

И. М. ЯКУШКИН

**ПАССАЖИРСКИЕ  
ПЕРЕВОЗКИ  
НА МЕТРОПОЛИТЕНАХ**



И. М. ЯКУШКИН

# ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ НА МЕТРОПОЛИТЕНАХ



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1982

Якушкин И. М. Пассажи́рские перевозки на метрополитенах. — М.: Транспорт, 1982. — 175 с.

Изложены состояние и тенденции развития пассажирских перевозок на отечественных метрополитенах. Особое внимание уделено изучению спроса на услуги метрополитена, освещены закономерности формирования и распределения пассажирских потоков. Приведены показатели перевозок и качества обслуживания пассажиров. Описаны методические приемы определения размеров движения поездов и рассмотрены вопросы оценки эффективности организации перевозок.

Для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами эксплуатации, планирования и проектирования метрополитенов. Может быть использована специалистами городского и пригородного железнодорожного транспорта, а также специалистами в области градостроительства.

Илл. 52, табл. 30, библиогр. 25 назв.

Рецензенты: В. Я. Пахомов, В. П. Коровин

Заведующий редакцией Г. Б. Шавкин

Редактор В. Ю. Преде

Назначение метрополитена — удовлетворять потребности населения города в передвижениях. При этом предоставляемые им услуги должны быть высокого качества, что означает экономию времени на передвижения по сравнению с другими видами транспорта и комфорт. Естественно, должна быть гарантирована и абсолютная безопасность пассажиров.

Несмотря на перспективность метрополитенов в крупных городах нашей страны, научно-методические вопросы организации перевозок на них разработаны слабо. Одна из причин этого — недостаточная изученность уже сложившихся, а также перспективных пассажиропотоков. Между тем особенности их возникновения, тенденции и закономерности формирования и распределения во времени и пространстве — основа планирования, проектирования, эксплуатации и экономики городского пассажирского транспорта, в том числе и метрополитена.

Цель настоящей книги — систематизация данных о перевозках и анализ перевозочного процесса и путей его совершенствования, изложение научного подхода к разработке методов рациональной организации перевозок пассажиров.

Особое внимание уделено изучению пассажиропотоков, показателям пассажирских перевозок и качеству обслуживания пассажиров.

В книге использованы статистические данные, материалы талонных и оперативных обследований, а также почасовых учетов пассажиропотоков, проведенных на метрополитенах в последние годы, результаты исследований автора, а также труды научно-исследовательских институтов и организаций, опубликованные в печати.

Автор не претендует на совершенство и законченность изложенной в книге методики. Напротив, необходимо продолжать поиски путей к совершенствованию организации пассажирских перевозок на метрополитене, широко используя для этого экономико-математические методы и электронно-вычислительную технику.

# I. ВНУТРИГОРОДСКИЕ ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ И РОЛЬ МЕТРОПОЛИТЕНА

## 1. Характеристика и учет перевозок

В СССР в 1980 г. различными видами транспорта общего и необщего пользования перевезено во всех сообщениях более 85 млрд. пассажиров и выполнен пассажирооборот около 1379 млрд. пассажиро-км. В среднем каждый житель нашей страны совершил 321 поездку, в том числе во внутригородском сообщении 235, и «наездил» 5,1 тыс. км (в городах 1,7 тыс. км). На долю внутригородского сообщения приходится 3/4 всех перевезенных пассажиров и одна треть пассажирооборота. В городах СССР перевезено 65 млрд. пассажиров с общим пассажирооборотом 480 млрд. пассажиро-км (без учета бесплатных перевозок) [16]. Средняя дальность поездок пассажиров составила 7,4 км (в 1940 г. — 4,9 км).

Развитие транспорта и качество его услуг зависят от транспортной политики, проводимой в стране и в каждом городе. Например, в США при жесткой конкуренции между видами транспорта развитие его идет по пути безудержной автомобилизации. Перенасыщенность улиц и магистралей подвижным составом (в основном частного пользования) парализует движение и снижает скорости до уровня пешеходных. Шум и загазованность городов отражаются на здоровье их жителей. В Советском Союзе предпочтение отдается видам массового транспорта общего пользования. Только так можно наиболее полно удовлетворить потребности населения. Главное в решении проблемы передвижения населения в крупных городах вместе с их пригородами — развитие сети рельсовых видов электрического транспорта, которая должна работать как единая, прочно увязанная и четко скоординированная система.

В 1940 г. решающими видами транспорта были трамвай в городах и железные дороги в дальнем и пригородном сообщениях. За последующие 40 лет произошли значительные изменения в структуре перевозок (табл. 1). Первенствующим

видом транспорта во внутригородском сообщении страны стал автомобильный транспорт, и прежде всего автобусы общего пользования. На долю последнего в 1980 г. приходилось 23,3% объема работы в пассажиро-километрах и 48,9% перевезенных пассажиров. Троллейбус и трамвай перевозят вместе свыше 24% пассажиров, выполняя при этом 10,7% общего пассажирооборота. Завоевывают все большую популярность автомобили-такси и индивидуальные автомобили. Доля трамвая в перевозках упала с 83,1 до 11,7%. Медленно развивается речной и морской транспорт.

Таблица 1

Структура внутригородских пассажирских перевозок в СССР

Вид транспорта	Пассажирооборот, %					Число перевезенных пассажиров, %				
	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.
Железнодорожный (без метрополитена)	2,9	3,0	1,4	1,5	1,3	3,4	1,7	2,2	1,5	1,1
Автомобильный (автобусы общего пользования)	—	—	39,1	41,2	23,3	5,4	5,4	43,7	48,1	48,9
Морской	—	—	0,2	0,1	0,1	—	—	—	—	—
Речной	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1
Метрополитен	6,8	14,2	8,6	8,2	4,8	4,3	4,1	5,8	5,4	5,4
Троллейбус	2,3	9,4	9,7	9,8	5,6	3,4	6,1	9,3	14,4	12,9
Трамвай	87,1	71,2	24,0	12,9	5,1	83,1	82,2	29,3	17,6	11,7
Легковые автомобили — таксомоторы	0,3	0,7	2,2	3,7	2,3	0,1	0,2	1,4	1,8	2,1
Индивидуальные автомобили	—	1,1	2,5	3,8	27,9	—	0,2	1,9	4,1	7,5
Автобусы министерств и ведомств (необщего пользования)	—	—	5,3	11,5	25,6	—	—	1,9	4,1	7,5
Легковые служебные автомобили (общего пользования)	—	—	—	—	0,1	—	—	—	—	0,1
Легковые автомобили министерств и ведомств (необщего пользования)	—	—	6,8	7,2	3,8	—	—	4,3	2,9	2,7



Таблица 2

## Динамика пассажирских перевозок в Москве

Вид транспорта	Перевозки, млн. пасса- жиров			Доля, %		
	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.
Все виды транспорта	5248,6	6017,7	6322	100,0	100,0	100,0
Метрополитен	1628	1966	2318	31,0	32,7	36,7
Наземные виды транспорта:	2955	3350	3157	56,3	55,6	49,9
трамвай	626	633	523	11,9	10,5	8,3
троллейбус	785	910	806	15,0	15,1	12,7
автобус	1519	1782	1787	28,9	29,6	28,3
маршрутные такси	25	25	41	0,5	0,4	0,6
Железная дорога (внутригородские перевозки)	265	270	335	5,1	4,5	5,3
Легковые автомобили — индивидуальные, ведомственные, такси	395	425	508	7,5	7,1	8,0
Водный транспорт	5,6	6,7	4,0	0,1	0,1	0,1

На железнодорожном транспорте часть поездов также совершается в пределах города. Статистика учитывает их в составе пригородного сообщения, особо не выделяя, хотя они составляют около 25% железнодорожных пригородных перевозок в стране. В крупных узлах удельный вес внутригородских перевозок еще выше, так как в них значительная часть пригородных линий расположена в черте города. Так, в границах Москвы находятся 83 железнодорожных остановочных пункта (станции, платформы), протяженность железнодорожных магистралей — 167 км — почти равна эксплуатационной длине линий метрополитена. Некоторая часть внутригородских перевозок пассажиров осуществляется поездами дальнего следования (по данным ИКТП доля перевозок в радиусе до 150 км — около 5%).

В черте города некоторую часть пассажиров перевозят и автобусы пригородных маршрутов. Эти перевозки относятся также к категории пригородных. Перевозки пассажиров автобусами общего пользования по отдельным заказам носят эпизодический характер (сезон пионерских лагерей, экскурсии и др.) и подразделяются на так называемые разовые и почасовые. Статистика включает их в категорию внутригородских перевозок.

Статистических данных о поездках населения по городу в ведомственных автобусах (необщего пользования), в легковых служебных автомобилях (общего пользования) и принадлежащих министерствам и ведомствам (необщего пользования), на мотоциклах, мотороллерах и велосипедах нет. Потребность в этих перевозках определяют расчетом по Методическим указаниям, утвержденным Госпланом и ЦСУ СССР.

Видная роль в общих перевозках пассажиров в городах страны принадлежит метрополитену (табл. 2—4). Это объясняется его высокой провозной способностью; надежностью, безопасностью и точностью движения поездов, обеспеченных новейшими системами техники и автоматики; четкостью и высоким уровнем культуры обслуживания пассажиров на станциях; комфортом; строгим порядком на станциях и в поездах.

Первая очередь первого в СССР метрополитена — Московского — была открыта для движения 15 мая 1935 г. С тех пор протяженность его линий и перевозки на них чрезвычайно возросли. В 1936 г. метрополитен перевозил за сутки 302,5 тыс. пассажиров, а в 1980 г. уже

6322,0 тыс., или в 21 раз больше. Ежегодный прирост суточных перевозок составил в среднем 139,9 тыс. пассажиров. В 1936 г. на каждую из 13 станций входило в среднем 8,5 тыс. пассажиров, в 1980 г. (115 станций) этот показатель увеличился до 55,1 тыс. — в 6,5 раза. Эксплуатационная протяженность линий (в двухпутном исчислении) за это время увеличилась с 11,2 до 184,0 км (табл. 5). Интересно отметить, что объемы перевозок удваивались через каждые 15—16 лет, эксплуатационная длина линий — через 12—13 лет (рис.1).

Таблица 3

## Структура пассажирского транспорта в городах, имеющих метрополитен (1980 г.)

Город	Доля транспорта, %		Перевезено всеми видами транспорта (платные перевозки), млн. пассажиров
	Метрополитен	Автобус (общего пользования), троллейбус, трамвай	
Ленинград	24,1	75,9	2976,8
Киев	18,2	81,8	1237,4
Тбилиси	29,9	70,1	476,4
Баку	25,7	74,3	547,9
Харьков	20,6	79,4	848,5
Ташкент	11,2	88,8	663,4

Таблица 4

Эксплуатационная характеристика  
линий Московского метрополитена (1980 г.)

Линия	Число станций	Число перегонов	Средняя длина перегона, км	Общее время хода в одном направлении, мин.	Время чистого хода поезда в одном направлении, мин.	Суммарное время стоянки поезда на промежуточных станциях, мин.	Доля стоянки в общем времени хода, %	Длина линии в двухпутном исчислении, км	Скорость сообщения поезда, км/ч	Техническая скорость, км/ч
Кировско-Фрунзенская	17	16	1,40	34,0	28,5	5,5	16,2	22,4	39,5	47,2
Горьковско-Замоскворецкая	17	16	1,90	42,0	35,3	6,7	15,9	30,4	43,4	51,7
Арбатско-Покровская	12	11	1,70	27,0	23,2	3,8	14,1	18,7	41,6	48,4
Кольцевая	12	12	1,62	29,0	23,7	5,3	18,3	19,4	40,1	49,1
Филевская	12	11	1,31	22,8	20,0	2,85	12,1	14,4	38,0	43,2
Калужско-Рижская	20	19	1,65	46,4	38,9	7,5	16,2	31,4	40,6	48,4
Ждановско-Краснопресненская	19	18	1,99	49,0	42,7	6,3	14,7	35,9	44,0	50,4
Калининская	6	5	2,28	14,5	12,8	1,7	11,7	11,4	47,2	53,4
Метрополитен в целом	115	108	1,70	264,7	225,1	39,6	14,9	184,0	41,7	49,0

Таблица 5

Темпы роста перевозок и эксплуатационной длины  
линий метрополитенов СССР

Период времени	Прирост				Среднегодовые темпы прироста, %		Среднегодовой прирост перевозок на 1 км, млн. пассажиров	
	перевозок, млн. пассажиров		эксплуатационной длины, км		перевозок	эксплуатационной длины		
	за 5 лет	в среднем за год	за 5 лет	в среднем за год				
Московский метрополитен	1950—1955	298,1	59,6	18,2	3,6	8,1	7,3	16,6
	1955—1960	110,9	22,2	14,4	2,9	2,3	4,3	7,7
	1960—1965	290,8	58,2	34,2	6,8	5,1	7,7	8,6
	1965—1970	299,4	59,9	28,4	5,7	4,1	4,7	10,5
	1970—1975	338,3	67,7	26,3	5,3	3,8	3,5	12,8
	1975—1980	351,9	70,4	19,5	3,9	3,3	2,3	18,1
	1980—1985	281,7	56,3	30,4	6,1	2,3	3,1	9,2
	(ожидаемые данные)							
Все метрополитены	1955—1960	211,4	42,3	22,7	4,5	4,2	5,7	9,4
	1960—1965	504,2	100,8	53,1	10,6	7,6	9,4	9,5
	1965—1970	638,3	127,7	67,4	13,5	6,8	7,8	9,5
	1970—1975	681,5	136,3	59,4	11,9	5,4	5,0	11,5
	1975—1980	851,0	170,2	68,1	13,6	5,2	4,5	12,5

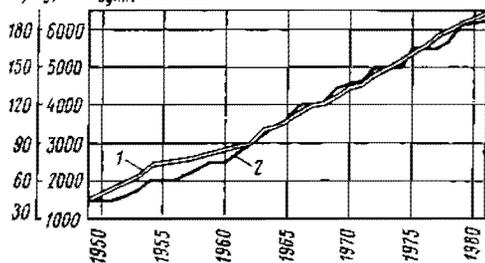
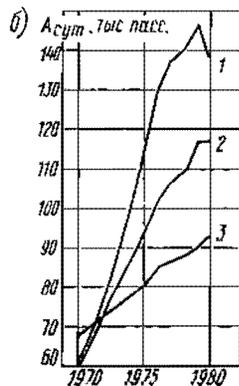
0)  $L_3, км$   $A_{сут.}, тыс. пасс.$ 

Рис. 1. Динамика перевозок:

а — на Московском метрополитене: 1 — перевозки в среднем за сутки; 2 — эксплуатационная длина; б — на станциях: 1 — Ждановская; 2 — Текстыльщики; 3 — Кузьминки



Сейчас метрополитен функционирует в восьми городах: Москве, Ленинграде, Киеве, Тбилиси, Баку, Харькове, Ташкенте и Ереване (с 1981 г.). В ближайшее время он вступит в строй в Минске (1984 г.), Горьком (1984 г.), Новосибирске (1985 г.). В 1985 г. в стране будет 11 городов с метрополитенами, а в 1990 г. — 15 (табл. 6). Эксплуатационная длина линий в двухпутном исчислении к 1981 г. составляла 342 км, к 1985 г. она возрастет на 110 км, а в перспективе — еще на 184 км. Общая протяженность линий метрополитенов СССР составит около 650 км. Примерно в таких же соотношениях возрастут и перевозки.

За рубежом метрополитены функционируют в 53 городах 25 стран (характеристики некоторых из них даны в табл. 7). Общая протяженность их линий 2,9 тыс. км, из них

Таблица 6

## Протяженность метрополитенов, км

Город	1980 г.	Прирост	
		1981—1985 гг.	в перспективе
Москва	184,0	29,5	38,1
Ленинград	61,8	14,9	28,1
Киев	26,2	6,8	16,0
Тбилиси	18,0	4,2	8,0
Баку	18,6	6,7	6,0
Харьков	17,3	7,4	11,0
Ташкент	15,4	5,5	9,0
Ереван	—	11,5	8,0
Минск	—	8,6	6,0
Горький	—	7,8	4,0
Новосибирск	—	6,4	6,0
Куйбышев	—	—	11,2
Свердловск	—	—	11,5
Рига	—	—	8,9
Днепропетровск	—	—	11,8

примерно 50% подземного заложения. Сооружают, проектируют и в ближайшие годы вступят в строй метрополитены еще в 25 городах. Наибольшая в мире эксплуатационная длина, приходящаяся на 1 млн. жителей, в Лондоне — 52,2 км, Нью-Йорке (такая же, как и в Москве) — 22—24 км, в Токио — 14,1 км. Заслуживает внимания и изучения единое управление всеми видами городского тран-

Таблица 7

## Характеристика зарубежных метрополитенов (1978 г.)

Город	Протяженность, км	Число станций	Число перевозимых пассажиров, млн. за год	Среднее расстояние между станциями, км
Лондон	388	248	669	1,30
Нью-Йорк (НИКТА)	371	458	1019	0,80
Париж (город)	186	355	1104	0,54
Чикаго	145	142	140	1,00
Токио	127,6	118	1533	1,10
Стокгольм	103	94	189	1,00
Гамбург	90	80	176	1,05
Буэнос-Айрес	34	57	198	0,60
Мадрид	67	100	420	0,60
Рим	11	11	32	1,10

спорта и организация пассажирских перевозок за рубежом (Лондон и др.), а также некоторые вопросы организации перевозок на метрополитенах, а именно:

анкетные методы изучения спроса на перевозки и пассажиропотоков;

маршрутизация движения поездов — с одного пути станции поезда могут следовать на несколько направлений. Перед посадкой в поезд пассажиру необходимо осведомиться, по какому маршруту он отправится;

системы информации о маршрутах следования поездов (Лондон, Нью-Йорк, Париж);

автоматизированные системы управления поездами.

В пересадочных узлах там предпочтение отдается объединенным (совмещенным) станциям с пересадкой на той же платформе (Берлин, Париж, Нью-Йорк, Стокгольм и др.) и «станциям-башням» (Берлинское метро: Гляйсдрайэк, Коттбуссер Тор, Германнплац, Морицплац) из двух станций промежуточного типа, расположенных в разных уровнях крестообразно с лестницами (спуск) и эскалаторами (подъем) в месте пересечения, что позволяет быстро и удобно перейти с одной линии на другую, равномернее использовать весь фронт посадочных платформ и распределить внутристанционные пассажиропотоки.

По техническим средствам и основам эксплуатации метрополитен — это железная дорога. Как наиболее комфортабельный и скоростной транспорт, он решает основную проблему в передвижении населения крупных городов. Эффективность его возрастает по мере увеличения дальности поездок, так как при этом уменьшается доля накладных затрат времени (на вход, пересадки, выход из метро) в общей продолжительности поездки. По провозной способности метрополитен занимает первое место среди других видов городского транспорта. По сравнению с видами наземного массового городского пассажирского транспорта он обладает особыми, присущими только ему особенностями в организации перевозок. У наземного транспорта нет вестибюлей с кассами и контрольными пунктами, эскалаторов, платформ и распределительных залов. Специфичны подвижной состав — поезда из 4—7 вагонов и условия работы обслуживающего персонала.

Роль метрополитена в городах по числу перевезенных пассажиров из года в год повышается. Объем выполненной работы (в пассажиро-км) также высок (до 61% в Москве),

так как дальность поездки пассажира находится в пределах от 5,0 (Тбилиси) до 10,5 км (Москва), а на других видах транспорта не более 6,4 км.

Структура внутригородских перевозок характеризуется распределением пассажирооборота и перевозок по видам транспорта, а также перевозок по целям и дальности поездок пассажиров. Основным источником информации для анализа и изучения пассажирских перевозок на каждом виде транспорта — статистические данные ЦСУ СССР. Чтобы получить такие данные, при последней, в частности, переписи населения СССР жители наиболее крупных городов и их пригородных районов заполнили специальные бланки учета передвижения населения от места жительства к месту работы (обучения). Результаты их обработки показали, что в Москве, например, 36,7% поездок приходится на метрополитен, остальные передвижения к месту работы совершаются автобусом — 28,3%, троллейбусом — 12,7, трамваем — 8,3, железной дорогой — 5,3, автомобилем, мотоциклом и велосипедом — 8,7%. В границах города большая часть передвижений совершается одним видом транспорта (56,7%) и с пересадками на другой: одной — 39,8% (каждый третий пассажир), двумя — 5,5%. Обращают на себя внимание высокие значения колебаний коэффициента пересадочности  $1,39 \leq \kappa_{\text{пер}} \leq 2,26$ . Наиболее трудны связи населения Москвы с областью ( $1,87 \leq \kappa_{\text{пер}} \leq 2,26$ ). Сокращение числа пересадок и одновременное повышение их удобств — неиспользованные резервы в перевозочном процессе.

Учета городских пассажирских перевозок с подразделением на трудовые и культурно-бытовые нет. Эти данные обычно получают разовыми специальными обследованиями (анкетным способом), которые проводят в разных городах эпизодически и без единой системы. Сведений они дают явно недостаточно, хотя воздействуют на построение и развитие пассажирского транспорта в городах. Известно, например, что перевозочную мощность транспортных средств в каждом городе определяют перевозки в утренние и вечерние часы пик, когда преобладают трудовые поездки самодеятельного населения (работающих и учащихся). В утренние часы с 6 до 10 они достигают 94%, а в вечерние с 16 до 19 — 90% общего количества. В другие периоды преобладают культурно-бытовые поездки — 90% с 10 до 16 ч и 87% с 19 до 22 ч. Эти данные получены НИИПИ Генерального плана Москвы специальным анализом сведений о перевозках

во внутригородском и пригородном сообщениях в Московском железнодорожном узле. Выявлено также, что трудовые поездки преобладают в обоих видах сообщений (внутригородском и пригородном) как в зимние, так и в летние месяцы и доля их во внутригородском сообщении (72—80%) выше, чем в пригородном (58—70%). Культурно-бытовые поездки же уменьшаются в январе по сравнению с августом соответственно с 28 до 20% и с 42 до 30%. На метрополитене трудовые поездки составляют 42,2%.

Около 85% трудящихся тратят на передвижения около 1 ч, 15% — свыше 1 ч (рис. 2). Около 60% трудовых поездок совершается в пределах от 20 до 50 мин. Свыше 54% пассажиров ожидают транспорт на остановочных пунктах до 10 мин. На передвижения пешком от места жительства до остановки транспорта и от остановки транспорта до места работы в большинстве случаев приходится до 9 мин. Средние затраты времени на передвижения транспортом и пешком в Москве 52 мин, в том числе на ожидание транспорта 13 мин.

Определенные закономерности выявлены в распределении передвижений по расстояниям. Самые дальние поездки население совершает с помощью метрополитена, что объясняется высокой скоростью сообщения, повышенной комфортабельностью, регулярностью движения — строгим выполнением графика движения поездов. Средняя дальность этих перевозок в городах, имеющих метрополитен, составляет 6—11 км. На автобусах же общего пользования, троллейбусах и трамваях поездки совершаются на расстояния 3—6 км. В Москве, например, дальность передвижений на метрополитене — 10,52 км, в автобусе (общего пользования) — 3,94 км, троллейбусе — 2,65 км и трамвае — 2,99 км.

