и расположения на транспортной сети. Расположение депо и гаражей на транспортной сети должно выбираться с учетом градостроительных соображений, критерию минимума пулевых пробегов и удобства обслуживания маршрутов так, чтобы каждый маршрут мог обслуживаться подвижным составом одного автобусного парка или трамвайного (троллейбусного) депо.

Автобусный парк или трамвайное (троллейбусное) депо представляет собой комплекс зданий или сооружений на ограниченной территории. Здания предназначены для хранения, технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава. Эксплуатационные гаражи и депо выполняют следующие функции: отстой и хранение подвижного состава; ежедневный технический контроль и обслуживание; предупредительный и заявочный ремонты; мелкий ремонт на линии; организация скорой технической помощи; содержание и ремонт всего оборудования гаража и депо. Площадь автобусных парков определяется из расчета  $100\text{--}150\text{ м}^2$  на один автобус, площадь трамвайных депо –  $250\text{--}300\text{ м}^2$  на один вагон, троллейбусных депо –  $200\text{ м}^2$  на один троллейбус. В районах с более плотным движением должны располагаться более мощные гаражи и депо.



Автозаправочные станции размещают равномерно по всей территории города. Количество их определяется периодичностью заправки автомобилей и производительностью бензоколонок. Как правило грузовые автомобили заправляются через 1–2 суток, автобусы и такси – каждые сутки, ведомственные автомобили – через 3 суток, а личные – через 10 суток. Производительность одной бензоколонки – 200–250 заправок в день, коэффициент неравномерности заправки автомобилями принимается равным 1,5.

Для электроснабжения городского электротранспорта используют тяговые подстанции и тяговые контактные сети. Тяговые подстанции преобразуют электрическую энергию по уровню напряжения и роду тока, а тяговые сети передают ее к подвижному составу. Исторически сложилось, что трамваи и троллейбусы в настоящее время используют энергию постоянного тока напряжением 600 В на шинах тяговых подстанций. Назрела проблема повышения напряжения примерно вдвое. Требуемое количество тяговых подстанций определяется протяженностью сети, ее конфигурацией, плотностью размещения в плане города, интенсивностью движения и принятой схемой электроснабжения.

Городская транспортная сеть взаимодействует с пригородными и междугородными перевозками пассажиров, включая все виды транспорта: автомобильного, железнодорожного, водного, воздушного. Поэтому городская транспортная сеть должна рассматриваться как основная часть единой транспортной системы страны с необходимой координацией работы различных видов транспорта как с внешней системой, так и внутри города.

## **Рекомендуемый список литературы:**

1. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов./ Г.И. Клинковштейн , М.Б. Афанасьев. - М.: Транспорт, 2001.
2. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учеб. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
3. **Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник** для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев; Под ред. В. А. Гудкова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2010.

Спасибо за  
внимание