Характер распределения поездок на отдельных линиях и станциях метрополитена свидетельствует о зависимости их дальности от конфигурации сети, расположения станции посадки по отношению к центру, к пересадочным станциям, вокзалам, крупным жилым массивам или районам массового приложения труда, зонам отдыха, паркам культуры, торговым центрам и др. Самые короткие поездки, как правило, характерны для пассажиров, отправляющихся со станций, расположенных в центре города. По мере удаления от центра удлиняются и поездки. Заметно уменьшается дальность передвижений пассажиров, отправляющихся с привокзальных станций на диаметральные линии (станции Комсо-

мольская, Курская в Москве). По данным талонных обследований преобладающее число пассажиров  $A_1$  совершают передвижения на расстояние 2—10 км (рис. 3 и 4) и, следовательно, затрачивают на это до 30 мин, так как скорость их при этом (с учетом времени входа, выхода и пересадки) около 20 км/ч. Однако доля таких поездок с течением времени падает: 73% — 1964 г.; 65% — 1968 г.; 56% — 1973 г.; 51% — 1980 г. Это свидетельствует о тенденции к увеличению средней дальности передвижения пассажиров в основ-

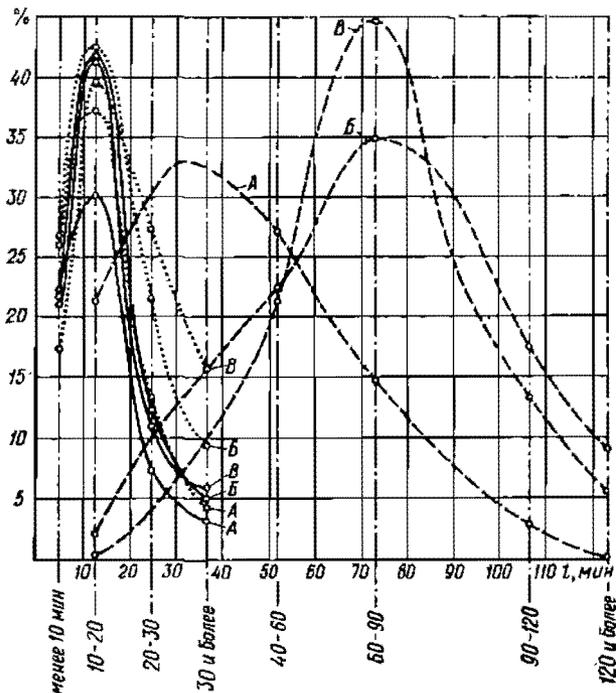


Рис. 2. Распределение трудовых поездок по затратам времени на передвижения пассажиров:

А — проживающих, работающих и учащихся в Москве; Б — проживающих в Москве, работающих или учащихся в Московской области; В — проживающих в Московской области, работающих в Москве;

— — — передвижение от места жительства до места работы или обучения без ожидания транспорта;

.... передвижение пешком от места жительства до остановки транспорта и от остановки транспорта до места работы (учебных)

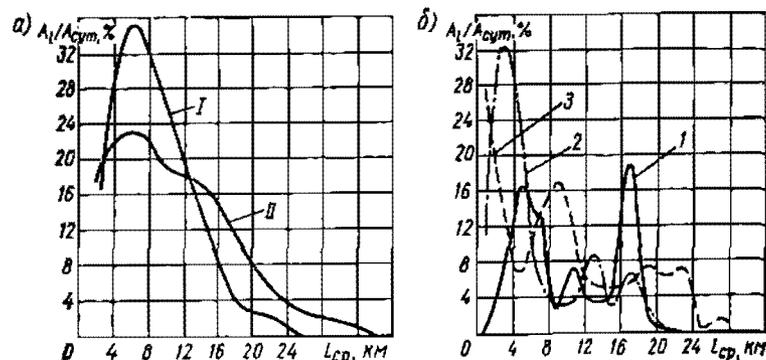


Рис. 3. Распределение поездок пассажиров по дальности передвижений:

а — на Московском метрополитене;  
I — в 1964 г.; II — в 1980 г.; б — со станций:  
1 — Преображенская; 2 — Комсомольская; 3 — Кировская

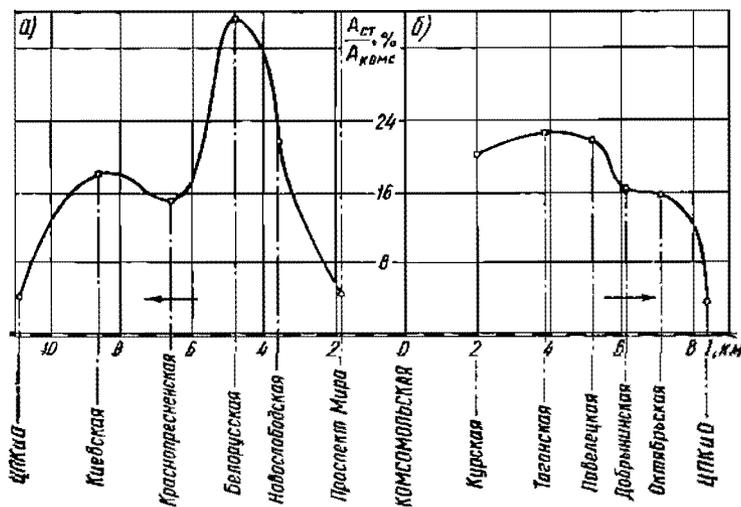


Рис. 4. Распределение поездок пассажиров со станции Комсомольская в пределах Кольцевой линии Московского метрополитена:

а — II внешний; б — I внутренний путь

ном из-за процессов расселения горожан преимущественно в периферийные районы. Значительный объем перевозок приходится на диапазон дальностей в 2—4 км, что говорит о недостаточно тесной и четкой координации работы метрополитена с наземными видами пассажирского транспорта и служит достаточно убедительным обоснованием для рекомендаций о совершенствовании маршрутной системы наземного транспорта. Часть пассажиров при этом предпочтет наземные передвижения метрополитену.

Трудно даже перечислить все факторы, которые определяют перевозки и влияют на них. Однако их можно подразделить на внешние, или объективные, и внутренние, организационно-технические — субъективные. К первым относятся главным образом социально-экономические факторы: рост населения и демографические сдвиги в его численности, уровень материальной и культурной жизни, режим труда и отдыха трудящихся и наличие у них свободного времени, развитость сети метрополитена и других транспортных средств в городе и др. Один из объективных факторов перевозок — междугородные транспортные связи. В 1980 г. из Москвы в другие города и районы страны выехало около 1 млрд. пассажиров. Это значит, что ежедневно выезжают за черту города около 3 млн. чел. и столько же приезжают в Москву. Если предположить, что каждый приезжий совершает в день приезда (отъезда) только одну поездку на внутригородском транспорте, то около 6 млн. поездок в городе (почти 30%) объясняется фактором внешнегородских связей. Значительно влияют на внутригородские перевозки также развитие туризма и градостроительные факторы, например, увеличение населения и характер его расселения, рост и освоение территории города, действующие одновременно. Решая вопросы развития и эксплуатации пассажирского транспорта в городе, необходимо учитывать всех пассажиров, пользующихся им. Это, бесспорно, поскольку каждому из них транспортное предприятие должно предоставить место для поездки в определенных условиях комфорта.

Статистических же данных о поездках пассажиров, пользующихся правом бесплатного проезда (депутаты, работники милиции, инвалиды и др.), а также о так называемом неудовлетворенном спросе — отказе от пользования услугами транспорта из-за большого интервала и нерегулярности движения, переполнения вагонов и др. — нет.

По данным ИКТП, в действительности количество таких пассажиров на городском транспорте достигает 18%, Это тоже объективный фактор. К субъективным факторам можно отнести такие, как привлекательность вида транспорта, скорость перемещения на нем, условия нахождения пассажиров в салоне, комфорт, соответствие функциональных планировочных исполнений станций складывающимся пассажиропотокам, а также оперативность в организации перевозок и др.

Недостаточная исходная статистическая, учетная и обследовательская информация о пассажирских перевозках и их потоках не позволяет пока проникнуть в сущность многих взаимосвязей, взаимозависимостей и закономерностей. Это затрудняет не только прогноз и планирование вероятного поведения пассажира, но весьма осложняет и анализ уже сложившихся тенденций спроса на услуги транспорта. Этим в известной мере объясняется тот факт, что в планировании, проектировании и эксплуатации пассажирского транспорта в городах все еще превалирует роль профессиональной интуиции, производственного опыта. Выявление закономерностей пассажирских перевозок зависит не только от статистического учета. Необходимы систематические — не реже одного раза в год — целевые обследования пассажирских потоков, которые сейчас проводятся нерегулярно.

Анализ выявляет и в определенной мере объясняет взаимозависимость ритма развития города и пассажирского транспорта. Однако, несмотря на то, что факторы изменения объема перевозок известны, методики определения его на ближайшую перспективу в крупных городах с населением свыше 1,5 млн. жителей нет [10]. Необходимо установить корреляционные связи между решающими факторами и показателями перевозок. Пока уровень теоретических исследований в области организации пассажирских перевозок не соответствует его действительной значимости.

## 2. Целесообразность строительства метрополитена в городе

Один из важных вопросов градостроительства — своевременность строительства линий метрополитена. Многолетний опыт эксплуатации отечественных метрополитенов показывает, что рост города опережает развитие транспорта,

испытывающего перегрузки, поэтому определить момент необходимости строительства метро очень важно и актуально. Ответы на вопрос, когда в городе пора строить метрополитен, противоречивы. В основе их лежат разные критерии. Известно утверждение о том, что метрополитен необходим в городах с населением более 1 млн. жителей, но это положение отвергнуто жизнью. На 37-м конгрессе Международного союза общественного транспорта (МСОТ), членом которого является СССР, оно также признано устаревшим. Отмечено, что уже во многих городах с быстро увеличивающимся населением (от 400 тыс. до 1 млн. жителей) строится или построен метрополитен (Хельсинки, Лиссабон, Осло, Роттердам, Стокгольм и др.).

Госплан СССР считает, что метрополитен можно строить для освоения ожидаемых устойчивых пассажиропотоков более 30 тыс. чел. в 1 ч в одном направлении. Это положение следует считать также устаревшим, так как фактически достигаемая провозная способность современной линии метрополитена не превышает 30 тыс. пассажиров/ч при максимальной норме максимально заполняемого вагона в поезде 150 пассажиров и частоте движения (семивагонных составов) до 45 поездов/ч.

Решающее значение при решении данного вопроса могут иметь соображения экономики или рентабельности метрополитена. Управление Московского метрополитена и ЦНИИП градостроительства (Москва) утверждают, что метрополитен при современной организации работы, действующих ценах и тарифах становится безубыточным при перевозках 6—8 млн. пассажиров в год на 1 км сети. Как правило, это соответствует максимальной нагрузке на перегон 10—15 тыс. пассажиров /ч в одном направлении движения, что в 2—3 раза меньше утвержденных Госпланом СССР нормативов. Практика Киева, Ленинграда, Тбилиси и Баку подтвердила это положение. Киевское метро, например, стало прибыльным на 7-м году эксплуатации при длине сети 12,7 км и максимальных перевозках по перегону около 12 тыс. пассажиров/ч (6,7 млн. пассажиров в год на 1 км сети).

Метрогипротранс и другие ведомства предполагают, что строить метро нужно тогда, когда возможности развития массового наземного транспорта исчерпаны (из-за ограниченной пропускной способности уличной сети) и строительство его экономически выгоднее массового сноса и передвиж-

ки зданий для расширения и создания новых транспортных магистралей. На сложившихся магистральных городах движение транспорта и пешеходов настолько интенсивно, что ликвидировать затруднения в уличном движении невозможно без генеральной реконструкции улиц. Если во многих местах нет пока затруднений в пропуске движущегося транспорта, то это потому, что подвижной состав наземных видов транспорта общего пользования бывает чрезмерно переполнен.

Проблема строительства метрополитена актуальна для десятков городов нашей страны. Правильное и своевременное решение ее — важная народнохозяйственная задача. Однако до сих пор нет единых и научно обоснованных взглядов, норм и рекомендаций. Кроме того, в практике укоренились ошибочные представления о возможностях метрополитена и методически неправильные подходы к решению основных задач организации перевозок как при проектировании, так и в процессе эксплуатации линий. Обращает на себя внимание тот факт, что почти каждая линия уже в первые годы не справляется даже с проектными нагрузками. Так, Ждановский радиус в Москве, введенный в эксплуатацию в 1966 г., был рассчитан на пропуск 30 пар шестивагонных поездов в 1 ч. Уже через три года появилась необходимость увеличить пропускную способность до 40 пар. Подобные просчеты были на Калужской и Филевской линиях. За 25 лет пропускная способность Горьковско-Замоскворецкой линии после четырехкратной реконструкции доведена до 45 пар семивагонных поездов в 1 ч. Ленинградский метрополитен уже реконструирован, частота движения на нем доведена до 38 пар поездов в 1 ч. Требуют усиления и линии Киевского метрополитена. Из-за допущенных при проектировании просчетов перевозки в часы пик эксплуатационники вынуждены осваивать недостаточными техническими средствами, ухудшая культуру обслуживания пассажиров.

Главная причина просчетов при проектировании новых линий скрывается в том, что проектировщики при обосновании пропускной и провозной способностей пользуются неправильными методическими приемами, не учитывая особенности пассажиропотоков. На практике в Государственном проектно-изыскательском институте Метрогипротранс и других проектных организациях страны пропускную способность проектируемой линии определяют делением числа пассажиров, перевозимых по наиболее загруженному пере-

ну за 1 час пик, на число мест в современном поезде (норма 150 пассажиров/ваг). При этом принято, что пассажирские потоки равномерны как в течение каждого часа пик, так и во всех вагонах поезда, чего в действительности никогда не бывает. Оттого неизбежно пропускная и провозная способность проектируемых линий, число вагонов в поезде и длина пассажирских платформ определяются неправильно.

Известно, что специфика режима работы любого вида пассажирского транспорта — различного рода неравномерности поступления и распределения пассажиров во времени и пространстве. Расчетная методика Метрогипротранса, признавая другие закономерности пассажирских потоков, не учитывает такие повседневные явления, как неравномерное поступление в метро пассажиров внутри каждого часа (по 15-минутным периодам) и неодинаковое их распределение по разным вагонам одного и того же поезда. Эти два вида неравномерности приводят к тому, что провозную способность линий метрополитена фактически можно использовать лишь на 48—79% (результаты талонного обследования в Москве) или в среднем примерно на 60%. Вместо, например, 50 тыс. линия фактически способна пропустить не более 30 тыс. пассажиров. По этой причине пропускную способность проектируемых линий в ТЭО принимают заниженной в 1,8 — 2,0 раза. Станции строят с посадочными платформами длиной, например, не на 8 вагонов (160 м), как требуют пассажирские потоки, а на 5—6 вагонов (100—120 м) [25].

Целесообразность строительства метрополитена в том или ином городе обосновывают, не учитывая социальные факторы (экономия времени горожан при пользовании услугами транспорта и так называемая транспортная усталость человека, которая сопряжена с частичной потерей трудоспособности). Единая научно обоснованная методика установления целесообразности и своевременности строительства метрополитена в городе должна учитывать огромное число факторов: социологические, экономические, градостроительные, инженерно-строительные и эксплуатационные, географические, демографические. Устаревшими традиционными методами и вручную эту проблему, в результате решения которой должен быть определен один оптимальный, т. е. наиболее выгодный и удобный, прежде всего для пассажира, вариант исполнения, решать нельзя. Сделать это можно лишь на базе экономико-математических методов (ЭММ) и электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

В последние годы научно-исследовательские институты: ИКТП при Госплане СССР, ЦНИИП градостроительства Москвы и НИИП градостроительства Киева, АКХ им. К. Д. Памфилова, МИСИ им. В. В. Куйбышева, НИиПИ Генерального плана Москвы, ВНИИЖТ МПС СССР и другие организации все большее внимание уделяют комплексному развитию пассажирского транспорта в городах. Однако многие вопросы этой важной и сложной проблемы, такие, как разработка научно обоснованных принципов и основ развития и совершенствования эксплуатации метрополитена, координации его работы с другими видами транспорта в городах, находятся в начальной стадии разрешения. Они занимают особое положение в транспортной науке и требуют специфических разработок.

### 3. Основные технико-эксплуатационные показатели работы метрополитена

Показатели работы метрополитена можно условно подразделить на две основные группы: количественные, позволяющие определить объем планируемой или выполненной работы, и качественные, оценивающие качество выполненной работы и удобства пассажиров. Кроме того, существуют показатели, характеризующие мощность средств метрополитена. Количественные показатели — это пассажирооборот, пассажиро- и грузонапряженность линий, показатели перевозок (отправление, посадка, высадка, средняя дальность поездки и др.) и работы подвижного состава (пробеги)

Объем работы метрополитена оценивается пассажирооборотом — суммой произведений числа перевезенных по каждому перегону пассажиров  $p_1, p_2, \dots, p_n$  на длину  $l_1, l_2, \dots, l_n$  перегонов  $1, 2, \dots, n$ .

$$P = p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots + p_n l_n = \sum_{n=1}^n p_n l_n.$$

Единица измерения его пассажиро-километр (пассажиро-км).

Интенсивность перевозочной работы характеризуется показателем пассажиронапряженности — перевозочной работой  $P$ , отнесенной на 1 км эксплуатационной  $L_э$  длины сети метрополитена,

$$П = P : L_э.$$

Густота перевозок — число перевезенных пассажиров  $A$ , отнесенное к 1 км сети метрополитена,

$$G = A : L_{\text{в}}$$

Густота перевозок на метрополитенах в разных городах СССР:

	млн. пасса- жиров/ км
Москва . . . . .	12,6
Ленинград . . . . .	11,6
Киев . . . . .	9,7
Тбилиси . . . . .	7,6
Баку . . . . .	7,6
Харьков . . . . .	10,1
Ташкент . . . . .	4,8

Грузонапряженность — расчетный показатель, представляющий собой объем работы в тонно-километрах, приходящийся на 1 км эксплуатационной протяженности линии в одном определенном направлении движения. Суммарная грузонапряженность (брутто) складывается из нагрузок от перевозимых пассажиров и вагонов без пассажиров:

$$G_{\text{бр}} = G_{\text{пасс}} + G_{\text{ваг}}$$

Этот показатель можно рассчитать для любой линии за любой отрезок времени: час, сутки, месяц, год. В отдельных случаях необходимо учитывать закономерности распределения перевозок и пассажиропотоков во времени и пространстве. Например, показатели  $G_{\text{бр}}$  зимних и летних периодов различны из-за изменяющихся объемов перевозок. Практически наиболее употребляемый показатель — грузонапряженность брутто расчетной линии за год  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$ . Показатели  $G_{\text{пасс}}^{\text{год}}$ ,  $G_{\text{ваг}}^{\text{год}}$  и  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$  находят двумя способами: по пассажиронапряженности и по размерам движения поездов. В первом случае

$$G_{\text{пасс}}^{\text{год}} = P g_{\text{пасс}} / 2,$$

где  $P$  — пассажиронапряженность работы 1 км эксплуатационной длины в двухпутном исчислении за год, пассажиро-км/1 км;

$g_{\text{пасс}}$  — масса одного пассажира, т;  
2 — два направления движения поездов.

Если в отчетности данных нет, пассажиронапряженность находят как

$$P = A_{\text{л}}^{\text{год}} l_{\text{ср}}^{\text{л}} / L_{\text{в}}$$

где  $A_{\text{л}}^{\text{год}}$  — количество перевозимых по данной линии пассажиров за год, млн. пассажиров;

$l_{\text{ср}}^{\text{л}}$  — средняя дальность поездки пассажиров на данной линии, км;

$L_{\text{в}}$  — эксплуатационная протяженность линии в двухпутном исчислении, км.

Таким образом,

$$G_{\text{пасс}}^{\text{год}} = A_{\text{л}}^{\text{год}} l_{\text{ср}}^{\text{л}} g_{\text{пасс}} / 2 L_{\text{в}}$$

Показатель  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$  определяется соотношением

$$G_{\text{ваг}}^{\text{год}} = P r_{\text{ваг}} / 2 m_{\text{ср}}^{\text{год}},$$

где  $r_{\text{ваг}}$  — масса вагона без пассажиров, т;

$m_{\text{ср}}^{\text{год}}$  — среднее наполнение вагона за расчетный год;  
2 — два направления движения.

В развернутом виде формула для определения  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$  имеет вид

$$G_{\text{бр}}^{\text{год}} = A_{\text{л}}^{\text{год}} l_{\text{ср}}^{\text{год}} g_{\text{пасс}} / 2 l_{\text{в}} + P r_{\text{ваг}} / 2 m_{\text{ср}}^{\text{год}}$$

Определять  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$  целесообразно графически по номограммам, построенным для каждого из двух слагаемых последней формулы. На номограмме (рис. 5) штриховой линией показано, как найти  $G_{\text{пасс}}^{\text{год}}$  при значениях  $A_{\text{л}}^{\text{год}} = 200$  млн. пассажиров;  $l_{\text{ср}} = 10$  км;  $g_{\text{пасс}} = 0,070$  т и  $L_{\text{в}} = 10$  км. Последовательность действий указана стрелками. В некоторых случаях, например, при расчетах и проектировании инженерных элементов пути и путевого хозяйства, для определения  $G_{\text{бр}}^{\text{год}}$  удобнее исходить из задаваемых или

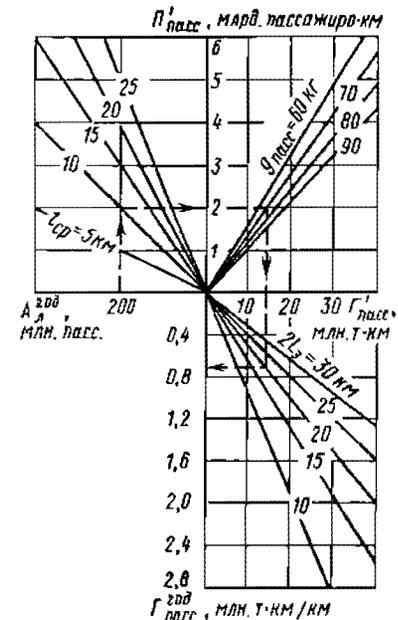


Рис. 5. Номограмма определения грузонапряженности линии

проектных размеров движения, числа вагонов в поездах и других параметров:

$$\Gamma_{бр}^{год} = N_{дв}^{год} m_{ср}^{год} l_{ср}^{год} g_{пасс}/2L_в + N_{дв}^{год} n_{ваг}/2,$$

где  $N_{дв}^{год}$  — число поездов, проследовавших данную линию в обоих направлениях за год;  
 $l$  — число вагонов в поезде.

В табл. 8 приведены расчеты  $\Gamma_{бр}^{год}$  этим вторым способом. Масса вагона принята равной 33 т (вагон типа Е). Следует отметить, что результаты, получаемые по формулам, будут занижены, так как при определении параметра  $m_{ср}^{год}$  не учитывают перевозки бесплатных пассажиров, а показатель

$l_{ср}^{год}$  принимают постоянным в отрезке времени между та- лонными обследованиями. Все это влечет за собой опре- деленные погрешности в решении задач, в которых исполь- зуется показатель  $\Gamma_{бр}^{год}$ .

Перевозкой или отправлением со станции называется ко- личество пассажиров, вошедших в метро с улицы за рас- четный промежуток времени. Перевозки пассажиров на ли- нии  $A^{yn}$  слагаются из отправлений со всех станций, входя- щих в ее состав:

$$A^{yn} = a_1 + a_2 + \dots + a_n = \sum_{n=1}^n a_n,$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  — отправление пассажиров станциями 1, 2, ..., n.

Число перевезенных пассажиров определяют почасовым учетом или делением денежной выручки (платы за проезд) на действующий тариф. Денежная выручка слагается из выручки автоматических контрольных пунктов (АКП) и определенной доли стоимости проданных единых билетов всех видов (месячных, квартальных и годовых). Показатель включает в себя только пассажиров, оплативших проезд. Но часть пассажиров пользуется правом бесплатного про- езда (до 5%). Это значит, что, например, на Ленинградском метрополитене ежедневно для освоения бесплатных пере- возок требуется пропускать около 65 поездов в сутки. Не считаться с этим нельзя. Следовательно, необходимо раз- личать и учитывать три показателя перевозок пассажиров: платных, бесплатных и их сумму.

Посадка — общее количество пассажиров, совершив- ших посадку (в том числе пересадку) в поезда на всех стан- циях, — соответствует числу поездок в пределах данной линии:

$$A = A^{yn} + c_1 + c_2 + \dots + c_k = \sum_{n=1}^n a_n + \sum_{k=1}^k c_k,$$

где  $c_1, c_2, \dots, c_k$  — количество пассажиров, поступивших на станции дан- ной линии с пересадочных станций 1, 2, ..., k других линий для продолжения поездки.

В отличие от отправления пассажиров этот показатель отражает фактический объем перевозок данной линии. В каждом случае пересадки пассажир одной линии превра- щается в пассажира другой линии, где совершает новую по- ездку. Поездки учитывают на каждой линии, хотя пассажир

Таблица 8

Пример расчета грузонапряженности линий по результатам работы за год

Метрополитен города, линия	$N_{дв}^{год}$ , тыс. поездов	$l$ , ваг	$\Gamma_{ваг}^{год}$ , млн. т. км/км	$\Gamma_{пасс}^{год}$ , пассажиров/ваг	$l_{ср}^{год}$ , км	$L_в$ , км	$\Gamma_{пасс}^{год}$ (при $g_{пасс}=70$ кг), млн. т. км/км	$\Gamma_{бр}^{год}$ , млн. т. км/км
Москва	337,2	7	38,9	56,5	7,8	22,4	1,6	40,5
Кировско-Фрун- зенская	387,1	7	44,7	64,5	11,7	30,4	2,4	47,1
Горьковско-За- москворецкая	356,1	7	41,1	60,5	9,6	18,7	2,7	43,8
Арбатско-Покров- ская	259,6	6	25,7	40,7	9,4	14,4	1,5	27,2
Филевская	337,8	6	33,4	64,7	7,5	19,3	1,8	35,2
Кольцевая	328,0	7	37,9	61,6	9,8	31,4	1,6	39,5
Калужско-Риж- ская	344,8	7	38,8	52,8	9,8	36,0	1,2	41,0
Ждановско-Крас- нопресненская	322,1	7	37,2	51,7	8,5	59,7	1,9	39,1
Ленинград (в среднем для трех линий)	477,6	5	39,4	63,4	7,6	20,5	2,0	41,4
Киев								
Тбилиси	244,8	4	16,2	51,0	5,0	12,6	0,7	16,9
Баку	319,6	4	21,1	62,4	5,8	18,6	0,9	22,0
Харьков	259,9	5	21,4	41,3	5,1	17,3	0,6	22,0
Ташкент	166,2	4	11,0	37,7	5,5	11,3	0,6	11,6

имеет лишь одно отправление. Пересадку на метрополитене пассажир не оплачивает, поэтому ее можно учесть лишь специальными обследованиями.

**Высадка** — количество пассажиров, высаживающихся из вагонов на всех станциях данной линии:

$$B = \sum_{n=1}^n b + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} y,$$

где  $b_1, b_2, \dots, b_n$  — число пассажиров, завершивших поездку и вышедших на улицу со станций 1, 2, ..., n;

$y_1, y_2, \dots, y_{\kappa}$  — число пассажиров, перешедших на пересадочные станции 1, 2, ...,  $\kappa$  других линий для продолжения поездки.

**Пересадочность.** Около 2/3 поездок москвичи совершают с пересадками. В среднем на каждое отправление пассажира приходится 1,5 пересадки.

**Пассажирообмен** линии — сумма посадки и высадки пассажиров

$$П_{л} = A + B,$$

или

$$П_{л} = \sum_{n=1}^n a + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} c + \sum_{n=1}^n b + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} y;$$

беспересадочной станции  $П_{ст} = a_z + b_z$ ;

пересадочной  $П_{пер} = a_z + b_z + c_z + y_z$ ,

где  $a_z, b_z, c_z, y_z$  — ранее принятые обозначения, но для станции z.

Следует различать пассажирообмен станции (поездов) и узла. Сумма пассажирообменов всех станций узла, если не учитывать их взаимосвязь, представляет собой количество посадочно-высадочных операций, совершенных пассажирами. Пассажирообмен узла:

из двух станций (рис. 6, а)

$$П_{у}^a = a_1 + b_1 + a_2 + b_2 + c_1 \text{ (или } y_2) + y_1 \text{ (или } c_2);$$

из трех станций (рис. 6, б)

$$П_{у}^b = (a_1 + b_1) + (a_2 + b_2) + (a_3 + b_3) + (c_2(1) + y_2(1)) + (c_2(3) + y_2(3)).$$

где  $c_2(1)$  — число пассажиров, пришедших на станцию 2 со станции 1;

$c_2(3)$  — то же со станции 3;

$y_2(3)$  — число пассажиров, ушедших на пересадку со станции 2 на станцию 3;

$y_2(1)$  — то же на станцию 1;

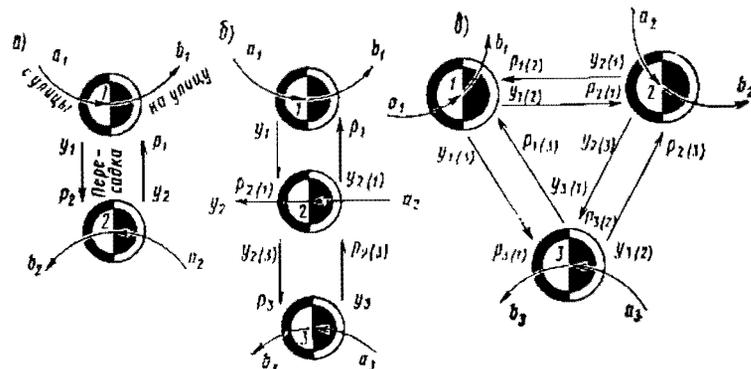


Рис. 6. Схема пассажирообмена пересадочных узлов:

а — с двумя станциями; б — с тремя станциями (пересадка между станциями 1 и 2); в — то же (пересадки между всеми станциями)

также из трех станций (рис. 6, в)

$$П_{у}^в = (a_1 + b_1) + (a_2 + b_2) + (a_3 + b_3) + \{(c_1(2) + y_1(2)) + (c_2(3) + y_2(3)) + (c_3(1) + y_3(1))\} : 2.$$

Определяя пассажирообмен узла, состоящего из трех и более станций (центральные узлы в Москве), можно дважды учесть пересаживающихся пассажиров, если механически суммировать пассажирообмен поездов на всех станциях. Так, сумма суточного пассажирообмена поездов на станциях Проспект Маркса, Площадь Свердлова и Площадь Революции на 42% больше пассажирообмена узла.

Средняя дальность поездки пассажира определяется делением пассажирооборота  $P$  на число перевезенных за расчетный период пассажиров. Среднюю дальность поездки пассажиров, вошедших в метро на всех станциях данной линии и совершивших поездки как по ней, так и за ее пределами, определяют по формуле:

$$l_{ср}^n = P : A^n.$$

Но эта длина поездки не фактическая, а расчетная, входящая в среднем на одно отправление пассажира данной линии. Поскольку пассажирооборот включает в себя пассажиро-километры проезда и пересадочных пассажиров, то  $l_{ср}^n$  отражает условно длину поездки с учетом пересадок. Условность заключена в отнесении количества пассажиро-

километров пересадочных пассажиров к числу пассажиров, вошедших в метро на данной линии. Средняя дальность поездки пассажиров (в том числе и пересадочных) в пределах данной линии

$$l_{\text{ср}} = P : A.$$

Средняя дальность поездки с данной станции определяется суммой пассажиро-километров поездок всех групп пассажиров, деленной на количество отправлений:

$$l_{\text{ср}}^{\text{ст}} = \frac{a_1 l_1 + a_2 l_2 + \dots + a_k l_k}{a_1 + a_2 + \dots + a_k} = \frac{\sum_{\kappa=1}^k a_{\kappa} l_{\kappa}}{\sum_{\kappa=1}^k a_{\kappa}},$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_k$  — количество пассажиров, вошедших с улицы на данную станцию и совершивших поездки до станций 1, 2, ..., k;  
 $l_1, l_2, \dots, l_k$  — расстояния между данной станцией и станциями 1, 2, ..., k.

Среднюю дальность поездки пассажира на метрополитене получают делением общей суммы пассажиро-километров на всех линиях за сутки  $P_M$  на общее число перевезенных пассажиров за этот же промежуток времени  $A_M^{\text{ул}}$ :

$$l_{\text{ср}}^M = P_M : A_M^{\text{ул}}.$$

Данные для расчета получают на основе материалов сплошных талонных обследований пассажиропотоков и  $l_{\text{ср}}$  затем принимают одинаковой для всех дней недели в течение 4—8 лет (от одного обследования до следующего). Однако такое допущение неправомерно. В Москве, например, дальность передвижения пассажиров с 1974 до 1980 г. принималась равной 9,8 км, фактически в 1980 г. она увеличилась до 10,5 км. Хотя математическая зависимость этого показателя от влияющих на него факторов пока не выявлена, тем не менее установлено, что решающий из них — общая эксплуатационная протяженность линий —  $L_3$ , т. е.  $l_{\text{ср}} = f(L_3)$ . Корреляционная связь фактора и показателя достаточно тесная. Главным научно-исследовательским вычислительным центром Мосгорисполкома разработана методика определения средней дальности передвижений пассажиров  $l_{\text{ср}}$  на периоды между сплошными талонными обследованиями пассажиропотоков и на перспективу. Основа ее — линейная зависимость между эксплуатационной про-

Таблица 9

Результаты расчетов и корректировка  $l_{\text{ср}}$ , км

$L_3$	Граница $l_{\text{ср}}$		$l_{\text{ср}}$
	нижняя	верхняя	
36,6	4,9	5,8	5,3
66,6	6,2	6,9	6,5
96,6	7,3	8,1	7,7
126,6	8,5	9,3	8,9
156,6	9,6	10,5	10,0
186,6	10,7	11,7	11,2
216,6	11,7	13,0	12,3
231,6	12,3	13,6	12,9

тяженностью линий и средней дальностью передвижений пассажиров:

$$l_{\text{ср}} = \alpha + \beta L_3.$$

Для расчетов на ЭВМ лабораторией электронно-вычислительной техники (ЛЭВТ) Московского метрополитена разработаны алгоритмы и программа и рассчитаны коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  с учетом данных последнего талонного обследования, а также нижние и верхние границы  $l_{\text{ср}}$  с доверительной вероятностью 0,9 (табл. 9) в диапазоне  $L_3$  от 36,6 до 231,6 км. Получаемые результаты практически почти точно сходятся с фактическими.

Методика апробирована и внедрена ЦМетро МПС на всех метрополитенах. Скорректированная по данной методике средняя дальность в 1981 г. на метрополитенах следующая:

	1980 г.	1981 г.
Московский . . . . .	10,5	11,07
Ленинградский . . . . .	9,26	9,67
Киевский . . . . .	7,6	9,62
Тбилисский . . . . .	5,0	5,7

Коэффициент сменности — показатель, характеризующий, сколько раз сменяются (входят и выходят) пассажиры в течение одного рейса, определяется делением длины линии на среднюю дальность поездки:

$$k_{\text{см}} = L_3 : l_{\text{ср}}.$$

Различают количественные показатели работы подвижного состава: пробег вагонов с пассажирами, нулевой (вспомогательный) и полный.

**Пробег вагонов с пассажирами** в вагоно-километрах на каждой линии определяют для расчетного периода (1 ч, сутки, год) по формуле

$$W_{\text{пасс}} = NL_{\text{э}} n,$$

где  $N$  — число поездов, пропущенных за расчетный период;  
 $L_{\text{э}}$  — эксплуатационная длина линии, км;  
 $n$  — число вагонов в поезде.

**Нулевой пробег вагонов**  $W_0$  — пробег без пассажиров при обороте составов на станционных путях, между станцией и депо, по соединительной ветви и др. Подсчитывают его по формуле, аналогичной приведенной выше. Полный, или общий, пробег вагонов — сумма пробегов вагонов с пассажирами и нулевого:

$$W = W_{\text{пасс}} + W_0.$$

Качественные показатели по сравнению с количественными более сложны. Они показывают количество перевозочной работы на единицу технической или объем технической работы в единицу времени. С их помощью оценивают затраты технических средств на выполнение определенного объема перевозочной работы и степень использования подвижного состава.

**Оборот вагона** — универсальный показатель работы метрополитена. Он выражает время, затрачиваемое на один полный цикл работы вагона в составе поезда на линии с момента отправления с начальной или распорядительной (на Кольцевой линии) станции до момента повторного отправления с той же станции, т. е. время хода поезда по линии туда и обратно с учетом оборота на двух конечных станциях. Оборот вагона (в мин) определяют по графику исполненного движения поездов по формуле

$$O = \frac{2L_{\text{э}}}{v_y} + T_1 + T_2,$$

где  $L_{\text{э}}$  — эксплуатационная длина линии для пассажирского движения, м;  
 $v_y$  — участковая скорость движения, м/мин;  
 $T_1, T_2$  — время оборота вагона на конечных станциях, мин.

**Рейсом вагона** называют расстояние, пройденное им за время полного оборота  $O$ ,

$$R = 2L_{\text{э}} + l_1 + l_2.$$

где  $l_1, l_2$  — расстояния, проходимые вагоном при обороте на конечных станциях, м.

**Среднесуточный пробег вагона** — путь, проходимый в среднем одним вагоном за сутки. В зависимости от видов парка пробеги рассчитывают делением полного пробега на инвентарный или эксплуатационный парк. Инвентарный, или приписной парк — общее количество вагонов, приписанных к метрополитену. Сюда входят как исправные, так и неисправные вагоны (находящиеся в ремонте и непригодные для работы, ожидающие списания). Эксплуатационный парк — исправные вагоны, выделенные для обеспечения перевозок. Этот парк должен обеспечивать максимальную частоту движения поездов (с учетом отстойных составов) по утвержденному графику.

**Коэффициент выпуска подвижного состава** — отношение эксплуатационного  $N_{\text{э}}$  и инвентарного  $N_{\text{инв}}$  парков

$$\gamma = N_{\text{э}} : N_{\text{инв}}.$$

**Нагрузка, или наполнение, вагона** — число пассажиров, условно приходящееся на вагон или фактически находящееся в нем. Различают наполнение среднее для всех вагонов поезда и фактическое повагонное на данный промежуток времени (15 мин, 1 ч, сутки). Среднее наполнение вагона в поезде — число пассажиров в поезде, разделенное на число вагонов в нем. Этот показатель не отражает действительного положения, а лишь дает приближенное представление об условиях перевозки. Фактическое повагонное наполнение — число пассажиров, находящееся в действительности в каждом вагоне поезда. Коэффициент использования вместимости вагона — отношение среднего фактического (за 1 ч, сутки, год) наполнения вагона  $m_{\text{ф}}^{\text{ср}}$  к числу мест в нем (норма  $m_{\text{доп}}^{\text{max}}$ ) (в %)

$$\eta = \left( m_{\text{ф}}^{\text{ср}} : m_{\text{доп}}^{\text{max}} \right) 100,$$

или

$$\eta = \frac{Al_{\text{ср}}}{W m_{\text{доп}}^{\text{max}}} 100,$$

где  $Al_{\text{ср}}$  — фактическая перевозочная работа, пассажиро-км;  
 $W$  — общий пробег подвижного состава, км.

Различают скорости движения поездов:

конструкционную — предельную скорость, которую может развить данный тип вагона;

техническую  $v_{тех}$  — скорость движения поезда по перегонам без учета стоянок на промежуточных станциях, но включая время, затрачиваемое на разгоны и замедления;

скорость сообщения поезда (участковую)  $v_c$  — отношение пройденного поездом расстояния к времени с момента трогания на начальной до остановки на конечной станции линии с учетом стоянок на промежуточных станциях. Стоянки поезда на конечных станциях, как элементы оборота составов, а также время отстоев и оборотов в ней не учитываются;

эксплуатационную — отношение пройденного расстояния с момента выхода состава из депо (после ночного отстоя) до возвращения в депо (или постановки на ночной отстой) к общему времени пребывания на линии. Пройденное расстояние складывается из эксплуатационной протяженности линии  $L_b$  и ее участков и расстояний нулевых пробегов. Составные слагаемые общего времени  $T_o$  — времена хода по линии и ее участкам с пассажирами с учетом стоянок на промежуточных станциях, отстоев на станциях и нулевых пробегов. Показатель эксплуатационной скорости используют для определения количества подвижного состава, необходимого для организации движения поездов на линии, размеров депо и др. Он характеризует также эксплуатационную деятельность линии.

Удельный расход электроэнергии на тягу поездов (для сравнения с установленной нормой) определяют отношением фактического расхода в абсолютном исчислении  $\mathcal{E}$  (в кВт·ч) к выполненному объему работ  $\Gamma_{бр}$  (в т·км брутто)

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E} : \Gamma_{бр},$$

$$\text{или } \mathcal{E}_T = \frac{\sum_{n=1}^n \mathcal{E}_n \cdot 1000}{\sum_{n=1}^n G_n l_n},$$

где  $\Gamma_{бр} = G_1 l_1 + G_2 l_2 + \dots + G_n l_n$ ;  
 $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$  — расход электроэнергии на перегонах 1, 2, ..., n, кВт·ч;

$G_1, G_2, \dots, G_n$  — масса вагона (поезда) с пассажирами на перегонах 1, 2, ..., n, т;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  — длина перегонов 1, 2, ..., n.

Выполненный объем работы в тонно-километрах  $\Gamma_{бр}$  складывается из объема работы в тонно-километрах от переве-

женных пассажиров  $\Gamma_{пасс}$  и от пробега подвижного состава  $\Gamma_{ваг}$ . Таким образом,

$$\mathcal{E}_T = \frac{\sum_{n=1}^n \mathcal{E}_n \cdot 1000}{A_{обр} \Gamma_{пасс} + P_{ваг} W}.$$

В частности, можно отметить, что удельный расход электроэнергии обратно пропорционален  $l_{ср}$ . В абсолютном исчислении фактический расход электроэнергии  $\sum_{n=1}^n \mathcal{E}_n$  периодически на каждой линии снимают со счетчиков. Считается, что при максимальных скоростях расход электроэнергии слишком велик. Но при этом сокращается время оборота поезда на линии, а следовательно, уменьшается и количество подвижного состава, находящегося в движении. Следовательно, различные варианты тяговых расчетов и режима движения поездов по перегонам целесообразно сопровождать технико-экономическими обоснованиями.

Основные показатели мощности технических средств метрополитена следующие: полная или развернутая длина путей — строительная и эксплуатационная, пропускная и провозная способности, парк подвижного состава, плотность сети метрополитена в городе. Строительная длина исчисляется однопутной протяженностью. В нее входят все пути, находящиеся в эксплуатации и числящиеся на балансе метрополитена: главные (на перегонах), станционные (главные, приемо-отправочные, для оборота и отстоя составов, парковые, дуповские и др.), специального назначения (соединительные ветви, предохранительные тупики). Эксплуатационную длину линии ограничивают оси конечных станций. Ее обычно определяют в двухпутном исчислении. Длина советских метрополитенов (в двухпутном исчислении) на 01.01.1982 г. следующая:

	Строительная, км	Эксплуатационная, км
Москва . . . . .	194,2	184,0
Ленинград . . . . .	71,2	66,1
Киев . . . . .	35,85	28,3
Тбилиси . . . . .	18,8	18,0
Баку . . . . .	20,76	18,6
Харьков . . . . .	18,5	17,3
Ташкент . . . . .	16,4	15,4
Ереван . . . . .	7,7	6,6

## II. ОБСЛЕДОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПОТОКОВ

### 1. Изучение спроса на услуги метрополитена

Спрос населения на услуги транспорта проявляется в виде каждодневных передвижений. Каждое передвижение характеризуется направлением, дальностью и скоростью. Передвижения, совпадающие по направлению движения, образуют так называемые пассажирские потоки. Взаимоналожения потоков, одинаковых по направлениям движения и расстояниям, т. е. совпадающих по пунктам начала (станция отправления) и окончания передвижения (станция назначения), образуют схему связей между различными районами города — корреспонденций, количественно их представляют обычно в виде «косых» таблиц-шахматов (табл. 10). Пассажиропотоки, наложенные на план города, называют планограммой, а увязанные с маршрутной сетью каждого вида транспорта — картограммой пространственного распределения передвижений, например, картограммой пассажиропотоков метрополитена (рис. 7).

Зная особенности формирования и распределения пассажиропотоков:

разрабатывают и постоянно корректируют графики движения поездов так, чтобы наиболее полно удовлетворить запросы на перевозки, обеспечить соответствие режима работы поездов пассажирским потокам;

совершенствуют технологические процессы работы станций, всех их функционально-планировочных элементов (разделение и специализация по направлениям потоков входящих и выходящих пассажиров, режимы работы входов, выходов, переходов, эскалаторов, равномерное распределение пассажиров вдоль посадочных платформ и по вагонам поезда и др.);

осуществляют мероприятия по координации работы метрополитена с наземными видами городского транспорта; разрабатывают требования и рекомендации к проектированию и реконструкции пересадочных узлов и станций;

рационально распределяют инвентарный парк подвижного состава между депо разных линий;

осуществляют организационно-технические мероприятия для повышения пропускной и провозной способностей линий.

Данные о пассажиропотоках используют также для создания новых типов подвижного состава [5]; обоснования дормативов СНиП в части пропускной и провозной способностей линий и станций; для создания АСУ-Метро, в частности ее подсистемы АСУ ПП (АСУ перевозочным процессом) с подсистемой АСУ пассажиропотоками; выявления закономерностей расселения жителей города. Недостаточная изученность пассажиропотоков в городах объясняется в ос-

Таблица 10

Косая таблица корреспонденций пассажирских потоков на Кольцевой линии Московского метрополитена (в тыс. пассажиров)

Со станций	На станции											Итого отправление	
	Белорусская	Новослободская	Прспект Мира	Комсомольская	Курская	Таганская	Павелецкая	Добрынинская	Октябрьская	Парк Культуры	Киевская		Краснопресненская
Белорусская	—	1,4	3,6	14,1	8,1	5,2	3,2	3,8	6,1	3,1	6,1	1,6	56,3
Новослободская	1,5	—	1,9	8,2	4,8	4,2	3,2	3,0	3,1	1,6	3,6	1,5	35,1
Прспект Мира	3,9	2,0	—	2,2	2,4	3,6	3,0	2,6	2,8	1,3	2,1	2,1	22,1
Комсомольская	14,0	8,6	1,9	—	9,7	10,5	9,2	7,6	7,4	2,3	7,2	6,1	60,0
Курская	7,9	5,1	2,2	10,1	—	3,7	5,4	5,5	6,4	2,4	—	3,2	26,6
Таганская	5,4	4,6	3,6	10,7	4,5	—	1,0	3,5	4,0	2,0	4,8	3,3	18,6
Павелецкая	1,4	3,1	2,9	9,9	5,1	0,9	—	1,0	0,9	1,6	3,8	2,1	9,4
Добрынинская	3,6	2,8	2,6	8,1	5,7	3,7	1,0	—	0,5	1,5	4,0	2,2	8,2
Октябрьская	6,2	3,3	2,7	7,4	6,0	4,2	1,1	0,5	—	0,9	4,1	4,7	9,7
Парк Культ.	3,0	1,8	1,3	2,5	2,4	1,8	1,6	1,4	0,7	—	2,1	1,9	4,0
Киевская	5,9	3,5	2,0	7,2	—	4,6	3,6	3,9	3,8	2,1	—	4,6	4,6
Краснопресненская	1,5	1,5	2,1	6,4	3,3	3,3	2,2	2,2	4,6	1,7	4,5	—	—
Итого прибытие	54,3	36,3	21,3	62,3	27,0	18,5	9,5	8,0	9,1	3,8	4,5	—	254,6



но предусматривать обязательную периодичность обследований, методику их обработки и анализа спроса на перевозки. Насущна и разработка новых методов и способов обследования и изучения спроса на перевозки с применением экономико-математических методов и электронно-вычислительных машин. Методы обследования и опыт изучения пассажиропотоков необходимо обобщать, распространять и совершенствовать.

Изучать спрос на услуги метрополитена — это значит изучать особенности и закономерности формирования и распределения пассажирских потоков на нем во времени и пространстве. На практике применяют разные методы обследования и учета пассажирских потоков. В зависимости от конечной цели (какие конкретно требуются данные, их степень точности и т. п.) из них выбирают наиболее рациональный. Обследования пассажиропотоков могут быть сплошными (одновременно на всей сети в течение суток) и выборочными (на отдельных линиях, участках, станциях, в вагонах поезда, по часам суток). Методы получения необходимых данных следующие:

отчетно-статистические (например, обработка периодических отчетных данных о проданных билетах);

натурные обследования (глазомерные, оперативные, талонный);

анкетные.

Анкетные и талонный методы очень трудоемки и дороги (Москва, 1980 г. — около 70 тыс. руб.), поэтому ими пользуются редко. Значительно менее трудоемкие, но позволяющие получить необходимые и достаточно точные для практики данные, — оперативные методы. Тем не менее наиболее всеобъемлющим на транспорте, в том числе и на метрополитене, пока считается талонный метод сплошного обследования, когда каждому пассажиру при входе в метро выдают специальный талон (рис. 8), который при выходе он сдает учетчику. Метод позволяет получить точные и подробные данные о корреспонденциях («откуда-куда») пассажиропотоков, средней дальности поездки, загрузке подвижного состава и перегонов, распределении пассажиров по станциям и направлениям движения и др., но обладает рядом существенных недостатков:

картограмма пассажиропотоков привязана к существующей сети метрополитена, поэтому нельзя судить, в какой мере действующая маршрутная схема транспорта города от-

вечает требованиям населения в передвижениях;

нельзя получить полных данных для определения оптимального выпуска подвижного состава для перевозок и разработки организационно-технических мероприятий, обеспечивающих наиболее равномерное заполнение и пассажирообмен вагонов в поезде и др.;

из-за растущих объемов перевозок и постоянно усложняющейся корреспонденции поездок (Москва, 1980 г. — 115 станций и более 10 тыс. возможных вариантов поездок между станциями отправления и назначения) обработка и анализ результатов длится более года; ценность получаемых данных теряется.

Талонные обследования в Москве проводились лишь 8 раз — один раз в 4—8 лет (последние в 1973 и 1980 гг.) только в рабочие дни (19 марта 1980 г. — среда). Периодически (не реже двух раз в год по рабочим, субботным и воскресным дням) проводится так называемый почасовой учет пассажиров на входах, переходах и выходах со станций. Преимущество этого способа — быстрое получение данных. Недостатки:

недостаточность данных для определения рациональных размеров движения поездов;

нет представления о посадке, высадке и распределении пассажиропотоков по направлениям и перегонам, платформам станций и вагонам поездов (эти данные принимают в соотношениях последнего талонного обследования);

невозможность выявить корреспонденции пассажиропотоков.

В необходимых случаях на станциях пассажирские потоки по часам и внутрисуточным периодам подсчитывают непосредственно у эскалатора. Учетчик находится около его верхней или нижней гребенки и результаты подсчета заносит в специальный бланк. Этот метод также дает лишь общее представление о высадке и посадке на обоих путях станции и загрузке эскалаторов, входа и выхода. Он иногда служит в качестве контрольного к другим методам обследо-



Рис. 8. Талон обследования пассажиропотоков

вания. Практикуются выборочные обследования заполненности подвижного состава способом визуальной оценки. Известен метод прерывистой киносъемки, который разработан сотрудниками НИИ градостроительства Москвы и применяется для изучения пешеходного движения на переходах станций Московского метрополитена и подземных переходах.

На Киевском метрополитене разработана анкета для обследования пассажиропотоков.

#### АНКЕТА

Время Вашего прихода в метро \_\_\_\_\_ ч \_\_\_\_\_ мин  
 Цель Вашей поездки: на работу, по другим делам (подчеркните)  
 До какой станции метро Вы едете \_\_\_\_\_  
 Время начала Вашей работы \_\_\_\_\_ мин  
 Официальное наименование учреждения, где Вы работаете \_\_\_\_\_

Ваши пожелания по улучшению работы метро \_\_\_\_\_

Цель анкеты — улучшить обслуживание пассажиров в час пик.  
 Просим Вас заполнить анкету и сдать ее в любую кассу метрополитена в течение одних суток.

В Ленинграде при комплексных обследованиях используют талон:

Если Вы при выходе делаете пересадку — надорвите название того вида транспорта, на который Вы пересаживаетесь						
50	49	48	47	46	2	Трамвай
45	44	43	42	41		
40	39	38	37	36	3	Троллейбус
35	34	33	32	31		
30	29	28	27	26	4	Автобус
25	24	23	22	21		
20	19	18	17	16	5	Метро
15	14	13	12	11		
10	09	08	07	06	6	Жел. дор.
05	04	03	02	01		

При выходе обязательно сдайте талон контролеру.

Проводятся также оперативные обследования другими способами (например, подсчетом пассажирообмена в поездах на станциях учетчиками, находящимися во всех вагонах). Поиски совершенствования способов обследования пассажиропотоков продолжаются (например, способ взвешивания вагона). Следует отметить один общий для всех обследований недостаток — отсутствие глубокого анализа всех материалов, отчетов, рекомендаций и конкретных мероприятий для дальнейшего улучшения перевозок и обслуживания пассажиров.

Рост благосостояния и культурного уровня трудящихся, развитие городов, массовое жилищное строительство, увеличение численности населения, появление новых мест приложения труда и др. влекут за собой непостоянство пассажирских потоков во времени, по мощности, направлениям движения и участкам сети. Запаздывание с обработкой и изучением материалов обследований может привести к такому изменению ситуации, что коррекция системы организации перевозок не позволит улучшить их качество. Необходимо создать в городе единую постоянно действующую и достаточно оперативную информационную систему о передвижениях населения по городу. На первом этапе целесообразно, чтобы она получала данные о трудовых передвижениях населения по городу.

Такая система значительно сократит продолжительность, трудоемкость и стоимость изучения пассажирских потоков, обеспечит оперативность в решении транспортных задач, позволит улучшить качество обслуживания пассажиров, повысить эффективность использования транспорта, и прежде всего его подвижного состава.

## 2. Выборочный оперативный метод натурного обследования

Талонный метод и почасовой учет пассажиров на станциях слишком трудоемки, но главное, они не дают возможности быстро (в 2—3 дня) получать необходимые и достаточные данные для оперативного решения вопросов, связанных с движением поездов, обеспечением перевозок. Ни тот, ни другой не позволяют получить данные о фактическом наполнении всех вагонов в составе поезда на протяжении всей линии в любое время суток. Поэтому пассажирские потоки метрополитена изучены недостаточно.

Метод, который позволяет получить эти данные, необходимые для решения вопросов, связанных с движением поездов, и дает приемлемую для практических целей точность результатов, назван оперативным методом натурального обследования пассажирских потоков. Простота методики обследования, не требующая специального обучения учетчиков, легкость и быстрота обработки результатов, возможность привлечения минимального числа учетчиков (экономичность) и применения как на отдельных станциях, так и на линии в целом в любой интересующий отрезок времени — все это делает его оперативным. Теоретической основой метода служат положения математической статистики и теории вероятностей.

Пассажирские потоки обследуются по определенной выборочной системе.

Подсчеты и анализ показали, что высадка (или посадка) из каждого вагона в поездах на любой станции колеблется в течение 1 ч незначительно. Так, на одной станции в Москве на II пути с 8 до 9 ч высадка из третьего вагона составила 2469, посадка 1140 пассажиров, или в среднем за 1 ч соответственно  $2469 : 30 = 82$  пассажира и  $1140 : 30 = 38$  пассажиров, где 30 — число прошедших поездов. При подсчете выборочным способом (у каждого пятого пятивагонного поезда) результаты всех возможных пяти вариантов обследования дали относительное отклонение от среднего в 1 ч в высадке 0,34% и в посадке 2,2%. Это значит, что среднечасовая абсолютная ошибка находится в пределах трех пассажиров на каждую сотню, что практически допустимо. На станции Белорусская-Кольцевая среднечасовое относительное отклонение выборочных подсчетов от сплошных составило: высадка — 0,9% в сторону уменьшения; посадка — 3,0% в сторону увеличения; на станции Комсомольская — соответственно 1,4 и 4,5%. Такая стабильность, установившаяся на станциях метрополитена, определила возможность и целесообразность использования на практике выборочного способа натурального обследования пассажиропотоков. В самом деле, достаточно одновременно на всех станциях линии в течение любого часа несколько раз подсчитать высадку (и посадку) из каждого вагона, чтобы с практически допустимой точностью определить загрузку всех перегонов и фактическое заполнение вагонов поезда на всем пути его следования. Репрезентативность выборки установлена в 15—20%.

Оперативный метод натурального обследования состоит из пяти стадий: тщательная подготовка к обследованию, обследование, обработка материалов первичной информации, анализ результатов и показателей пассажиропотоков и обязательная разработка организационно-технических мероприятий, подлежащих внедрению в ближайшее и более отдаленное время, для дальнейшего совершенствования перевозок и повышения культуры обслуживания пассажиров. В стадию подготовки к обследованию входят:

- обоснование необходимости и своевременности его;
- определение цели и основных задач, подлежащих решению;
- установление времени проведения (дата и часы);
- издание приказа (по службе движения или управлению);
- назначение ответственных лиц на линии и каждой станции;
- формирование рабочей группы для сбора, обработки и оформления материалов, а также ответственного за анализ и отчет о результатах обследования;
- заготовка в достаточном количестве инструкций, памяток учетчикам с подробным описанием обязанностей и характера работы и бланков обследования формы 1 — единственных первичных документов;
- раздача инструкций, памяток и бланков участникам работы;
- инструктаж учетчиков, тренировочные игры;
- заготовка достаточного количества бланков различных форм (формы 2, 3 и др.) для ускорения и облегчения обработки результатов. Каждую из этих форм заполняют в процессе обработки результатов на основании формы 1 или предыдущих форм.

Вторая стадия — обследование — фотография пассажирообмена (подсчет высадки и посадки) каждой двери вагона в проходящих поездах. Обследование рекомендуется проводить одновременно на всех станциях. Однако можно определить высадку, посадку и характер распределения пассажиров по вагонам и путям на каждой станции отдельно. Обследование четырех—восьмивагонных поездов на каждом пути выполняют 4 учетчика — один на каждую дверь. В бланк формы 1 каждый из них перед выходом на платформу записывает свою фамилию, наименование станции, дату, день недели, номер пути, час обследования и номер двери,

у которой он будет подсчитывать пассажиров. Двери нумеруют в каждом вагоне по ходу поезда (1, 2, 3, 4).

Все четыре учетчика выходят на путь обследования с бланками и карандашами в руках. На платформе они встают так, чтобы каждый к моменту прибытия первого поезда находился у головного вагона напротив своей двери. Во время стоянки поезда (15—40 с) учетчики, стоя сбоку от двери, подсчитывают число вышедших и вошедших пассажиров и результаты заносят в бланк формы 1. Подсчитав вышедших и вошедших пассажиров у головного вагона прибывшего поезда, учетчики переходят к месту остановки второго вагона и подсчитывают пассажиров опять каждый у своей двери, но у следующего поезда, затем у третьего вагона третьего поезда и т. д. до хвостового вагона. Далее группа переходит опять к головному вагону и повторяет цикл подсчетов (рис. 9).

Цикл повторяется в течение всего обследования независимо от того, где может оказаться группа учетчиков в начале следующего часа (у первого или любого другого вагона поезда). В графе «Примечание» отмечают причину резких от-

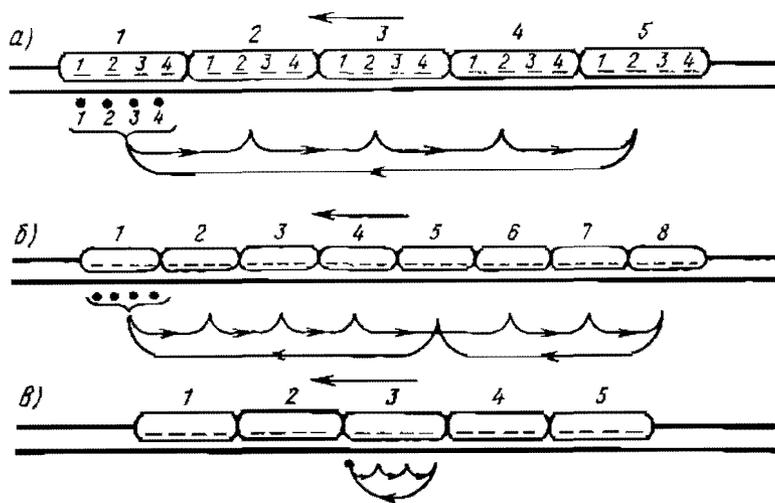


Рис. 9. Схема передвижения учетчиков при повагонных обследованиях пассажиропотоков:

а — 4—5-вагонный поезд; б — 6—8-вагонный поезд; в — любой состав (один учетчик)

### Форма 1<sup>1</sup>

Обследование пассажирских потоков на \_\_\_\_\_ линии

Станция \_\_\_\_\_ Дата обследования \_\_\_\_\_

Фамилия учетчика \_\_\_\_\_ День недели \_\_\_\_\_

Номер пути \_\_\_\_\_ Время \_\_\_\_\_

Дверь № \_\_\_\_\_

Высадка из вагона №					Посадка в вагон №					Примечание, особенность режима работы станции
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	3	5	19	11	9	7	4	10	12	
1	7	4	23	11	9	7	12	9	11	

Сумма подсчета за 1 ч

7 | 32 | 53 | 191 | 76 | 65 | 65 | 65 | 94 | 109 |

В среднем за 1 ч

1,0 | 4,6 | 7,6 | 27,3 | 10,9 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 13,4 | 15,6 |

<sup>1</sup> Заполнение условное.

клонений в высадке или посадке пассажиров (например, группа школьников, экскурсия, состав следует в отстой, в депо или из депо и др.). Одного бланка обследования хватает на несколько часов. Интервал времени обследования каждого вагона в пределах 1 ч (60 мин)

$$t = \frac{60n}{N},$$

где  $n$  — число вагонов в составе поезда;  
 $N$  — число прошедших поездов.

Например, при частоте движения 45 поездов/ч (семивагонных) каждый вагон в течение 1 ч будет обследован каждые  $t = (60 \cdot 7) : 45 = 9,3$  мин, или 6,5 раза.

Собирает и обрабатывает бланки формы 1 специальная рабочая группа во главе с ответственным исполнителем — руководителем. Обрабатывают результаты обследования в такой последовательности. По данным заполненных бланков формы 1 определяют:

среднюю за каждый час высадку и посадку пассажиров по каждой двери каждого вагона, каждому вагону и поезду в целом;

почасовую высадку и посадку на каждом пути станции; среднее за 1 ч наполнение каждого вагона в поезде (наполнение вагона при отправлении с начальной станции линии (посадка) минус высадка и плюс посадка на всех последующих станциях);

часовую пассажирскую нагрузку перегонов (для каждого последующего перегона она равна нагрузке предыдущего минус высадка и плюс посадка на станции, расположенной между ними; часовая нагрузка каждого перегона равна также произведению наполнения поезда на число следовавших поездов);

среднюю дальность поездки пассажиров по данной линии и с учетом проезда по другим линиям.

Однако, чтобы определить среднюю дальность поездки пассажиров по метрополитену в целом  $L_{ср}^M$ , необходимо оперативное обследование провести одновременно на всех линиях. На основании полученных данных строят картограммы и диаграммы суточных и часовых пассажиропотоков для станций и линий метрополитена, диаграммы нагрузки путей станций, пассажирообмена и заполнения вагонов в поездах. Эти результаты обследования могут быть использованы для разработки в течение одной-двух недель и осуществления мероприятий по совершенствованию перевозок и повышению эффективности использования технических средств метрополитена — прежде всего подвижного состава.

На проведение оперативного обследования пассажиропотоков на метрополитене и обработку его результатов требуется значительно меньше учетчиков и лиц, занятых обработкой, чем при талонном обследовании. Обработка материалов 1 ч обследования пассажиропотоков на линии с 12—15 станциями занимает 15—20 чел-ч. Отчет о результатах обследования должен содержать практические и научно-методические выводы, мероприятия и рекомендации по улучшению работы линий. Его обсуждают на техническом совете службы движения и после утверждения руководством метрополитена один экземпляр передают в Главное управление метрополитенов МПС.

Оперативное обследование имеет большие преимущества перед талонным. Оно дает более полную и точную фото-

графию распределения пассажиропотоков как по станциям и их элементам и направлениям, так и по перегонам и вагонам поезда. Показатель средней дальности поездки пассажиров получается в пределах той же точности. Обработка материалов занимает во много раз меньше времени. Значит, результаты обследования не стареют и могут быть оперативно использованы при решении многих вопросов. Оперативные обследования проводятся силами работников всех служб метрополитена, поэтому обследовать пассажиропотоки можно значительно чаще и в различные дни недели; дополнительных финансовых затрат при этом почти не требуется. Обработка материалов легко поддается механизации с применением счетно-вычислительной техники, так как первичных документов-бланков формы 1, например, при перевозках около 6 млн. пассажиров в сутки (Москва) насчитывается не более 6 тыс. т. е. в 1000 раз меньше, чем талонов.

Основной недостаток оперативного метода — невозможность получения корреспонденций фактических пассажирских потоков (косые таблицы), необходимых для разработки перспективных вопросов городского транспорта и градостроительства.

### III. НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ ВО ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВЕ

Таблица 11

Коэффициенты сезонной и месячной неравномерностей перевозок пассажиров на метрополитенах СССР в 1980 г.

Город	Период максимальных перевозок		Среднесуточные перевозки, тыс. пассажиров			Коэффициенты	
	Квартал	Месяц	в период максимального		За год	$k_{кв}$	$\mu$
			квартала	месяца			
Москва	IV	Декабрь	6717	6937	6334	1,06	1,10
Ленинград	IV	»	2073	2128	1936	1,07	1,10
Киев	II	»	723	775	697	1,04	1,11
Тбилиси	IV	»	422	434	383	1,08	1,12
Баку	IV	Апрель	393	416	383	1,03	1,09
Харьков	IV	Декабрь	492	516	476	1,03	1,08
Ташкент	IV	»	248	262	203	1,22	1,29

#### 1. Сезонные перевозки

Пассажирские перевозки на метрополитенах страны распределяются по кварталам и месяцам весьма неравномерно (табл. 11, рис. 10). Максимум их во всех городах приходится на четвертый квартал года, за исключением Киева (второй квартал). Всякая неравномерность распределения пассажиропотоков определяется и учитывается коэффициентом — отношением наибольшей или интересующей величины динамического ряда чисел к среднеарифметической этого ряда. Для сезонных колебаний в качестве динамических рядов служат среднесуточные перевозки соответствующих кварталов и месяцев каждого года. Коэффициент неравномерности перевозок по кварталам — отношение среднесу-

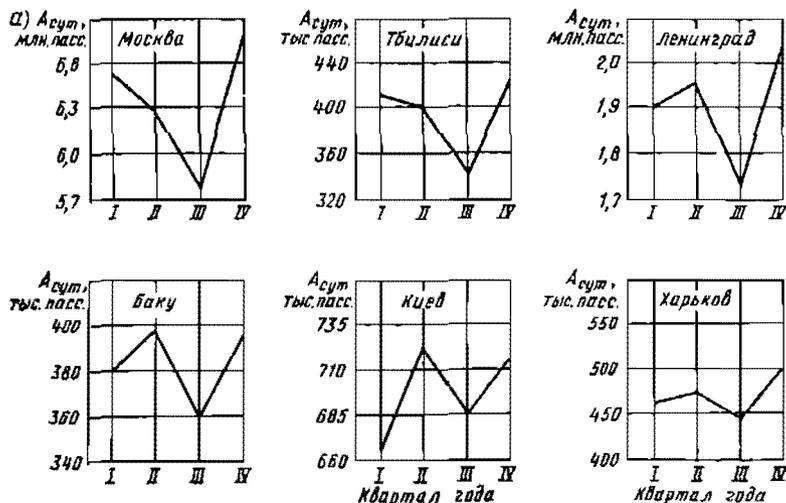
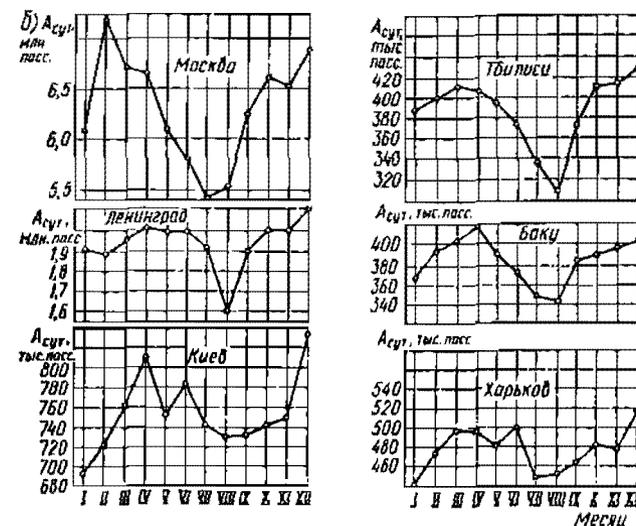


Рис. 10. Кривые сезонных изменений  
а — по кварталам года:



б — по месяцам  
среднесуточных перевозок:

точных перевозок квартала максимальных перевозок  $A_{сут}^{кв\ max}$  к среднесуточным перевозкам данного года  $A_{год}^{ср}$ :

$$k_{кв} = A_{сут}^{кв\ max} : A_{год}^{ср}.$$

Коэффициент неравномерности перевозок по месяцам представляет собой отношение среднесуточных перевозок месяца максимума  $A_{сут}^{м\ max}$  также к среднесуточным за год,

$$\mu = A_{сут}^{м\ max} : A_{год}^{ср}.$$

Значения коэффициентов  $k_{кв}$  и  $\mu$  можно также определять по формулам

$$k_{кв} = \frac{\delta_{кв}^{max} n_{кв}^{ср}}{\delta_{кв}^{ср} n_{кв}^{max}}; \quad \mu = \frac{\delta_{м}^{max} n_{м}^{ср}}{\delta_{м}^{ср} n_{м}^{max}},$$

где  $\delta_{кв}^{max}$  — доля перевозок квартала-максимума в году, %:

$$\delta_{кв}^{max} = \frac{A_{сут}^{кв\ max} n_{кв}^{max} \cdot 100}{A_{год}^{ср}};$$

$\delta_{кв}^{ср}$  — усредненная доля перевозок квартала в году;

$n_{кв}^{ср}$  — среднее число дней в квартале;

$n_{кв}^{max}$  — число дней в квартале-максимуме;

$\delta_{м}^{max}$  — доля перевозок месяца-максимума в году:

$$\delta_{м}^{max} = \frac{A_{сут}^{м\ max} n_{м}^{max} \cdot 100}{A_{год}^{ср}};$$

$\delta_{м}^{ср}$  — усредненная доля перевозок месяца в году ( $\delta_{м}^{ср} = 8,33\%$ );

$n_{м}^{ср}$  — среднее число дней в месяце;

$n_{м}^{max}$  — число дней в месяце-максимуме.

Значения коэффициентов для всех метрополитенов заключены в пределах  $1,03 \leq k_{кв} \leq 1,09$  и  $1,05 \leq \mu \leq 1,15$ , за исключением Ташкентского ( $k_{кв} = 1,22$  и  $\mu = 1,29$ ), где перевозки в летние месяцы резко снижаются. Коэффициент неравномерности перевозок по кварталам  $k_{кв}$  в Москве в период 1950—1980 гг. менялся от 1,03 до 1,06. Наиболее трудный месяц, в котором практически ощутимо осложняются перевозки на всех метрополитенах, почти всегда декабрь.

50

Обращает на себя внимание также оживление перевозок в последние годы в марте и июне. Коэффициент неравномерности перевозок по месяцам  $\mu$  за 30 лет на Московском метрополитене колебался в пределах 1,05—1,17. И здесь заметна тенденция к его увеличению. Иначе говоря, например, в 1980 г. мартовские перевозки в сравнении со среднемесячными потребовали усиления технических перевозочных средств по организации перевозок уже на 17%, а не на 5%, как это было до 1970 г. Наименьшие перевозки в Москве — в июле и августе. Характерно также и то, что максимальные месячные перевозки выше минимальных августовских на 25—30%. Эта разница равна перевозкам Ленинградского метрополитена.

Сезонность перевозок на каждом метрополитене и каждой линии разная. Так, в Москве обращают на себя внимание резкие скачки в отдельные месяцы, чего нет на других метрополитенах. Киевскому метро присущи пиковые летние, а не зимние перевозки. В Ленинграде колебания перевозок по месяцам нестабильны (рис. 11). Характер изменения перевозок по месяцам на других метрополитенах постоянен на протяжении многих лет. Правда, если наложить друг на друга кривые изменения перевозок по месяцам различных линий, то они могут не совпадать, что свидетельствует об особенностях каждой линии и зависит от места расположения станций, входящих в ее состав. Так, 10 из 12 станций Кольцевой линии в Москве — пересадочные узловые, 5 — привокзальные, обслуживающие семь из девяти вокзалов столицы. Разнохарактерность станций налагает свой отпечаток как на объем перевозок, так и на состав пассажиров (связь с пригородами) по месяцам. Наименьшие перевозки здесь, как правило, приходится уже не на август, а на сентябрь (резкое сокращение поездок в пригород). Перевозки июня-июля почти достигают максимальных декабрьских. Имея данные о среднесуточных перевозках за год, с помощью

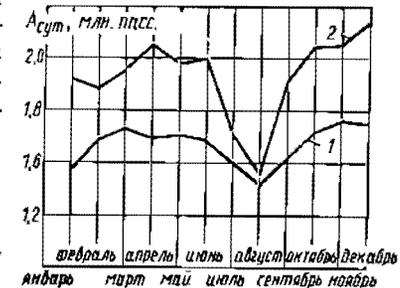


Рис. 11. Кривые неравномерности сезонных перевозок на Ленинградском метрополитене:  
1 — 1976 г.; 2 — 1980 г.

коэффициентов  $k_{кв}$  и  $\mu$  легко определить размеры максимальных среднесуточных квартальных и месячных перевозок:

$$A_{сут}^{кв\max} = A_{год}^{ср} k_{кв} \text{ и } A_{сут}^{м\max} = A_{год}^{ср} \mu.$$

Стабилизировавшиеся и постоянно действующие закономерности сезонных колебаний перевозок в городах необходимо учитывать при проектировании метрополитенов в городах, расчетах пропускной и провозной способностей линий, построении графиков движения поездов, организации перевозок и определении режима работы станций. Установившиеся значения  $\mu^{ср}$  необходимы для расчетов по распределению ожидаемых перевозок по месяцам на ближайшую перспективу. Например, ожидаемые перевозки за год равны 2300 млн. пассажиров,  $A_{год}^{ср} = \frac{2300}{366} = 6284,2$  тыс. пассажиров в сутки. Перевозки декабря при  $\mu_{ср} = 1,14$  составят  $A_{дек}^{ср} = 6284,2 \cdot 1,14 = 7164,0$  тыс. пассажиров в сутки.

## 2. Закономерности изменения перевозок по дням недели

Объемы перевозок различных дней недели также существенно отличаются друг от друга (табл. 12, рис. 12). На всех

Таблица 12

Коэффициенты неравномерностей на Московском метрополитене

Месяц	День недели	$\nu_{рб}$	$\nu_{р7}$	$\nu_{сб}$	$\nu_{вс}$
Январь	Вторник	1,04	1,11	0,94	0,70
Февраль	Пятница	1,03	1,07	1,03	0,79
Март	>	1,04	1,12	0,83	0,77
Апрель	Вторник	1,09	1,14	0,94	0,85
Май	Пятница	1,10	1,14	0,95	0,84
Июнь	Вторник	1,03	1,08	0,98	0,75
Июль	Понедельник	1,11	1,19	0,95	0,72
Август	Пятница	1,04	1,08	1,01	0,80
Сентябрь	Понедельник	1,22	1,30	0,93	0,77
Октябрь	Среда	1,27	1,30	1,01	0,89
Ноябрь	Пятница	1,10	1,17	0,84	0,83
Декабрь	Понедельник	1,35	1,44	0,93	0,72
В среднем за год		1,05	1,12	0,97	0,79

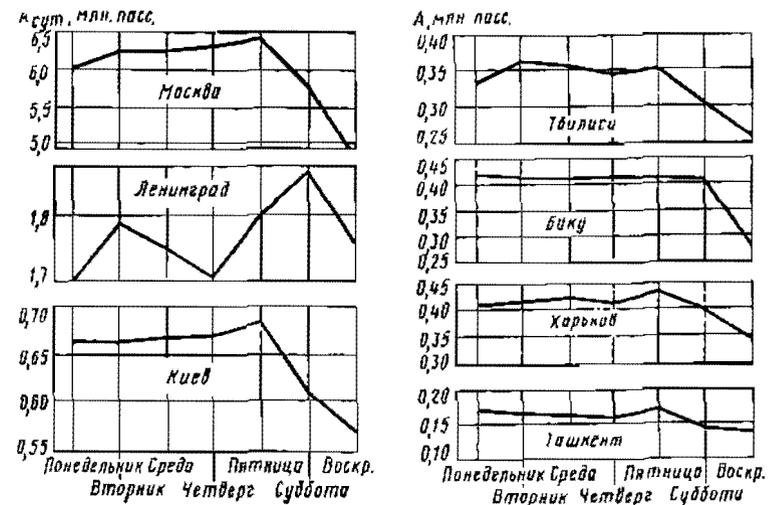


Рис. 12. Распределение среднесуточных перевозок по дням недели:

метрополитенах наиболее напряженный день — пятница, но бывают и исключения. Среднесуточные перевозки в воскресенье составляют 75—93% среднесуточных за год, в субботние дни несколько меньше их (на 3—5%), в рабочие больше (на 1—7%).

Неравномерность распределения перевозок пассажиров по дням недели характеризуется:

коэффициентом неравномерности перевозок по рабочим дням

$$\nu_{рб} = A_б^{\max} : A_б^{\text{ср}},$$

где  $A_б^{\max}$  — максимальные перевозки рабочего дня недели;  
 $A_б^{\text{ср}}$  — среднеарифметическое значение перевозок рабочих дней;

коэффициентом неравномерности перевозок всех дней недели

$$\nu_{р7} = A_7^{\max} : A_7^{\text{ср}},$$

где  $A_7^{\text{ср}}$  — среднеарифметическое значение перевозок всех дней недели;

коэффициентом неравномерности перевозок суббота дня

$$\nu_{сб} = A_{сб} : A_{ср},$$

где  $A_{сб}$  — перевозки пассажиров в субботу;

коэффициентом неравномерности перевозок воскресного дня

$$\nu_{вс} = A_{вс} : A_{ср},$$

где  $A_{вс}$  — перевозки в воскресенье.

Анализ распределения спроса населения каждого города на услуги метрополитена позволяет констатировать, что общая закономерность его — неравномерность пассажиропотоков во времени. Эти неравномерности (по месяцам и дням недели) действуют одновременно, взаимоналагаясь друг на друга. В непосредственной прямой зависимости от коэффициентов  $\mu$  и  $\nu$  находятся размеры (частота) движения поездов, режим работы функциональных элементов станций: входов, выходов, переходов, эскалаторов и др. Изменения перевозок по дням недели носят относительно постоянный характер в течение всех недель года. Имея данные о среднесуточных перевозках каждого месяца  $A_M^{ср}$ , можно определить размеры перевозок каждого дня недели расчетного месяца по формулам:

$$\begin{aligned} \text{пиковый рабочий день} & \dots A_{рп} = A_M^{ср} \nu_{рп}; \\ \text{усредненный рабочий день недели} & \dots A_{рн} = A_M^{ср} \nu_{рн}; \\ \text{суббота} & \dots A_{сб} = A_M^{ср} \nu_{сб}; \\ \text{воскресенье} & \dots A_{вс} = A_M^{ср} \nu_{вс}. \end{aligned}$$

В течение каждого года в определенные дни перевозки не совпадают с установившимися для большинства остальных дней. Это в основном предпраздничные и праздничные дни, дни проведения в городе спортивных и других мероприятий. Отклонения коэффициентов неравномерности от средних на метрополитене особенно характерны для недель, на которые приходится праздничные дни: 8 марта, 7 октября, 7—8 ноября и др. (рис. 13). В праздничные дни, как правило, всегда перевозки меньше (на 10—20%) среднесуточных за год (табл. 13). Главная особенность перевозок в дни проведения, например, спортивных мероприятий — кратковременность

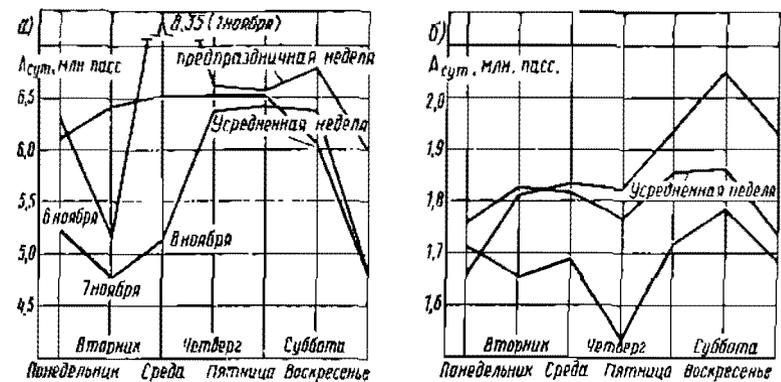


Рис. 13. Распределение перевозок по дням недели на метрополитенах:  
а — Московском; б — Ленинградском

пиков. Например, в течение 1,5—2,0 ч к стадиону им. В. И. Ленина в Москве через станции Спортивная и Ленинские горы выходит 80 тыс. пассажиров. В такие часы отдельные станции переводят на работу по особому режиму: закрывают на вход, оставляя только выход из метро, пропускают поезда без остановки, ограничивают пропуск пассажиров на станцию и др.

Таблица 13

Перевозки пассажиров метрополитена в праздничные дни, млн. пасс.

Дата	Москва	Ленинград	Киев	Тбилиси	Баку	Харьков	Ташкент
1 января	3,6	1,6	0,4	0,16	0,22	0,22	0,12
8 марта	5,3	1,6	0,5	0,27	0,27	0,34	0,14
1 мая	5,7	1,9	0,7	0,39	0,34	0,43	0,17
2 мая	4,5	1,6	0,6	0,22	0,27	0,40	0,14
9 мая	5,3	1,8	0,7	0,23	0,33	0,43	0,21
7 октября	4,6	1,6	0,6	0,25	0,24	0,31	0,17
7 ноября	5,4	1,9	0,6	0,28	0,29	0,26	0,22
8 ноября	5,4	1,9	0,6	0,25	0,25	0,27	0,21
В среднем в сутки за год	6,29	1,94	0,70	0,39	0,38	0,48	0,21

### 3. Распределение перевозок по часам суток

Характер почасовой неравномерности в основном определяется трудовыми поездками, которые и дают явно выраженные утренние и вечерние пики перевозок. Это характерно для всех метрополитенов страны (табл. 14, рис. 14). Наиболее острый пик в рабочие дни — утренний с 8 до 9 ч (Москва). Вечерний пиковый период менее напряженный (более растянут во времени) и непостоянный. Данные табл. 14 свидетельствуют об обострении перевозок в часы пик по сравнению с усредненными за сутки. Если в среднем за сутки на каждый час работы метро приходится 5,27% пассажиров (100 : 19, где 19 — число часов работы), то в период с 17 до 18 ч — максимум 11,1%. Тогда коэффициент почасовой неравномерности перевозок  $\delta = 11,1 : 5,27 = 2,12$ . Увеличивающиеся с годами значения  $\delta$  требуют

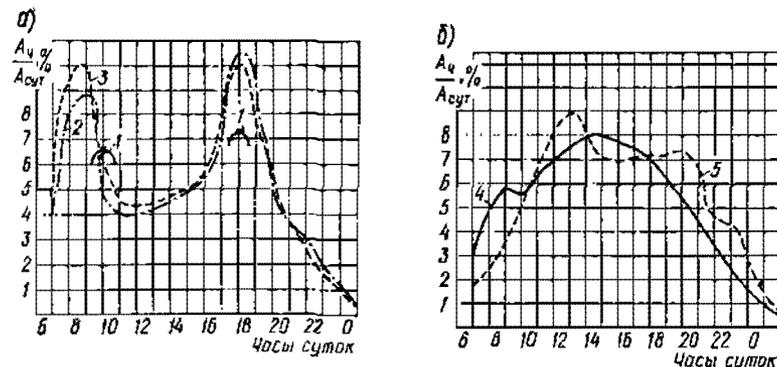


Рис. 14. Почасовое распределение пассажирских перевозок на Московском метрополитене по входу:  
а — рабочие дни: 1 — в 1946 г.; 2 — в 1973 г.; 3 — в 1980 г.; б — субботние 4 и воскресные 5 дни

Таблица 14

Распределение пассажирских перевозок (вход в метро) по часам суток (данные почасовых учетов), %

Часы суток	Рабочий день		Суббота	Воскресенье
	Вторник	Среда <sup>1</sup>		
6—7	4,1	4,8	2,8	1,7
7—8	9,6	9,6	4,7	2,4
8—9	10,4	9,9	5,8	3,7
9—10	5,7	5,6	5,6	5,2
10—11	4,3	4,5	6,5	6,8
11—12	4,3	4,4	6,9	7,6
12—13	4,5	4,5	7,5	8,3
13—14	4,8	4,8	7,9	7,9
14—15	5,2	5,1	7,9	7,2
15—16	5,9	6,0	7,7	6,7
16—17	7,9	7,8	7,6	7,0
17—18	11,1	10,1	6,9	6,9
18—19	9,0	8,6	6,2	7,3
19—20	4,5	5,4	4,8	6,6
20—21	3,2	3,5	3,5	4,6
21—22	2,5	2,6	2,9	4,3
22—23	1,7	1,6	2,3	2,8
23—24	0,9	0,9	1,7	1,7
01	0,4	0,3	0,6	0,4
Перевезено тыс. пассажиров	7450,0	7376,0	5373,2	3630,2

<sup>1</sup> Данные талонного обследования.

соответствующих увеличений размеров движения и усиления пропускной способности линий, так как по существу один час пик определяет всю необходимую мощность метрополитена.

Материалы всех талонных и других обследований показывают, что в утренние и вечерние часы пик вагоны загружены свыше допустимой нормы — 4,5 пассажира/м<sup>2</sup>. На пять часов пик приходится почти половина пассажиров за сутки (табл. 14). Положение усугубляется тем, что из года в год, как правило, доля перевозок в часы пик не снижается, а все более увеличивается. Если, например, в 1954 г. Московское метро с 8 до 9 ч утра перевозило около 9% пассажиров, то, начиная с 1976 г. доля этого часа 10—11%. При средних перевозках большинства линий Московского метрополитена около 1 млн. пассажиров в сутки на час приходится уже не 90 тыс., а 110 тыс. пассажиров. Один этот прирост требует увеличения частоты движения на несколько поездов в час.

Одна из особенностей распределения перевозок по часам суток — преобладание в часы пик и утром и вечером выхода пассажиров из метро над входом. Поэтому при определении потребной частоты движения поездов надо пользоваться данными по выходу (окончание поездок). Кривая почасового распределения перевозок на каждой линии имеет свой характер и не совпадает с другими линиями.

Смягчают пиковые перевозки двумя путями: повышением частоты движения поездов и изменением режима работы предприятий города. Увеличение частоты движения требует финансовых затрат на увеличение парка подвижного состава, поэтому более целесообразен второй путь.

#### 4. Внутрисуточные колебания и пики в пиках

Перевозки распределяются неравномерно и внутри каждого часа по получасовым, 15- и даже 5-минутным периодам. Наиболее важно знать колебания потоков внутри пиковых, наиболее напряженных часов по 15-минутным интервалам. Это обосновывается двумя соображениями. Во-первых, при средней дальности поездки в Москве 10,5 км (1980 г.) и средней скорости поездов около 40 км/ч пассажир находится в поезде  $10,5 : 40 = 0,26$  ч, или примерно 15,6 мин. Во-вторых, именно 15-минутный период предусматривает введенный с 1 июля 1981 г. СНиП 11-40-80 для расчета пропускной и провозной способностей линий и станций.

Обследования показывают, что внутрисуточные колебания перевозок значительны. Так, если с 8 до 8 ч 15 мин (по входу в метро) к услугам Горьковского-Замоскворецкой линии Московского метрополитена обращается 51,1 тыс. чел., то за последние 15 мин этого же часа лишь 30,8 тыс., т. е. в 1,6 раза меньше. Коэффициент неравномерности внутрисуточного поступления (по 15-минутным периодам) пассажиров в метро  $k_{15}$  в данном случае равен 1,23 (по данным почасового учета в рабочий день). Подобная неравномерность внутри часов пик с 7 до 9 и с 16 до 19 ч в рабочие дни характерна для всех линий (табл. 15). О неравномерности поступления пассажиров по внутрисуточным 15-минутным периодам свидетельствуют данные табл. 16. По материалам нескольких обследований для семи линий Московского метрополитена получены следующие диапазоны значений коэффициента внутрисуточной неравномерности распределения перевозок:

по входу с 8 до 9 ч  $k_{15} = 1,01 \div 1,46$  и с 18 до 19 ч  $k_{15} = 1,14 \div 1,42$ ;

по выходу с 8 до 9 ч  $k_{15} = 1,02 \div 1,24$  и с 18 до 19 ч  $k_{15} = 1,01 \div 1,13$ . Вечерние внутрисуточные пассажиропотоки равномернее утренних.

Значительная амплитуда значений коэффициентов  $k_{15}$  свидетельствует о неодинаковых условиях работы, в которых

Таблица 15

Коэффициент внутрисуточных колебаний  $k_{15}$  пассажиропотоков на Московском метрополитене

Линия	Входящий поток				Выходящий поток			
	7—8 ч	8—9 ч	16—18 ч	18—19 ч	7—8 ч	8—9 ч	16—18 ч	18—19 ч
Кировско-Фрунзенская	1,28	1,03	1,07	1,29	1,42	1,12	1,11	1,10
Горьковско-Замоскворецкая	1,10	1,24	1,06	1,25	1,34	1,03	1,11	1,08
Арбатско-Покровская	1,08	1,15	1,04	1,23	1,27	1,08	1,10	1,11
Кольцевая	1,21	1,13	1,07	1,24	1,26	1,02	1,11	1,13
Филевская	1,22	1,23	1,08	1,25	1,34	1,09	1,10	1,03
Калужско-Рижская	1,10	1,22	1,06	1,25	1,46	1,18	1,12	1,13
Ждановско-Краснопресненская	1,07	1,19	1,07	1,36	1,32	1,09	1,12	1,05
Метрополитен в целом	1,12	1,15	1,07	1,27	1,34	1,05	1,10	1,04

Таблица 16

Внутрисуточные колебания пассажиропотоков с 8 до 9 ч (по результатам талонного обследования), тыс. пассажиров

Линия	15-минутные интервалы							
	Входящий поток				Выходящий поток			
	0—15	15—30	30—45	45—0	0—15	15—30	30—45	45—0
Кировско-Фрунзенская	23,3	22,7	21,9	19,0	26,5	27,5	30,7	37,9
Горьковско-Замоскворецкая	47,8	38,5	36,0	30,7	38,1	34,9	31,2	29,3
Арбатско-Покровская	26,3	21,9	19,5	15,3	26,4	24,5	26,1	27,8
Кольцевая	35,4	25,8	20,2	17,4	27,3	26,6	25,0	26,7
Филевская	9,2	8,4	7,5	5,2	6,7	6,6	7,2	6,6
Калужско-Рижская	23,1	20,1	18,3	15,4	21,2	20,8	25,3	26,3
Краснопресненская (Баррикадная — Октябрьское поле)	5,9	5,0	4,3	3,8	4,7	4,7	4,5	4,1
Ждановская (Ждановская — Площадь Ногина)	16,4	15,0	12,6	8,4	9,6	7,1	7,1	5,7

Распределение перевозок на Ждановско-Краснопресненской линии Московского метрополитена по группам станций и 15-минутным периодам с 8 до 9 ч, тыс. пассажиров

Расположение станции по отношению к центру	Наименование станций в порядке расположения на линии	15-минутные интервалы							
		Вход				Выход			
		0—15	15—30	30—45	45—0	0—15	15—30	30—45	45—0
За пределами Садового кольца	Ждановская	7,1	7,0	5,6	3,9	1,7	1,9	1,5	1,5
	Рязанский проспект	2,9	2,3	1,7	1,5	0,8	0,8	0,8	0,7
	Кузьминки	5,7	4,8	4,3	3,2	1,4	1,1	0,8	1,1
	Текстильщики	5,2	6,1	4,7	4,9	3,1	3,2	3,6	3,1
	Волгоградский проспект	0,3	0,2	0,3	0,2	1,9	1,5	1,8	3,5
	Пролетарская	1,3	1,2	1,1	0,9	2,3	1,8	1,8	1,6
	Таганская	1,2	1,0	1,1	1,0	3,3	2,0	3,3	3,3
	Всего	23,7	22,6	18,8	15,5	14,5	12,3	13,6	14,8
	Усредненно	3,4	3,2	2,7	2,2	2,1	1,8	1,9	2,1
	Центр города	Площадь Ногина	0,6	0,5	0,5	0,5	2,0	2,6	3,0
Кузнецкий мост	0,4	0,5	0,6	0,7	5,4	5,6	5,8	6,7	
Пушкинская	0,3	0,4	1,3	0,6	1,9	2,8	3,0	3,7	
Всего	1,3	1,4	2,4	1,8	9,3	11,0	11,8	14,2	
Усредненно	0,4	0,5	0,8	0,6	3,1	3,7	3,9	4,7	
За пределами Садового кольца	Баррикадная	0,3	0,3	0,2	0,2	0,9	1,1	1,0	1,0
	Улица 1905 года	1,2	1,0	1,1	0,9	4,4	3,1	2,9	3,3
	Беговая	1,2	1,3	1,3	0,9	3,3	2,9	2,7	1,6
	Полежаевская	2,8	2,5	1,8	1,2	2,4	2,4	2,3	1,9
	Октябрьское поле	2,4	2,0	1,8	1,8	3,4	2,6	2,2	2,9
	Щукинская	0,9	0,8	1,3	1,0	0,6	0,6	0,6	0,5
	Тушинская	1,5	1,4	0,6	0,7	1,5	1,3	1,0	1,1
	Сходненская	3,2	2,3	1,6	1,0	0,6	0,4	0,3	0,4
	Планерная	1,7	1,4	0,9	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2
	Всего	15,2	14,0	10,6	8,4	17,4	14,7	13,3	12,9
Усредненно	1,7	1,6	1,2	0,9	1,9	1,6	1,6	1,4	

находятся разные линии. Конечно, если внутрис часовая неравномерность требует увеличения мощности линий метрополитена до 46% , то бесспорно важно и актуально всемерно снижать этот вид неравномерности. Явление пиков в пиках означает, что даже внутри часа надо уметь так маневрировать выпуском поездов (вагонов) на линии, чтобы разница в их движении всегда соответствовала спросу на перевозки. Но такая маневренность затруднена на длинных (до 35 км) линиях с большим числом станций, разнородных по объему и характеру работы. В таких случаях метрополитену необходима помощь города — рассредоточение максимального внутрис часового всплеска.

Различно и распределение входящих и выходящих из метро потоков по времени. Анализ свидетельствует о том, что характер внутрис часового распределения входящих потоков относительно более спокойный, хотя и неравномерный. Значительно большая неравномерность, как правило, присуща выходящим из метро потокам (рис. 15). На большинстве линий они особенно возрастают в течение утренних пиковых часов, на Кировско-Фрунзенской линии, например, с 10,4 тыс. (7.00—7.15) до 43,8 тыс. (8.45—9.00) пассажиров, т. е. увеличиваются в течение 2 ч в 4,2 раза. Увеличение же потоков на входе не превышает двукратной величины (минимум 17,3 тыс., максимум 31,6 тыс.).

Интересен характер внутрис часового распределения потоков пассажиров по станциям в зависимости от их расположения по отношению к центру города (табл. 17). Оставаясь относительно спокойными по входу на всех станциях, резко неравномерные потоки пассажиров, выходящих на станциях, расположенных в центральной части города, предопределяют внутрис часовую неравномерность распределения всех перевозок. Здесь выход из метро в течение 2 ч пик увеличивается с 1,2 тыс. до 8,0 тыс. пассажиров, т. е. в 6,7 раза. Кривая распределения потоков по выходу пассажиров из

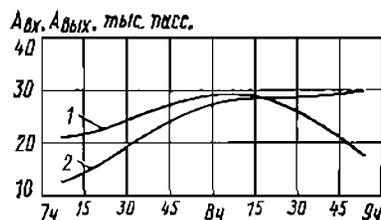


Рис. 15. Внутрис часовое распределение перевозок пассажиров на Московском метрополитене в рабочие дни: 1 — вход; 2 — выход

метро на станциях центра города (кривая Б) резко отличается от всех других (по входу и выходу) и как бы перерезает их (рис. 16).

Все это еще раз подтверждает предположение о том, что режим работы предприятий и организаций, расположенных в пределах Садового кольца, — основная причина внутрис часовая неравномерности перевозок Московского метрополитена. Выход пассажиров с трех центральных станций (Площадь Ногина, Кузнецкий мост и Пушкинская) за 2 ч

А, тыс. пасс.

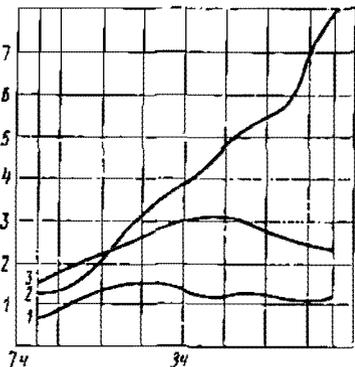


Рис. 16. Внутрис часовое распределение перевозок пассажиров на станциях Ждановско-Краснопресненской линии Московского метрополитена:

1 — конечных периферийных; 2 — в центре города; 3 — наиболее крупных, расположенных за Кольцевой линией

увеличивается в 7,8 раза. При этом следует отметить, что выход пассажиров с центральных станций не уменьшается и к 9 ч. Спад переходит на следующий час, так как предприятия и организации, расположенные вблизи этих станций (преимущественно в зоне пешего хождения), начинают рабочий день в 9.00—9.30. Снижение перевозок в пиковом 15-минутном периоде, например, на 1 тыс. снижает напряженность в работе метрополитена на 2,0—4,5%. Вместе со снижением потребности в поездах повышается и культура обслуживания. Эффект значителен. Для этого подчас достаточно изменить режим работы всего лишь нескольких предприятий, что находится в компетенции местных Советов народных депутатов. Так, Московский городской Совет народных депутатов принял решение об изменении времени начала работы предприятий, учреждений и организаций Москвы для облегчения работы городского пассажирского транспорта в часы пик.

### 5. Пассажирские потоки на станциях

Одна из главных особенностей пассажиропотоков метрополитена — также весьма неравномерное их распределение в пространстве. Математически эту неравномерность учитывают коэффициентами распределения пассажирских потоков: по станциям сети метрополитена города  $k_{гор}$ , отдельной ее линии  $k_{линии}$ , направлениям движения поездов  $k_{п}$ , перегонам  $k_{п}$ , вагонам одного и того же поезда  $k_{в}$ , разным дверям вагона  $k_{дв}$ . География распределения пассажиров по сети метрополитена характеризуется довольно широким разбросом (рис. 17). Она зависит от транспортных потребностей районов города и места расположения стан-

ций. Наиболее крупные станции, например в Москве, принимают на себя до  $\gamma_{ст}^{max} = 2,8\%$  общих перевозок, менее крупные в десятки раз меньше:  $\gamma_{ст}^{min} = 0,1 \div 0,2\%$ . При этом  $k_{гор} = \gamma_{ст}^{max} : \gamma_{ст}^{cp} = 2,80 : 0,87 = 3,21$ , где  $\gamma_{ст}^{cp} = 100 : 115 = 0,87$  (115 — число станций). В пределах линий потоки равномернее:  $1,53 \leq k_{линии} \leq 2,73$ , и  $k_{линии}^{cp} = 2,04$ .



Рис. 17. Доля станций Ленинградского метрополитена в среднесуточных перевозках, %

По количеству пассажиров, входящих в метро, станции Московского, Ленинградского и Киевского метрополитенов принято подразделять на пять групп: I группа — 100 тыс. пассажиров в сутки и более; II — 70—100 тыс.; III — 50—70 тыс.; IV — 30—50 тыс.; V — менее 30 тыс. пассажиров. Наибольшее число станций входит в III—V группы. На Московском метрополитене таких станций 76. На станции I группы (11,1% общего числа) приходится почти четверть (23,7%) перевозок. На Кольцевой линии три из них принимают 41,5% пассажиров, а доля самой крупной — Комсомольской — 19,3% перевозок линии. Это и предопределяет неравномерность пространственного распределения пассажиропотоков.

Место расположения станций характеризуется отношением к центру города, наличием крупных жилых массивов (Ждановская, Медведково в Москве), близостью крупных предприятий и мест приложения труда (центр города, Автозаводская в Москве, Кировский завод в Ленинграде), железнодорожных, речных вокзалов и автобусных станций (Комсомольская, Щелковская и др. в Москве; Маяковская, Площадь Ленина в Ленинграде; Вокзальная в Киеве и др.), размещением торговой сети (Дзержинская в Москве; Гостиный двор и Невский проспект в Ленинграде). Конечные станции линий метрополитена (Беляево в Москве, Проспект Ветеранов в Ленинграде, Святошино в Киеве и др.) расположены в пунктах стыка внеуличного и наземных видов транспорта. Станции, находящиеся в зонах массового отдыха (Спортивная, Динамо в Москве; Днепр в Киеве), характеризуются сезонностью перевозок и кратковременностью (1,0—1,5 ч) съезда-разъезда большой массы населения города).

На каждой станции свои соотношения в распределении пассажиров в определенные периоды суток, и они влияют на технологический процесс и режим работы входов, выходов и переходов. Пассажиры неравномерно распределяются по разным входам и выходам станций. Значения коэффициентов этой неравномерности — отношение количества пассажиров у максимально загружаемого входа (выхода) к среднему для двух входов (выходов) (табл. 18). В среднем для всех групп станций значения коэффициентов неравномерности распределения пассажиров по разным входам выходам можно принять равными: вход —  $k_{вх} = 1,25$  и выход  $k_{вых} = 1,30$ . С учетом  $k_{15}$  для определения пропускной способ-

Коэффициенты неравномерности распределения пассажиров по вестибюлям станций

Группа станций	8—9 ч		17—18 ч	
	$k_{вх}$	$k_{вых}$	$k_{вх}$	$k_{вых}$
I	1,32	1,14	1,13	1,28
II	1,45	1,29	1,26	1,34
III	1,23	1,32	1,15	1,30
IV	1,34	1,32	1,28	1,37
V	1,29	1,23	1,30	1,34
В среднем	1,33	1,26	1,22	1,33

ности вестибюлей при проектировании станций необходимо среднюю для двух входов проектную величину потока часа пик увеличивать в  $k_{вх} = 1,25 \cdot 1,24 = 1,55$  раза, для двух выходов — в  $k_{вых} = 1,30 \cdot 1,12 = 1,46$  раза, или в среднем

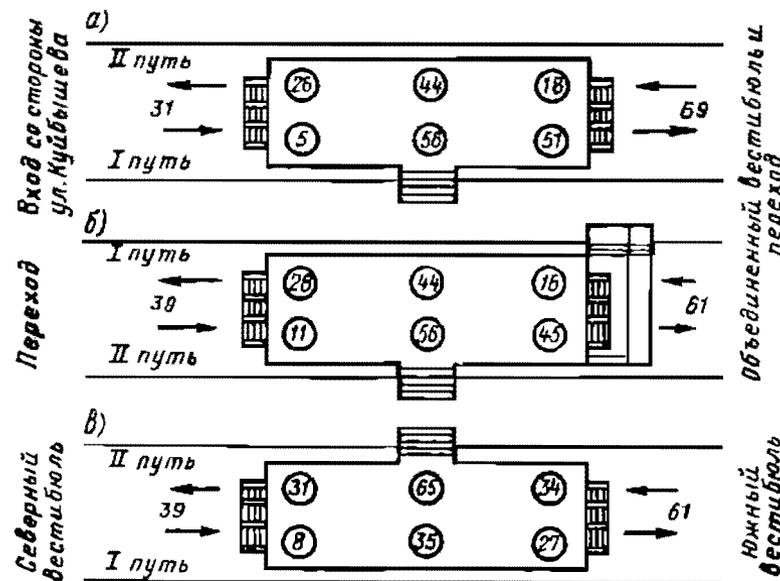


Рис. 18. Распределение пассажиров на станциях Центрального узла Московского метрополитена:

а — Площадь Революции; б — Площадь Свердлова; в — Проспект Маркса



Рис. 19. Распределение посадки пассажиров по вагонам поезда на станции Гостиный двор (Ленинград): А — суммарный поток посадки в сечениях вагонов; Б — общий поток (высадка + посадка)

в  $k_{вх} = k_{вых} = 1,50$  раза, где 1,24 и 1,12 — коэффициенты внутричасовой (по 15-минутным интервалам) неравномерности распределения пассажиропотоков ( $k_{15}$ ).

Потоки высадки и посадки пассажиров на станциях по направлениям движения распределяются также неравномерно. Некоторые станции (рис. 18) работают преимущественно на высадку, причем на станциях Площадь Революции и Площадь Свердлова высадка пассажиров одного направления почти в 3 раза превышает высадку другого. Примерно аналогичны и посадка, и пассажирообмен различных направлений движения. Особенно значительна неравномерность  $k_3 = 1,58 \div 2,0$  загрузки эскалаторов, что объясняется преобладанием высадки над посадкой ( $k_3 = 2$ , когда все эскалаторы работают на подъем). Распределение пассажиропотоков на станции при высадке и посадке по вагонам поезда достаточно подробно и наглядно показано на рис. 19.

### 6. Распределение пассажиропотоков по направлениям движения и перегонам

Пассажиропотоки распределяются неравномерно и по направлению движения поездов, и по отдельным перегонам каждой линии (рис. 20). Неравномерность эта характеризуется также соответствующими коэффициентами. Каждый из коэффициентов представляет собой отношение макси-

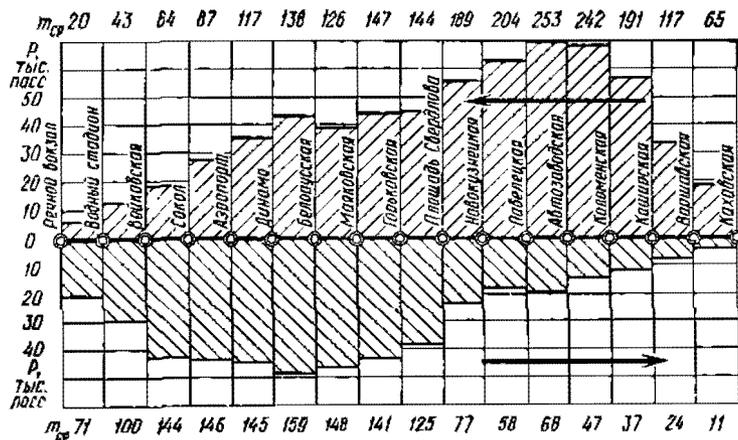


Рис. 20. Распределение пассажиропотоков по направлениям движения и перегонам на Горьковско-Замоскворецкой линии Московского метрополитена

мальной величины анализируемого ряда величин к средней за расчетный период времени. Например, при пассажиропотоках  $p$  на четырех перегонах линии, равных 10, 20, 30 и 40 тыс. пассажиров/ч, коэффициент неравномерности загрузки перегонов определится как отношение  $p^{\max} = 40$  тыс. к средней  $p^{\text{ср}} = 25$  тыс.;  $k_n = 40$  тыс. : 25 тыс. = 1,60. Аналогично определяют и значение коэффициента неравномерности пассажиропотоков по направлениям движения  $k_n$ . Значения  $k_n$  и  $k_n$  можно найти и по наполнению вагонов, поскольку их величины кратны друг другу (частота движения и составные поездов — величины постоянные в течение расчетного часа на всех перегонах). Коэффициенты  $k_n$  и  $k_n$  для всех линий рассчитывают преимущественно по лимитирующим направлениям движения, на которых фактическое наполнение вагонов на линии максимальное —  $m_{\text{ф}}^{\max}$ .

Анализ сводных данных в их динамике позволяет сделать следующие суждения и выводы (табл. 19 и 20). Во-первых, значения  $k_n$  и  $k_n$  настолько высоки, что пренебрегать ими, значит, заведомо допускать ошибки в организации перевозочного процесса. Значения коэффициентов заключены в пределах  $1,0 \leq k_n \leq 2,1$  и  $1,04 \leq k_n \leq 1,89$ , а  $k_n = 2,0$  требует двойного увеличения пропускной способ-

Коэффициент неравномерности распределения пассажирских потоков по перегонам  $k_{\Pi}$ 

Линия	7—8 ч	8—9 ч	13—14 ч	17—18 ч	18—19 ч	Сутки
Кировско-Фрунзенская	1,41	1,85	1,89	1,83	1,50	1,60
Горьковско-Замоскворецкая	1,61	1,76	1,48	1,53	1,63	1,38
Арбатско-Покровская	1,72	1,86	1,53	1,42	1,34	1,53
Кольцевая	1,48	1,38	1,31	1,37	1,38	1,23
Филевская	1,24	1,56	1,50	1,43	1,53	1,51
Калужско-Рижская	1,76	1,84	1,04	1,63	1,73	1,41
Ждановско-Краснопресненская	1,83	1,95	1,67	1,74	1,71	1,58
Калининская	1,19	1,16	1,37	1,16	2,36	1,31
Метрополитен в целом	1,53	1,67	1,47	1,51	1,65	1,44

ность снижения  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$  следует искать в рациональном, более равномерном расположении жилых массивов в сочетании с предприятиями, а также в снижении степени концентрации последних. Увеличение значений  $k_{\Pi}$  объясняется развитием сети метрополитена преимущественно в направлении к периферии города. Наибольшая нагрузка при этом в большинстве случаев падает на перегоны, расположенные в центральной его части (в середине диаметральных линий); наименьшая — на периферийные участки (табл. 21).

В-третьих, нет предполагаемой для всех линий устоявшейся тенденции к увеличению или уменьшению величин  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$ . Все линии развиваются по-разному, и воздействие каждого из факторов на формирование и распределение пассажиропотоков на них различно. И наконец, высокий диапазон колебаний значений  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$  на различных линиях (например, с 8 до 9 ч  $1,17 \leq k_{\Pi} \leq 2,27$  и  $1,02 \leq k_{\Pi} \leq 1,67$ ) и значительные их изменения с течением времени свидетель-

ности линии и размеров движения поездов по сравнению с равномерным (идеальным, когда  $k_{\Pi} = 1,0$ ) распределением перевозок по обоим направлениям. С учетом же обоих коэффициентов надо увеличить размеры движения соответственно в  $k_{\Pi} \cdot k_{\Pi}$  раз по сравнению с идеальным положением (если  $k_{\Pi} \cdot k_{\Pi} = 1,0$ ). Так, с 8 до 9 ч из-за этого требуется повысить частоту движения поездов на Кировско-Фрунзенской линии в  $2,27 \cdot 1,16 = 2,63$ , Арбатско-Покровской в  $1,36 \cdot 1,64 = 2,23$ , Филевской в  $1,60 \cdot 1,56 = 2,50$  раза. В снижении величин  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$ , следовательно, заложены резервы совершенствования перевозочного процесса.

Во-вторых, значения  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$  непостоянны, с течением времени они на всех линиях изменяются. Это, естественно, имеет причины. Поскольку в часы пик до 94% перевозок занимают трудовые передвижения, причины следует искать в потребностях транспортных связей самостоятельного населения. Изменения  $k_{\Pi}$  и  $k_{\Pi}$  можно объяснить переменами мест жительства и приложения труда населения города. Возмож-

Таблица 19

Коэффициент неравномерности распределения пассажиропотоков по направлениям движения  $k_{\Pi}$ 

Линия	7—8 ч	8—9 ч	17—18 ч	18—19 ч
Кировско-Фрунзенская	1,21	1,11	1,08	1,11
Горьковско-Замоскворецкая	1,22	1,25	1,11	1,08
Арбатско-Покровская	1,26	1,28	1,17	1,29
Кольцевая	1,00	1,02	1,02	1,28
Филевская	1,32	1,49	1,24	1,30
Калужско-Рижская	1,07	1,05	1,07	1,06
Ждановско-Краснопресненская	1,20	1,09	1,12	1,12
Калининская	1,33	1,48	1,29	1,35
Метрополитен в целом (усредненно)	1,20	1,22	1,14	1,20

Характеристика наиболее напряженных периодов работы линий Московского метрополитена

Линия	8—9 ч				17—18 ч						
	Максимально загруженный перегон	Загрузка пер- гона, тыс. пас- сажиров	$K_{17}$	Наполнение вагона, пас- сажиров/ваг		Максимально загруженный перегон	Загрузка пер- гона, тыс. пас- сажиров	$K_{18}$	Наполнение вагона, пас- сажиров/ваг		
				в среднем	Максима- льное в те- чение по- езда				в среднем	Максима- льное в те- чение по- езда	
Кировско-Фрун- зенская	Кировская — Держинская	40,5	1,03	165,4	178,9	Проспект Марк- са — Держинская	32,4	1,05	1,06	141,6	157,6
Горьковско-За- москворецкая	Автозаводская — Павелецкая	69,7	1,24	253,2	329,7	Павелецкая — Ав- тозаводская	41,3	1,05	1,13	158,2	187,7
Арбатско-Покров- ская	Семеновская — Электrozаводская	46,0	1,15	172,5	208,3	Семеновская — Из- майловский парк	31,7	1,05	1,11	132,3	154,2
Кольцевая	Проспект Мира — Новослободская	28,0	1,13	140,9	167,2	Курская — Ком- сомольская	23,8	1,05	1,08	124,9	141,6
Филевская	Студенческая — Киевская	26,5	1,23	147,5	190,5	Киевская — Сту- денческая	15,1	1,05	1,08	84,2	95,5
Калужско-Риж- ская	Рижская — Про- спект Мира	58,5	1,22	220,0	281,0	Проспект Мира — Рижская	37,0	1,05	1,09	146,8	168,0
Ждановско-Крас- нопресненская	Пролетарская — Таганская	65,1	1,19	226,9	284,0	Волгоградский проспект — Тек- стильщики	42,4	1,05	1,11	163,8	190,9
Калининская	Площадь Ильи- ча — Марксистская	20,3	1,15	134,7	163,0	Автомоторная — Шоссе Энтузиастов	15,2	1,05	1,10	93,8	108,3
Метрополитен в целом	Автозаводская — Павелецкая	69,7	1,15	253,2	305,7	Волгоградский проспект — Тек- стильщики	42,4	1,05	1,10	163,8	189,2

Примечание. Коэффициент повагонной неравномерности заполнения  $K_{\text{п}}$  принят минимальным 1,05.

ствуют о возможностях воздействия в известных пределах на эти величины, т. е., а это главное, об управлении распределением перевозок по направлениям движения и перегонам. Например, утренние пиковые, резко выраженные потоки, направленные к центру города, и перегрузки отдельных перегонов можно снизить:

рациональным расселением населения и размещением мест работы в городе;

переводом из центра в периферийные районы отдельных предприятий (например, торговых и других организаций);  
рассредоточением времени начала работы предприятий;  
координацией работы метрополитена с наземными видами транспорта.

Неравномерности, характеризующиеся коэффициентами  $k_{\text{н}}$  и  $k_{\text{п}}$ , требуют увеличения частоты движения поездов и изменений режима работы станций (вход, выход, пересадка). Если, например, при  $k_{\text{н}} = 1,0$  и  $k_{\text{п}} = 1,0$  пассажирские перевозки на линии можно освоить при частоте движения 30 поездов/ч, то при  $k_{\text{н}} = 1,21$  и  $k_{\text{п}} = 1,52$  (8—9 ч) частоту необходимо увеличить в  $k_{\text{н}} \cdot k_{\text{п}} = 1,21 \cdot 1,52 = 1,84$  раза, т. е. до 55 поездов/ч.

## 7. Распределение пассажиров по вагонам и дверям вагона

Знать закономерности распределения пассажиров вагона по разным вагонам одного поезда очень важно, но долгое время они почти не были исследованы. Это объясняется главным образом тем, что существовавшие ранее методы обследования (в том числе и талонный) не позволяли установить повагонное распределение пассажиров. Необходимый материал получен с помощью оперативного метода натурного обследования повагонного пассажирообмена.

На всех станциях метрополитена входящие и выходящие пассажиры распределяются по разным вагонам поезда неравномерно (рис. 21). Так, на станции Белорусская (Кольцевая линия) в Москве максимальная посадка на внутреннем пути с 8 до 9 ч зарегистрирована в вагон № 4 (104 пассажира в среднем на одну стоянку поезда), а минимальная в вагон № 1 (31 пассажир). Такая резкая неравномерность пассажирообмена (и высадки, и посадки) наблюдается на всех станциях. Характерно, что на каждой из них на любом

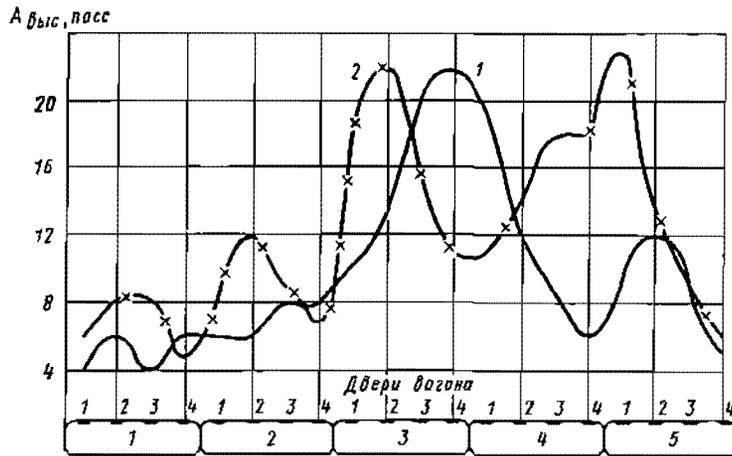


Рис. 21. Распределение высадки пассажиров (по дверям вагонов) на станциях Кольцевой линии (Москва):  
1 — Новослободская; 2 — Белорусская

пути максимальный пассажирообмен бывает всегда в одном определенном вагоне поезда. В остальных вагонах он меньше, и для каждой станции характер кривой снижения высадки или посадки пассажиров в вагонах поезда свой.

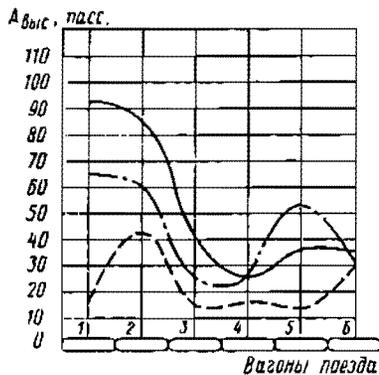


Рис. 22. Почасовой характер пассажирообмена вагонов на станции Проспект Маркса (Москва):  
— рабочий день; --- суббота; -.-.- воскресенье

Конфигурация этой кривой в основном постоянна на протяжении суток, дней недели (рис. 22). С изменением размеров пассажиропотока ее пики лишь поднимаются или опускаются, оставаясь параллельными.

Коэффициенты неравномерности высадки  $k_{выс}$  и посадки  $k_{пос}$  пассажиров заключены в пределах 1,3—1,9 при средней величине 1,6 (значения получены в результате оперативных обследований). Каждый пассажир стремится ехать в том вагоне и даже около

той его двери, которая на станции назначения во время стоянки поезда ближе других находится к выходу или переходу. Это закономерно и, следовательно, неравномерный, но относительно стабильный пассажирообмен разных дверей вагона (рис. 23) нужно учитывать в расчетах. Коэффициент неравномерности пассажирообмена разных дверей вагона характеризуется соотношением

$$k_{дв} = q^{max} : q^{ср},$$

где  $q^{max}$ ,  $q^{ср}$  — соответственно максимальный и средний за 1 ч пассажирообмен (высадка + посадка) двери.

Значения коэффициента  $k_{дв}$  колеблется в часы пик в пределах от 1,2 до 1,6. В расчетах рекомендуется принимать среднюю величину 1,4 (для сравнения на электрифицированных пригородных линиях  $k_{дв} = 1,1 \div 1,6$  — данные Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта) [18]. В течение 15 мин часа пик  $k_{дв 15} = 1,1 \div 1,3$  при  $k_{дв}^{ср} = 1,2$ . Эта неравномерность также осложняет работу метрополитена, и ее надо уменьшать средствами планировки станций при проектировании и организационно-техническими мероприятиями в процессе эксплуатации. Меньший пассажирообмен, естественно, меньше задерживает поезд на станции, что позволяет чаще пропускать поезда. Специальные исследования показали, что на станции, лимитирующей пропускную способность линии, уменьшение максимального пассажирообмена двери вагона типа Д на 15 пассажиров (с 30 до 45) равноценно увеличению пропускной способности с 38,5 до 39,6 поездов/ч, или на 2,9%.

На каждой станции необходимо повседневно наблюдать за пассажирообменом дверей, если это ограничивает перевозочные возможности линии, и принимать меры для сглаживания неравномерности. Добиться этого можно координацией работы метрополитена с наземными видами транс-

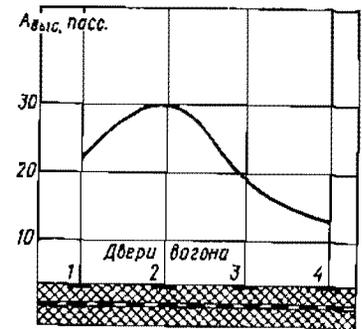


Рис. 23. Характер высадки пассажиров по дверям вагона с 8 ч до 8 ч 30 мин на станции Парк Культуры (Москва)

порта, перераспределением пассажиров по вестибюлям станций, смягчением внутричасовой неравномерности поступления пассажиров в метро, рациональной планировкой станций и др. На Кольцевой линии Московского метрополитена, в частности, более равномерно распределили пассажиров по вагонам поезда простейшим способом — установкой сигнальных знаков (рейки) места остановки головного вагона на станциях. Это положительно сказалось на уровне комфорта перевозок и степени использования провозной и пропускной способностей линии.

Неравномерный пассажирообмен вагонов в поезде предопределяет неравномерность и в их наполнении. Вагоны в каждом поезде на всех линиях и перегонах наполнены резко неравномерно, причем на каждом перегоне больше всех наполнен один определенный вагон. Конфигурация кривых повагонного наполнения поезда носит стабильный почасовой характер и не изменяется в течение многих лет, если неизменны планировка (расположение входов—выходов и их число) и число станций на линии (рис. 24). Неравномерность наполнения вагонов выражается и учитывается в расчетах коэффициентом  $k_{\text{в}}$ , представляющим собой отношение максимального  $m_{\text{ф}}^{\text{max}}$  и среднего в поезде  $m_{\text{ф}}^{\text{ср}}$  наполнений, фактически наблюдаемых на линии в течение расчетного периода (15 мин, 1 ч и т. д.):

$$k_{\text{в}} = m_{\text{ф}}^{\text{max}} : m_{\text{ф}}^{\text{ср}}$$

На каждой линии обычно есть участок (несколько перегонов — от двух до четырех), на котором показатели наполнения подвижного состава наибольшие. Коэффициент  $k_{\text{в}}$  поэтому следует определять именно на напряженном, лимитирующем участке. Это позволит получить наиболее характерные для линии данные без больших ошибок и завышений. При этом исключена возможность получения случайных величин этого показателя. На Московском метрополитене значения коэффициента  $k_{\text{в}}$  в пиковые часы заключены в пределах от 1,18 (Кировско-Фрунзенская линия) до 1,64 (Филевская линия). Важно отметить, что значения  $k_{\text{в}}$  для каждого перегона остаются постоянными и не зависят от размеров движения поездов. При изменении частоты движения  $N_{\text{дв}}$  доля каждого вагона в числе перевозимых каждым поездом пассажиров остается прежней. Следовательно, по фактической кривой повагонного наполнения поездов можно строить приведенные для любых

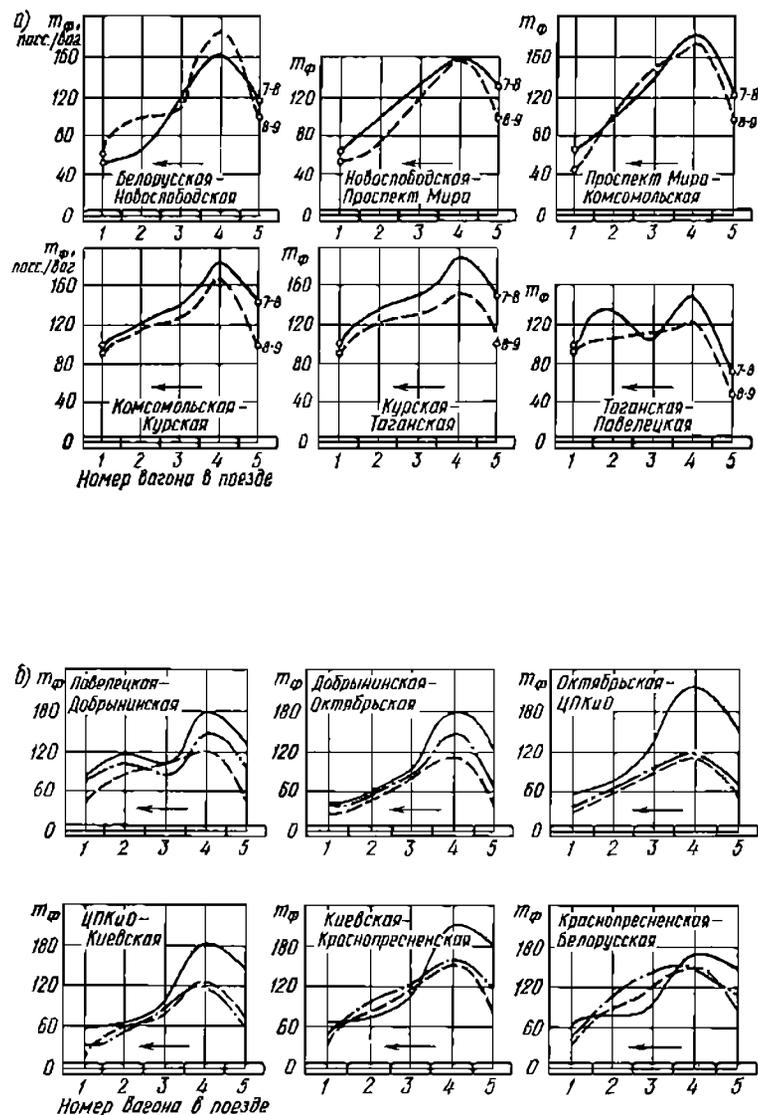


Рис. 24. Почасовые кривые неравномерности наполнения вагонов в рабочие дни на Кольцевой линии (Москва):

а — в часы пик 7—8 и 8—9; б — в разные годы

задаваемых  $m_{\phi}^{\max}$  (рис. 25). Искомое приведенное к  $m_{\text{доп}}^{\max}$  наполнение каждого вагона отличается от фактического во столько раз, во сколько  $m_{\phi}^{\max}$  больше или меньше  $m_{\text{доп}}^{\max}$ . Например, при приведении фактической кривой 1 с  $m_{\phi}^{\max} = 201$  пассажиров/ваг к кривой 2 с  $m_{\phi}^{\max} = 170$  пассажиров/ваг  $k_{\text{пр}} = m_{\phi}^{\max} / m_{\text{доп}}^{\max} = 201 : 170 = 1,18$ . Следовательно, наполнение каждого вагона должно быть в 1,18 раза меньше фактического. Ошибочно считать (см. рис. 25, кривая 4), что наполнение каждого вагона при приведении уменьшается на одну и ту же величину  $201 - 170 = 31$  пассажиров/ваг.

На пассажирообмен, а также фактическое наполнение вагонов влияют планировочные особенности станции и расположение поезда во время остановки на станции по отношению к ним. На конкретном примере Кольцевой линии Московского метрополитена проанализируем, почему наибольший спрос имеют головные вагоны на II пути (внешнем) и хвостовые на I пути (внутреннем). Большинство станций здесь пилонного типа. На станции Октябрьская 58% пассажиров II пути пользуются первым от эскалатора проемом, ведущим на пассажирскую платформу, 22% — вторым, III — третьим и четвертым и только 9% — пятым.

Следовательно, и более заполнены те вагоны, которые находятся ближе к первому от эскалатора проему. На станциях Павелецкая и Добрынинская на I пути ближайший от эскалатора проем находится ближе к головным, а не к хвостовым вагонам поезда, как на других станциях, поэтому наибольший пассажирообмен здесь у головных вагонов. На большинстве же

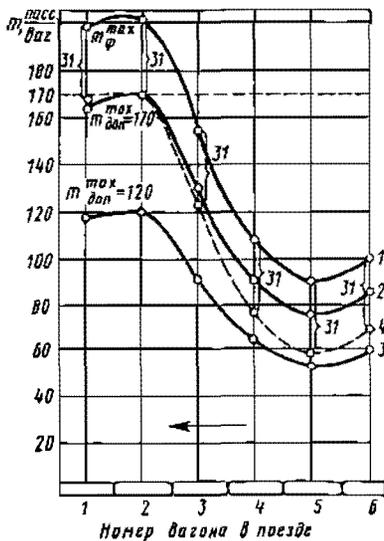


Рис. 25. Кривые повагонного наполнения поезда

$$k_{\text{в}} = f(N_{\text{дв}}, m_{\phi}^{\max}) = \text{const:}$$

1 — фактическая; 2 и 3 — приведенные к  $m_{\text{доп}}^{\max}$ ; 4 — приведенная ошибочно

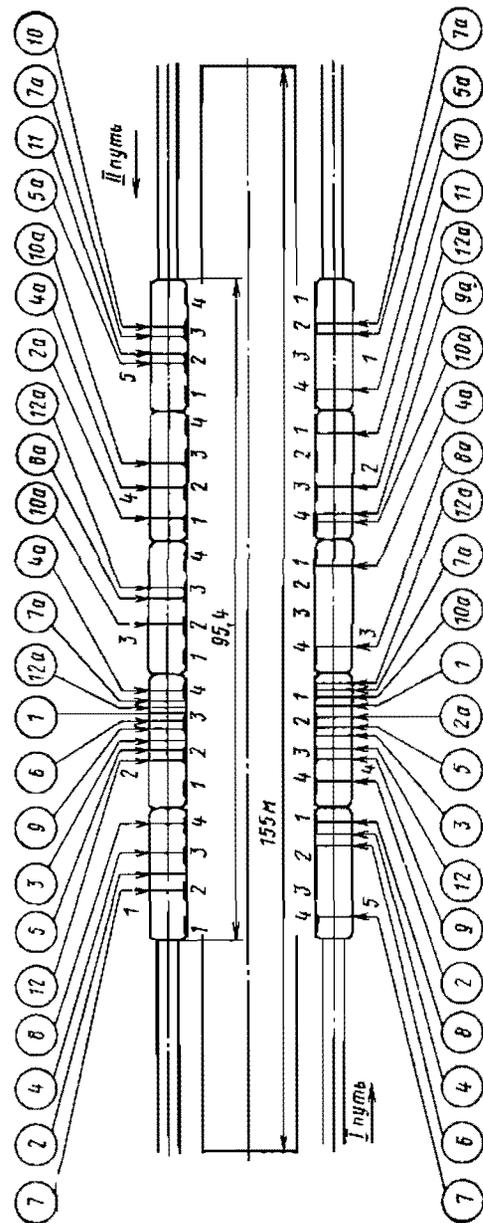


Рис. 26. Схема расположения поезда по отношению к входам, выходам и переходам станций

1 — Парк Культуры; 2 — Киевская; 3 — Краснопресненская; 4 — Белорусская; 5 — Проспект Мира; 6 — Новослободская; 7 — Комсомольская; 8 — Курская; 9 — Таганская; 10 — Павелецкая; 11 — Добрынинская; 12 — Октябрьская; индекс в означает наличие переходов на станциях; стрелками указаны вагоны, останавливающиеся близко к входу, выходу или переходу

станций Кольцевой линии напротив первого, ближайшего от эскалатора проема располагается на I пути четвертый, а на II — второй вагоны поезда (рис. 26). На 12 станциях Кольцевой линии 14 из 23 (более 60%) конструктивных элементов, предназначенных для прохода пассажиров (входы, выходы, переходы), расположены с одной какой-либо стороны (рис. 27, а). Естественно, наибольшая доля пассажиров, следующих по I пути, тяготеет к четвертому, а по II — ко второму вагону поезда.

На Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена также на 13 станциях из 19 входы, выходы и переходы расположены с одной стороны по ходу поезда (рис. 27, б), поэтому переполнены хвостовые вагоны поездов, движущихся от станции Площадь Ленина, и головные — в обратном направлении. На Киевском метрополитене коэффициент неравномерности наполнения вагонов при эксплуатации трехвагонных составов на лимитирующем перегоне был равен 1,45. При увеличении числа вагонов в поезде до пяти наполнение пикового вагона осталось прежним и коэффициент возрос из-за снижения среднего наполнения вагонов в поезде.

Специальные исследования на Московском метрополитене позволили объяснить психологию поведения пассажиров и выявить причины неравномерного их распределения по

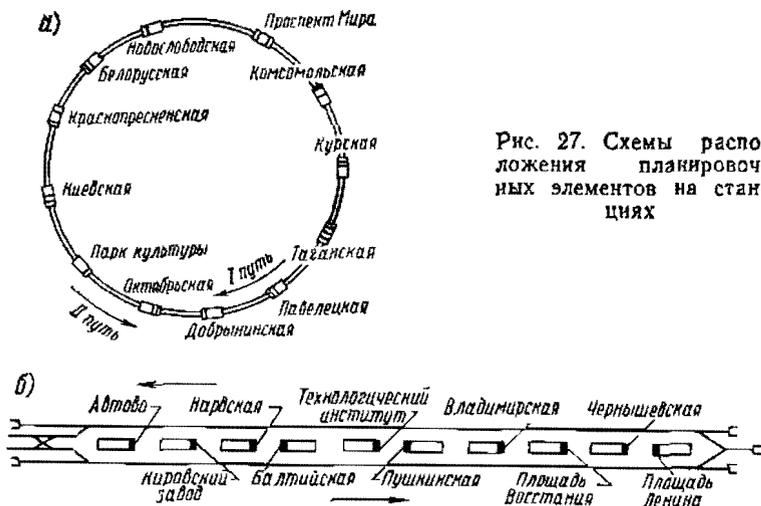


Рис. 27. Схемы расположения планировочных элементов на станциях

разным вагонам поезда. Основная масса пассажиров для посадки в поезд на станции отправления проходит к тому вагону и даже к той двери, которые на станции назначения будут расположены ближе к выходу в город или проходу для пересадки на другую линию. Пассажир пренебрегает теснотой и чаще всего предпочитает экономии времени удобствам нахождения в вагоне. Поэтому большинство пассажиров (до 90%) до каждой станции назначения едет в одном-двух вагонах поезда.

На станции Библиотека им. Ленина после открытия перехода в середине платформы резко изменился характер кривой повагонной высадки из поездов в обоих направлениях движения. Плоскостные эпюры (рис. 28) повагонного распределения пассажиров в поездах и на посадочных платформах, построенные по результатам натуральных обследований, позволили выявить следующие закономерности пассажиропотоков при двух различных вариантах планировки станции. Если ранее на пути I (от центра) максимальная высадка приходилась на седьмой вагон, то теперь на четвертый вагон, который останавливается ближе к переходу. Коэффициент неравномерности повагонной высадки уменьшился с 2,33 до 1,32 в период с 16 до 17 ч и с 2,48 до 1,29 с 17 до 18 ч. Подобные результаты наблюдаются и на пути II. Что касается повагонной посадки, то она не претерпела существенных изменений, поскольку планировка станций, до которых едут пассажиры, осталась прежней. Перераспределение посадки произошло на предшествующих станциях.

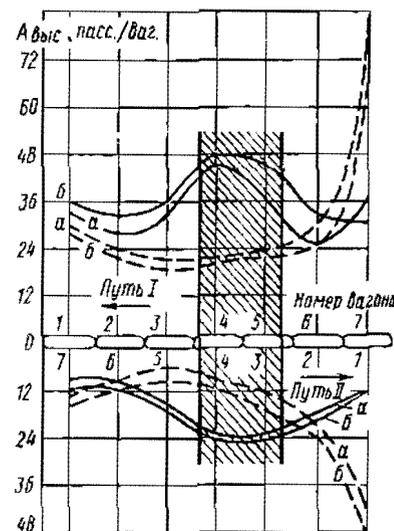


Рис. 28. Кривые повагонной высадки пассажиров на станции Библиотека им. Ленина (зона тяготения к переходу заштрихована):

— до открытия нового перехода; - - - после открытия; а — 16—17 ч; б — 17—18 ч

Коэффициент неравномерности пассажирообмена на обоих путях снизился в вечерние часы с 2,18—2,24 до 1,48—1,30, т. е. на 32—42%, загрузка вагонов поезда и пассажирской платформы стала более равномерной. Пик пассажирообмена сместился к середине станции; накладка повагонной высадки на посадку в максимуме оказалась меньше прежней. Смягчение пиков благотворно сказалось на показателях технико-эксплуатационной работы станции. Условия высадки—посадки пассажиров стали более удобными. Стало спокойнее работать поездным бригадам. Время стоянки поездов на станции сократилось на 10—15 с (норма на высадку или посадку одного пассажира для вагонов типа Д 0,5 с). Пропускная и провозная способности станции увеличились на 22—40%.

И наконец, изменилось наполнение вагонов в прибывающих по обоим путям поездах (рис. 29). До открытия перехода максимальная нагрузка на пути I приходилась на седьмой вагон (191 пассажир/ваг). Теперь же она снизилась в нем до 140 пассажиров/ваг, так как часть пассажиров перешла в третий, четвертый и пятый вагоны. Коэффициент неравномерности наполнения вагонов в поездах снизился с 1,65 до 1,21, или на 27%.

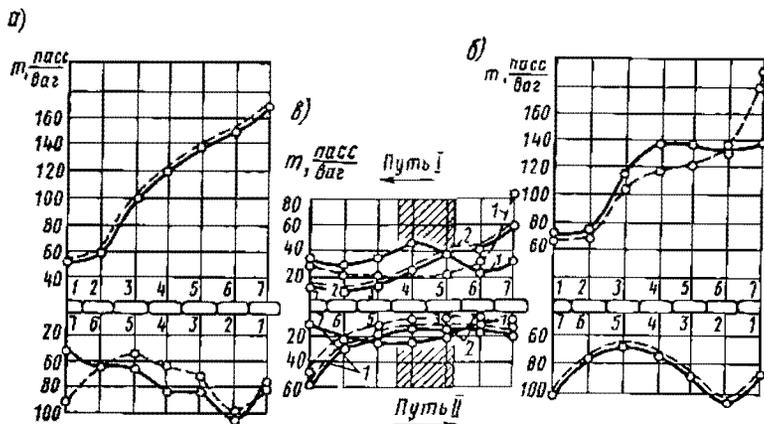


Рис. 29. Кривые наполнения вагонов в поездах на перегонах:

а — Библиотека им. Ленина — Кропоткинская (верхние кривые) и Кропоткинская — Библиотека им. Ленина (нижние кривые); б — Проспект Маркса — Библиотека им. Ленина и Библиотека им. Ленина — Проспект Маркса; в — пассажирообмен на станции; 1 — высадка; 2 — посадка; — — — до открытия перехода; - - - - - после открытия

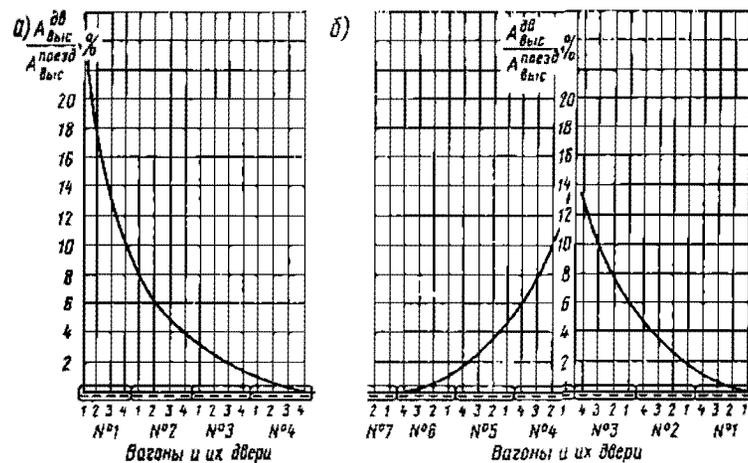
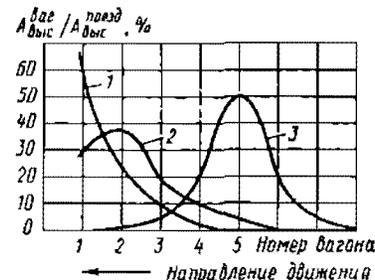


Рис. 30. Относительное распределение высадки пассажиров по дверям вагонов при расположении единственного выхода: а — в торцовой части платформы; б — в середине

На рис. 30—32 показаны закономерности распределения пассажиров по длине поезда в зависимости от планировки станций. Распределение пассажиров по вагонам поезда всегда носит криволинейный характер с максимумами в точках, ближайших к выходам на станциях. Основная доля пассажиров с каждой станции отправления (до 90%) в часы пик стремится совершать свои поездки, как правило, в двух-трех вагонах, останавливающихся на станции назначения близко от выхода или перехода. Такова психология пассажира, предпочитающего экономию

Рис. 31. Зависимости распределения высадки пассажиров из вагонов поезда от расположения выходов на станции:

1 — за пределами или вблизи концевых вагонов поезда; 2 — в пределах длины поезда (около второго вагона); 3 — в средней части платформы



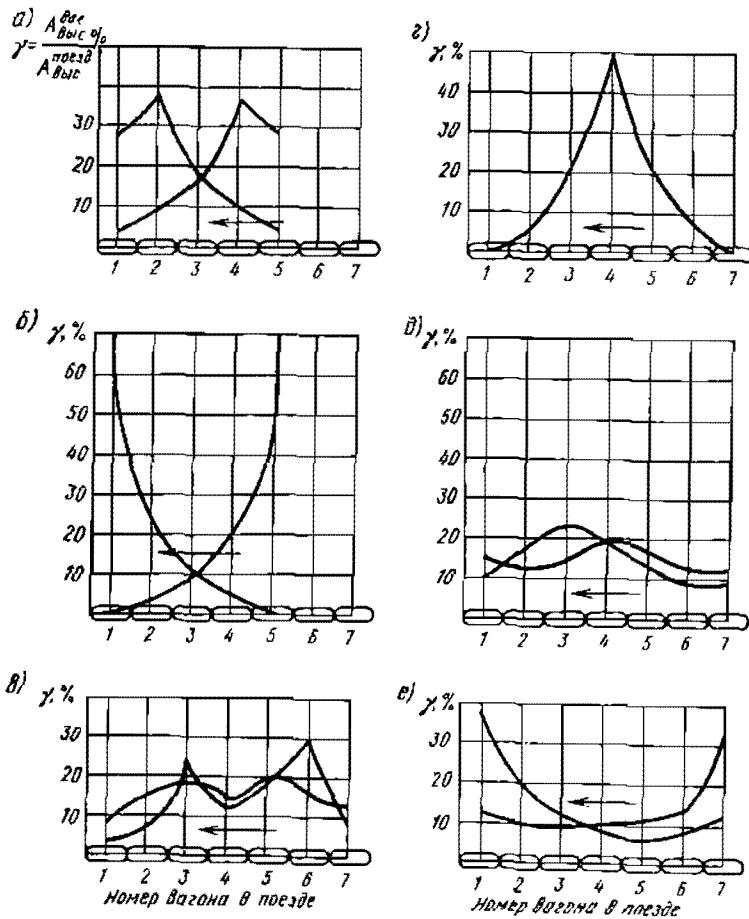


Рис. 32. Зависимости распределения высадки пассажиров из вагонов поезда от различных вариантов планировочного исполнения станций:

а — с одним выходом в пределах длины поезда в головной или хвостовой его части; б — то же, но за пределами длины поезда; в — пилонного типа с проемами в пределах длины поезда; г — с одним выходом в середине распределительного зала; д — с двумя выходами — в торце (за пределами длины поезда) и в середине распределительного зала; е — то же в торцах распределительного зала за пределами длины поезда

времени удобствам. Следовательно, можно выявить зависимость количества высаживающихся пассажиров  $A$  от расстояния  $l$  (от планировочного элемента платформы до пикового вагона). Судя по кривым распределения, эта зависимость может быть представлена формулой  $A_{\text{выс}} = ae^{-al}$ , где  $e$  — основание натурального логарифма.

Следовательно, главная причина неравномерного пассажирообмена и наполнения вагонов в поездах — планировка входов, выходов и переходов на станциях. Значит показатель  $k_{\text{в}}$  характеризует степень удачности планировки станций — правильность расположения входов, выходов и переходов на станциях, так как все функционально-планировочные элементы их работают одновременно, взаимозависимо, и это должно быть согласовано еще на стадии проектирования. Обосновывая варианты функционально-планировочного исполнения проектируемой линии, необходимо учитывать, что размещение вагонов вдоль платформы при остановке поезда и планировочные элементы станции взаимосвязаны. Нельзя на всех станциях участка все входы и выходы располагать с одной стороны платформы. Отрицательные последствия подобных ошибок эксплуатационники будут испытывать до реконструкции большинства станций на линии.

Итак, характер кривой повагонной высадки для каждой станции определяется взаиморасположением вагонов поезда во время его стоянки и планировочных элементов станции. Для каждой станции отправления она получается взаимоналожением кривых распределения пассажиров при высадке на станциях назначения. Или, иначе говоря, повагонная посадка получается суммированием корреспонденций данной станции со станциями назначения. Наполнение вагонов на каждом отрезке линии определяют, складывая совпадающие корреспонденции.

Пользуясь кривыми относительного распределения пассажиров (см. рис. 30 и 32) при проектировании линий метрополитенов, можно найти наиболее удобный для пассажиров и выгодный для транспорта вариант планировочного исполнения станций, размещения на них функционально-планировочных элементов, так расположить входы, выходы и переходы на станциях по отношению к вагонам поездов во время стоянок, чтобы обеспечить их равномерное наполнение. При этом целесообразно строить повагонные распределения, подобные приведенным на рис. 19 и 26, и учиты-

вать мощность каждого потока пассажиров и среднюю дальность их поездок. Это позволит избежать (по меньшей мере) грубых ошибок. Желательно соорудить два и более вестибюлей на всех станциях с размещением входов—выходов на платформы в чередующихся точках, равномерно рассредоточив их по длине поезда. Это будет в значительной мере способствовать более равномерному распределению пассажиров как на станциях, так и в поездах.

Расчеты проектировщиков в размещении входов, выходов и переходов на станциях можно компенсировать, умело и наиболее целесообразно расположив поезда на станциях во время их стоянок. Для этого надо лишь на каждой станции найти рациональное место установки сигнального знака (рейки), фиксирующего место остановки головного вагона, так как пассажиры быстро и точно реагируют на изменение положения поезда во время его стоянки на какой-либо станции. Смещение рейки необходимо обосновывать подробными расчетами. Длина посадочных платформ на станциях Кольцевой линии 155 м (на 8 вагонов). В составах же поездов курсируют всего 5 вагонов, поэтому при их стоянках остаются свободными около 60 м. Обследования выявили необходимость смещения рейки на всех станциях на 10—20 м на I (внутреннем) пути против движения поездов (назад) и на II (внешнем) — по ходу поезда Киевская — 15 м, Краснопресненская и Белорусская — 12 м и др.).

На рис. 33 приведены эпюры для сравнения пассажирообмена и наполнения вагонов в поездах обоих направлений движения до (штриховая линия) и после (сплошная линия) смещения реек, которые подтверждают результативность простейшего по исполнению мероприятия, а именно:

наполнение пикового вагона в поездах (утренние часы пик) снижено в среднем на линии на 9,4% (на лимитирующем перегоне Белорусская—Новослободская, например, четвертого вагона на I пути с 235 до 180 пассажиров, т. е. на 23%);

на посадочных платформах пассажиры распределяются значительно равномернее.

Это позволяет увеличить степень использования провозной способности линии до 70,2% (на 11,3%, или на 2,2 тыс. пассажиров в I ч), так как вагоны в поездах заполняются равномернее (если, например, до перестановки реек на станциях коэффициент неравномерности наполнения ваго-

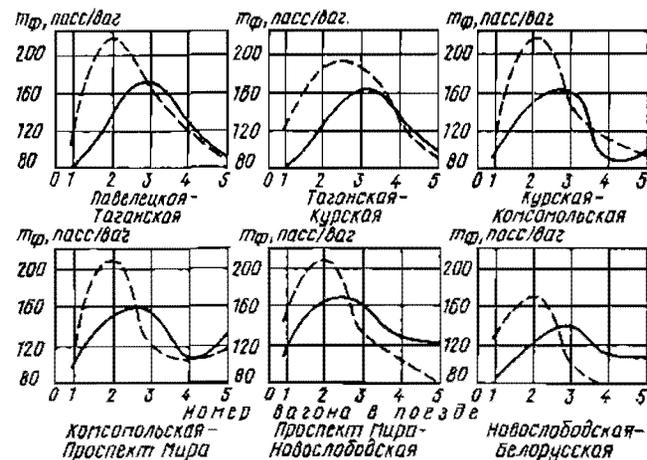


Рис. 33. Повагонное наполнение поезда: — до; — — после смещения реек на станциях Кольцевой линии (Москва)

нов в поездах был равен  $k_B = 1,46$ , то после —  $k_B = 1,30$ ). Наконец, немаловажно и то, что рациональное размещение реек не требует каких-либо финансовых затрат. Чтобы добиться такого практического эффекта любым иным способом, потребовались бы значительные финансовые затраты, например, при наиболее реальном пути — техническом перевооружении линии (увеличении пропускной способности, приобретении дополнительного подвижного состава, увеличении частоты движения и др.), — 2,3 млн. руб. на первый год эксплуатации. Такова эффективность мероприятия в денежном выражении. К этому следовало бы прибавить выигранные пассажиры, которые стали совершать поездки в более удобных условиях.

Внедренное простое мероприятие — первый крупный (в масштабе линии) эксперимент с вмешательством в распределение пассажиров. Этот опыт заслуживает распространения. Главный и очень важный вывод из него — распределением пассажиров можно управлять в процессе эксплуатации и учитывать закономерности формирования пассажиропотоков на стадии проектирования линий и станций. Практически полной равномерности распределения пассажиропотоков добиться нельзя. Поэтому при проектировании рассматривают все возможные варианты с разными сочета-

ниями расположения по отношению к вагонам поезда планировочных элементов, мощности повагонных пассажиропотоков, среднюю дальность поездки пассажиров по данной линии и определяют оптимальный вариант. Размещение всех планировочных элементов и вагонов поезда на станции должно быть обусловлено пассажирообменом (высадкой и посадкой).

Анализ изменений пассажирообмена и наполнения вагонов поезда, происходящих от перемены места положения поезда на станциях, позволяет сделать следующие выводы, которые могут служить методической основой организации перевозок и проектирования станций. При смещении сигнального знака (рейки) или входа, выхода и перехода (при проектировании) лишь на одной какой-либо станции на других:

изменится характер кривой повагонной высадки (пиковый вагон всегда тот, который останавливается ближе к выходу—переходу);

кривая повагонной посадки остается прежней как по характеру, так и по абсолютным значениям;

на предшествующих станциях распределение пассажиров при посадке по длине платформы изменяется, а по вагонам нет; кривая высадки остается постоянной;

изменяется характер кривой повагонного наполнения поезда на тех перегонах (в пределах средней длины поездки), которые предшествуют данной станции;

наполнение вагонов в поездах на последующих перегонах не меняется.

При изменении положения рейки (входа, выхода, перехода при проектировании) на многих или нескольких станциях на всех станциях соответственно изменяются: распределение пассажиров при посадке по длине платформы; повагонная высадка; повагонная посадка; наполнение вагонов в поезде как на предшествующих, так и на последующих перегонах.

## 8. Интегральная неравномерность распределения пассажиропотоков

Все виды неравномерностей распределения потоков пассажиров во времени и пространстве воздействуют на работу линий метрополитена одновременно, диктуя жесткие требования к организации перевозочного процесса. Сглажива-

ние неравномерностей — реальный резерв совершенствования работы метрополитена, облегчения условий нахождения в вагоне пассажиров, рационального использования основных перевозочных средств. Учет всех неравномерностей в распределении потоков во времени требует увеличения частоты движения поездов. Кратность этого увеличения равна произведению четырех временных коэффициентов:

$$k_t = \mu \nu \delta k_{15}.$$

Значит, в рабочие дни в часы пик размеры движения надо увеличивать при минимальных значениях всех коэффициентов в  $k_t^{\min} = 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,69 \cdot 1,01 = 1,9$  раза, при максимальных в  $k_t^{\max} = 1,17 \cdot 1,07 \cdot 2,12 \cdot 1,46 = 3,9$  раза по сравнению с равномерными пассажиропотоками (если расчетные коэффициенты равны единице, чего в жизни не бывает). Совокупность воздействия всех неравномерностей можно охарактеризовать (табл. 22) обобщающим показателем, который назовем интегральным:

$$k_0 = \mu \nu \delta k_n k_{\Pi} k_B k_{15}.$$

Зная этот коэффициент и размеры среднесуточных перевозок, можно найти пассажиропотоки, определяющие частоту движения поездов. Так, среднесуточные перевозки месяца максимальных перевозок определяют как  $A_m^{\max} = A_{\text{сут}}^{\text{ср}} \mu$ . Если, например, при идеальном равномерном распределении потоков для освоения какого-то объема перевозок на лимитирующем перегоне линии в час пик требуется определенное условное число поездов, то взаимодействие всех видов неравномерностей заставляет увеличить размеры движения в  $k_0$  раз. На Кировско-Фрунзенской линии, например, для периода с 8 до 9 ч  $k_0 = 1,11 \cdot 1,10 \cdot 2,04 \cdot 1,11 \times 1,85 \cdot 1,18 \cdot 1,17 = 7,06$ . Снижение значений каждого коэффициента хотя бы на 0,01 снижает потребность в размерах движения поездов или  $k_0$  в нашем примере с 7,06 до 6,69 — на 5,2%. Это даже практически достаточно ощутимый эффект.

Самые высокие значения  $k_0$  на Филевской линии свидетельствуют о целесообразности рассмотреть вопрос об организации на ней во внепиковые часы движения поездов с укороченными составами, изменяющимися в течение суток. Наиболее высокие значения  $\delta$  на Калининской линии говорят также о целесообразности уменьшения составов

Фактическое использование провозной способности линий Московского метрополитена при максимально допустимом наполнении вагона 150 пассажиров/ваг.

Линия	Пропускная способность линии $N$ , пасс./ч	Состав поезда $n$ , ваг	$k_B$	$k_{15}$	Провозная способность линии, тыс. пассажиров в 1 ч		$\eta$ , %
					теоретически возможная	фактически используемая	
Кировско-Фрунзенская	36	7	1,18	1,07	37,8	29,9	79,2
Горьковско-Замоскворецкая	45	7	1,21	1,25	47,3	31,3	66,2
Арбатско-Покровская	40	7	1,37	1,27	42,0	24,1	57,4
Кольцевая	36	6	1,46	1,43	32,4	15,6	47,9
Филевская	32	6	1,64	1,21	28,8	14,5	50,5
Калужско-Рижская	36	6	1,32	1,20	32,4	20,4	63,0
Краснопресненская (Баррикадная—Октябрьская)	30	4	1,32	1,24	18,0	11,0	61,1
Ждановская (Ждановская—Площадь Ногина)	30	4	1,32	1,25	18,0	10,9	60,6

поездов во внепиковое время,  $k_n$  на Ждановско-Краснопресненской — о возможной рациональности зонного движения,  $k_B$  на Кольцевой — о просчетах, допущенных при планировке станций (одностороннее расположение входов—выходов из распределительных залов станций).

Коэффициенты  $k_B$  и  $k_{15}$  отражают степень использования провозной способности линий  $\eta$ . Так, теоретически возможной (без учета  $k_B$  и  $k_{15}$ ) провозной способностью Кольцевой линии часто считают  $Q_T = N^{\max} m_{\text{доп}}^{\max} = 36 \cdot 6 \times 150 = 32\,400$  пассажиров/ч. Линия же фактически может перевезти не более (при  $m_{\text{доп}}^{\max} \leq 150$  пассажиров/ваг)

$$Q_{\text{ф}} = \frac{N^{\max} \cdot 150n}{k_B k_{15}} = \frac{32\,400}{1,46 \cdot 1,43} = 15\,500 \text{ пассажиров/ч,}$$

где  $N^{\max}$  — пропускная способность линии, поездов/ч;  
 $n$  — состав поезда, ваг.

Таблица 22

Коэффициенты неравномерностей распределения пассажиропотоков во времени и пространстве

Линия	Коэффициент неравномерности распределения пассажирских потоков							интегральный $k_0$
	по месяцам года $\mu$	по дням недели $\gamma_7$	по часам суток $\delta$	8—9 ч				
				по направлениям движения $k_D$	по перетонам $k_{II}$	по вагонам поезда $k_B$	по 15-минутным периодам часа пик $k_{15}$	
Кировско-Фрунзенская	1,11	1,10	2,04	1,11	1,85	1,18	1,17	7,06
Горьковско-Замоскворецкая	1,09	1,08	2,17	1,25	1,76	1,21	1,22	8,30
Арбатско-Покровская	1,09	1,08	2,12	1,28	1,86	1,37	1,04	8,46
Кольцевая	1,07	1,10	2,02	1,02	1,38	1,55	1,06	5,50
Филевская	1,09	1,085	2,18	1,49	1,56	1,42	1,29	10,97
Калужско-Рижская	1,12	1,085	2,24	1,05	1,84	1,20	1,17	8,92
Ждановско-Краснопресненская	1,10	1,08	2,24	1,09	1,95	1,20	1,20	9,57
Калининская	1,11	1,12	2,28	1,48	1,16	1,20	1,20	7,01
Метрополитен в среднем	1,10	1,09	2,15	1,22	1,67	1,20	1,30	7,56

Это означает, что на Кольцевой линии  $\eta = (15,5 : 32,4) \times 100 = 47,9\%$ . Более половины провозной способности ее недоиспользуется, так же как и на других линиях (табл. 23).

#### IV. ПРОПУСКНАЯ И ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ И СТАНЦИЙ

##### 1. Пропускная способность линии

Пропускная способность — это наибольшее количество поездов определенного состава, которое может проследовать в любом сечении линии за 1 ч в одном направлении

$$N^{\max} = \frac{3600}{i^{\min}},$$

где  $i^{\min}$  — минимальный интервал между смежными поездами — интервал движения поездов. При  $i^{\min} = 80$  с  
 $N^{\max} = 3600 : 80 = 45$  поездов/ч.

Этот показатель определяет перевозочную мощность линии и характеризует уровень технического развития метрополитена. Пропускную способность линии ограничивают: установленная скорость движения поездов по перегонам;

- принятая длина поезда (число вагонов в составе);
- тип вагонов (их техническая характеристика);
- время стоянок поездов на станциях под посадкой и высадкой;
- мощность устройств пути;
- пропускная способность устройств сигнализации, путевой автоматической блокировки, электрической централизации, энергоснабжения.

Различают три вида пропускной способности линии: наличную — имеющуюся в данный момент; проектную — предусматриваемую после реконструкции существующих устройств на первый период эксплуатации и расчетную перспективу с поэтапным осуществлением дополнительных капитальных работ.

Минимально возможный интервал движения поездов складывается из времени, лимитируемого автоблокировкой  $t_{бл}$ , и времени стоянки поезда на станции  $t_{ст}$ .

$$i^{\min} = t_{бл} + t_{ст}.$$

Подставив в предыдущую формулу теоретической пропускной способности значения параметра  $t_{ст}$  (с. 140), получим фактическую

$$N_{ф}^{\max} = \frac{3600}{t_{бл} + \frac{Па\gamma k_{13} t_1}{4N_c n}}.$$

Повышения пропускной способности можно добиваться двумя путями: уменьшением автоблокировочной составляющей  $t_{бл}$  — правильной расстановкой светофоров и рациональным режимом движения поездов по лимитирующим перегонам; уменьшением стоянки поезда на лимитирующей станции  $t_{ст}$ . Следует заметить, что время  $t_{бл}$ , помимо устройств СЦБ, зависит также и от динамических качеств подвижного состава, состояния путевого хозяйства и др. Технические средства транспорта постоянно совершенствуются. Тем не менее важно знать пути использования резервов другого составного элемента интервала —  $t_{ст}$ . На отдельных линиях он составляет 20—40%  $i^{\min}$  и до 20% общего времени прохождения поездом линии. Время  $t_{ст}$  между моментами остановки и отправления поезда на станции необходимо для высадки и посадки пассажиров (пассажиروобмена). В него также входит непроизводительное время, составляющее подчас до 50%  $t_{ст}$ , на открывание и закрывание дверей в вагонах, проверку готовности поезда к отправлению и др. На разных станциях меняется лишь время на высадку пассажиров. Непроизводительное время составляет в среднем 7—9 с, а практически, как показывают хронометражные наблюдения (Москва, Ленинград, Киев), колеблется в пределах от 6 до 11 с.

Лимитирует пропускную способность линии станция, на которой требуется наибольшее время стоянки поезда. В принципе естественно, что  $t_{ст}$  тем больше, чем больше пассажиров оканчивают и начинают поездки на данной станции. Но, чтобы выявить эту зависимость в конкретном количественном выражении, необходим анализ особенностей пассажируобмена на крупных станциях. Ранее было показано, что пассажиры распределяются неравномерно не только по вагонам поезда, но и по отдельным дверям одного и того же вагона. При этом максимальную нагрузку имеет одна определенная дверь одного вагона — на каждой станции своего. Следовательно, отправление поездов задерживает затянувшаяся посадка или высадка из одной

двери. Итак, стоянку поезда на лимитирующей станции определяет пассажирообмен пиковой двери  $q_{дв}^{max}$ .

Время стоянки поезда на станции определяется взаимным сочетанием величин пассажирообмена и времени на высадку или посадку одного пассажира. Специальные хронометражные наблюдения на Московском и Киевском метрополитенах позволили установить эмпирическую зависимость  $t_{н} = f(q_{дв}^{max})$  между нормой времени на высадку или

посадку одного пассажира  $t_{п}$  (с учетом непроизводительного времени) и пассажирообменом двери  $q_{дв}^{max}$  (рис. 34, квадрант III) [18]. Последняя позволила построить график

$$t_{ст} = f(q_{дв}^{max}, t_{п}). \quad (\text{рис. 34, квадрант IV}).$$

Практически важна ощутимая разница  $N$  для вагонов разного типа. Так, при пассажирообмене 50 пассажиров на дверь с раствором в свету 1280 мм (вагон типа Е) норма времени на высадку или посадку одного пассажира 0,45 с, с раствором 950 мм (тип Д) — 0,5 с (на 11% больше). Выявив зависимости и расчет  $N^{max}$  при различных значениях  $t_{бл}$  и  $q_{дв}^{max}$  (табл. 24), можно построить номограмму для определения фактической пропускной способности линий с различными значениями автоблокировочной составляющей интервала. На действующих линиях  $t_{бл}$  заключено в пределах 55—81 с,  $t_{ст} = 25 \div 35$  с (по ПТЭ — до 45 с), откуда  $N^{max} = 29 \div 45$  поездов/ч. В этом диапазоне и построена номограмма (см. рис. 34). Она позволяет установить, как влияет пассажирообмен поезда на лимитирующей станции на пропускную способность линии.

Характерно, что с увеличением  $q_{дв}^{max}$  влияние пассажирообмена на пропускную способность возрастает. Так, для вагона типа Д при увеличении  $q_{дв}^{max}$  с 30 до 45 пассажиров пропускная способность уменьшается с 44,4 до 43,2 поезда

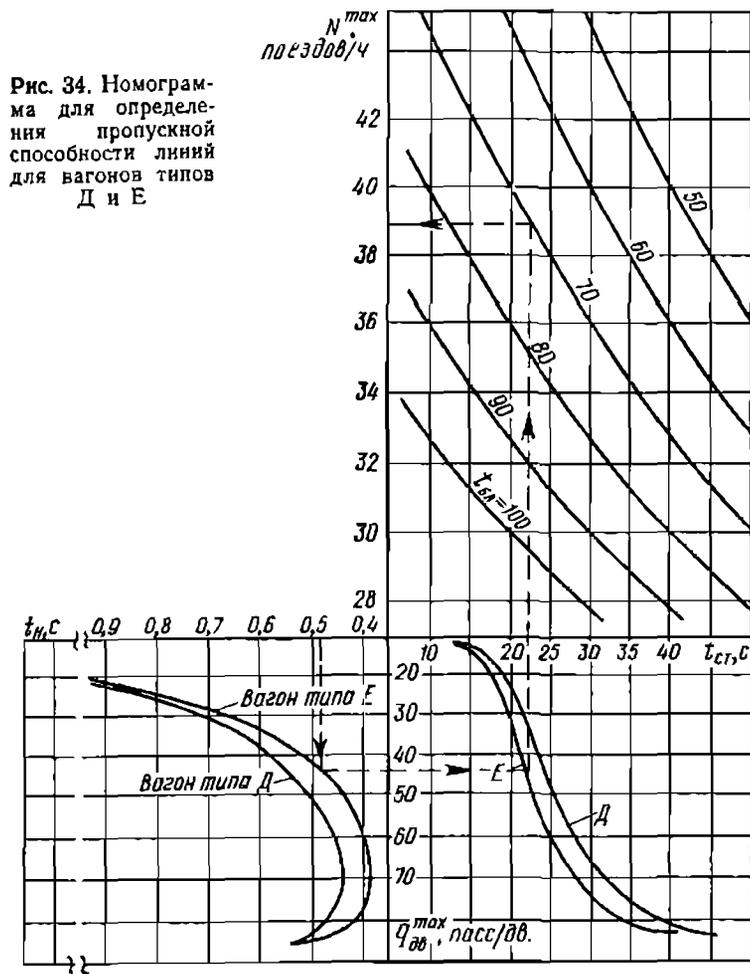


Рис. 34. Номограмма для определения пропускной способности линий для вагонов типов Д и Е

Таблица 24

Пропускная способность линии, поездов

Автоблокировочная составляющая интервала $t_{бл}$ , с	Тип вагона Д, $q_{дв}^{max}$ ( $t_{ст}$ )					Тип вагона Е, $q_{дв}^{max}$ ( $t_{ст}$ )						
	75 (33,0)	60 (27,6)	45 (23,4)	30 (21,0)	15 (17,4)	1 (7,5)	75 (30,0)	60 (25,2)	45 (21,6)	30 (19,5)	16 (17,4)	1 (7,5)
50	43,4	46,4	49,0	50,7	53,3	62,6	45,0	47,9	50,3	51,8	53,4	62,6
60	38,7	41,1	43,2	44,4	46,5	53,3	40,0	42,2	44,1	45,3	46,5	53,3
70	35,0	36,9	38,5	39,6	41,2	46,5	36,0	37,8	39,3	40,2	41,2	46,5
80	31,9	33,5	34,8	35,6	37,0	41,2	32,7	34,2	35,4	36,2	37,0	41,2
90	29,3	30,6	31,7	32,4	33,5	36,9	30,0	31,2	32,3	32,9	33,5	36,9
100	27,1	28,2	29,2	29,7	30,6	33,4	27,8	28,8	29,6	30,2	30,7	33,5

в 1 ч, т. е. на 1,2 поезда (на 2,7%). Рост же  $q_{дв}^{max}$  на те же 15 пассажиров (с 60 до 75) сопровождается падением  $N^{max}$  с 41,1 до 38,7 поезда в 1 ч или уже на 2,4 поезда (на 5,8%). На номограмме это показано штриховой линией. С уменьшением  $t_{ст}$  до 18 с, а следовательно, и  $q_{дв}^{max}$  до 20 пассажиров на дверь кривые  $N^{max} = f(t_{ст})$  становятся круче. С увеличением  $t_{ст}$  его влияние ослабевает и при  $t_{ст} = 42,5$  с (только посадка) и  $t_{ст} = 37,4$  с (только высадка) практически сводится к нулю. Дальнейшее снижение  $N^{max}$  происходит от увеличения  $t_{ст}$  без пассажирообмена (поезд стоит). Важно также отметить, что в результате только уширения дверей на 330 мм (вагоны типа Е вместо Д) пропускная способность линии увеличилась. При  $q_{дв}^{max} = 55$  пассажиров на дверь,  $t_{бл} = 80$  с и прочих равных условиях она составляет 34,9 вместо 33,9 поезда в 1 ч. Поэтому заманчива перспектива увеличить число дверей в вагоне с четырех до пяти.

## 2. Провозная способность линии

Провозная способность — это наибольшее количество пассажиров, которое может быть перевезено поездами определенного состава  $n$  в любом сечении расчетной линии за 1 ч в одном направлении при полном использовании пропускной способности линии  $N^{max}$  и равномерном в течение всего часа наполнении всех вагонов, предельно допуская нормой (степень комфорта перевозок)  $m_{доп}^{max}$ :

$$Q_T^{max} = N^{max} n m_{доп}^{max}.$$

При  $N^{max} = 45$  поездов/ч,  $n = 7$  вагонов и  $m_{доп}^{max} = 170$  пассажиров/ваг,  $Q_T^{max} = 45 \cdot 7 \cdot 170 = 53\,550$  пассажиров/ч. Но этот показатель нельзя использовать для решения вопросов, касающихся организации пассажирских перевозок, так как на линиях всегда наблюдаются резкая неравномерность наполнения вагонов и внутрис часовые колебания перевозок. Естественно, чем равномернее распределение пассажиров по вагонам поезда и 15-минутным периодам часа, тем большим окажется

$$Q_{\phi} = \frac{N_{\phi}^{max} n m_{доп}^{max}}{k_B k_{15}},$$

где  $N_{\phi}^{max}$  — фактическая частота движения в часы пик;  
 $m_{доп}^{max}$  — допустимое наполнение вагона при желаемой степени комфорта перевозок пассажиров (150, 120 или 70 пассажиров);  
 $k_B$  — коэффициент неравномерности наполнения вагонов в поезде на лимитирующем (где наблюдается  $m_{доп}^{max}$ ) перегоне;  
 $k_{15}$  — коэффициент внутрис часовая неравномерности наполнения ликового вагона в поезде.

Причина этого — неравномерности, оцениваемые коэффициентами  $k_B$  и  $k_{15}$ . Провозная способность линии никогда не используется полностью. Фактически ее доля меньше теоретически возможной во столько раз, во сколько  $m_{доп}^{max}$  больше произведения  $k_B k_{15}$ . Так, при теоретически возможной провозной способности  $Q_T^{max} = N^{max} n m_{доп}^{max} = 36 \times 6 \cdot 170 = 36\,720$  пассажиров/ч. Кольцевая линия, например, фактически может перевезти не более  $Q_{\phi}^{max} = \frac{N^{max} n \cdot 170}{k_B k_{15}} = \frac{36\,720}{1,46 \cdot 1,43} = 17\,588$  пассажиров/ч. Это означает, что  $\eta = 47,9\%$ . Более половины провозной способности этой линии да и других недоиспользуется.

На рис. 35 приведена номограмма для определения  $Q_{\phi}^{max}$ , где размеры движения  $N_{дв}$  соответствуют  $N^{max}$ . Штриховой линией дан пример нахождения  $Q_{\phi}^{max} = 21,6$  при  $k_B = 1,27$ ;  $k_{15} = 1,45$ ;  $m^{max} = 170$  пассажиров/ваг;  $n = 6$  ваг;  $N_{дв} = N^{max} = 39$  поездов/ч. Последовательность решения:  $k_B \rightarrow k_{15} \rightarrow m_{доп}^{max} \rightarrow n \rightarrow N_{дв} \rightarrow Q_{\phi}^{max}$  (результат) в направлении по часовой стрелке.

Различают провозную способность:

- наличную — имеющуюся в данный момент;
- потребную — необходимую для освоения перевозок с заданным уровнем обслуживания пассажиров;
- проектную — предусматриваемую после реконструкции линии и внедрения организационно-технических мероприятий (например, увеличения числа вагонов в поезде и др.)

Фактическая, или используемая, провозная способность линии практически никогда не может быть равна теоретической из-за постоянных неравномерностей распределения пассажиропотоков. Степень использования провозной способности линии (в %) определяется по формуле

$$\eta = (Q_{\phi} : Q_T) 100 \text{ или } \eta = 100 : k_B k_{15}$$

и номограмме (рис. 36).

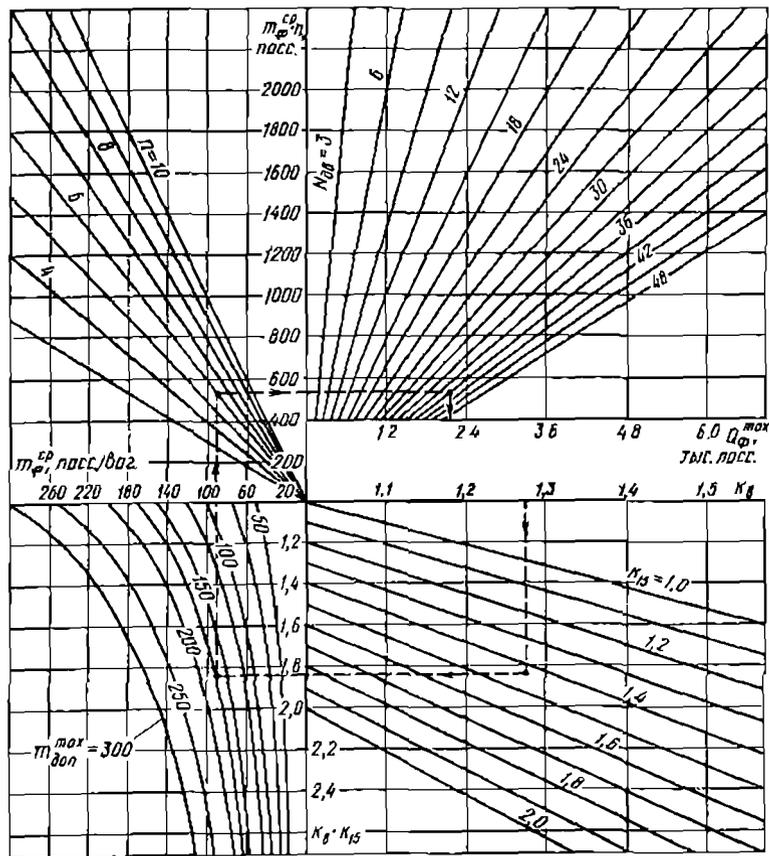


Рис. 35. Номограмма для определения фактической провозной способности линий (с учетом повагонной  $k_{в}$  и внутрисуточной  $k_{15}$  неравномерностей распределения пассажиропотоков)

В табл. 25 приведена провозная способность линий метрополитена при разных составах поездов и максимально допустимом наполнении вагонов, равном 70, 120, 170 или 250 пассажиров. Эти данные характеризуют фактические перевозочные возможности линий, так как отражают неравномерное распределение пассажиропотоков, которое складывается на каждой линии. При обычных, наиболее часто встречающихся в условиях работы отечественных

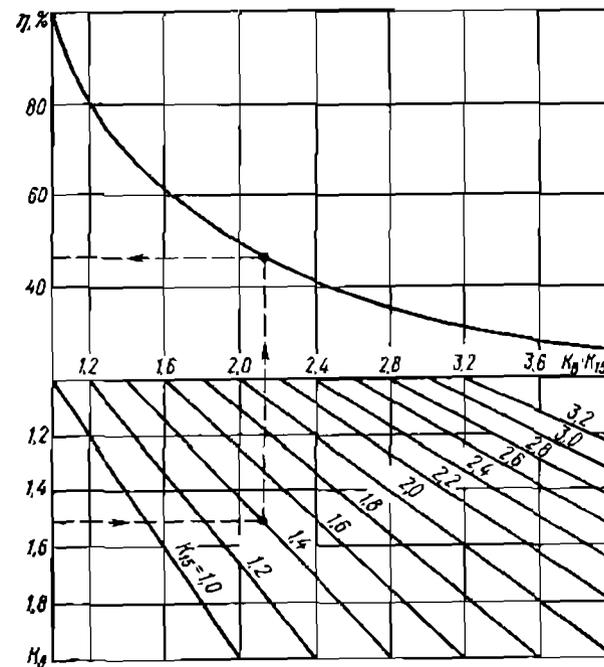


Рис. 36. Номограмма для определения степени использования провозной способности линии

метрополитенов значениях  $k_{в} = 1,3$  и  $k_{15} = 1,2$  максимальная провозная способность линий фактически составляет:

при шести вагонах в поезде

$$Q_{\phi}^{\max} = \frac{40 \cdot 6 \cdot 150}{1,3 \cdot 1,2} = 23,1 \text{ тыс. пассажиров/ч;}$$

при семи вагонах

$$Q_{\phi}^{\max} = \frac{40 \cdot 7 \cdot 150}{1,3 \cdot 1,2} = 26,9 \text{ тыс. пассажиров/ч.}$$

Приведем конкретные примеры решения некоторых задач.

Пример 1. На Кольцевой линии метро в Москве, где полностью использована  $N^{\max} = 34,5$ , организационно-техническими мероприятиями был снижен пассажирообмен в пиковом вагоне № 3

Максимальная провозная способность действующих в новых линиях метрополитена, тыс. пассажиров/ч

Количество вагонов в поезде л	Максимально допустимое наполнение вагона в поезде т <sub>доп</sub> , пассажиров/ваг	Частота движения поездов N <sub>макс</sub> , поездов/ч										Примечание
		32	34	36	38	40	42	44	46	48		
6	70	8,6	9,2	9,7	10,2	10,8	11,3	11,8	12,4	12,9	k <sub>в6</sub> = 1,35 k <sub>т6</sub> = 1,16 k <sub>в300</sub> = 1,18	
	150	18,5	19,6	20,8	21,9	23,1	24,2	25,4	26,5	27,7		
	170	20,9	22,2	23,5	24,8	26,2	27,5	28,8	30,1	31,4		
	200	24,6	26,2	27,7	29,2	30,8	32,3	33,8	35,4	36,9		
	300	30,8	32,7	34,6	36,5	38,5	40,4	42,3	44,2	46,2		
7	70	9,5	10,1	10,7	11,3	11,9	12,5	13,1	13,7	14,3	k <sub>в7</sub> = 1,42 k <sub>т7</sub> = 1,16 k <sub>в300</sub> = 1,21	
	150	20,4	21,6	22,9	24,2	25,5	26,7	28,0	29,3	30,5		
	170	23,1	24,5	26,0	27,4	28,8	30,3	31,7	33,2	34,6		
	200	27,2	28,8	30,5	32,2	33,9	35,6	37,3	39,0	40,7		
	300	33,9	36,1	38,2	40,3	42,4	44,5	46,7	48,8	50,9		
8	70	10,4	11,0	11,7	12,3	12,9	13,6	14,2	14,9	15,5	k <sub>в8</sub> = 1,49 k <sub>т8</sub> = 1,16 k <sub>в300</sub> = 1,25	
	150	22,2	23,6	25,0	26,4	27,7	29,1	30,5	31,9	33,3		
	170	25,2	26,7	28,3	29,9	31,4	33,0	34,6	36,2	37,7		
	200	29,6	31,4	33,3	35,1	37,0	38,8	40,7	42,5	44,4		
	300	37,0	39,3	41,6	43,9	46,2	48,6	50,9	53,2	55,5		
												79,4

(1 внутренний путь) на лимитирующей станции «Октябрьская» с 256 до 205 пассажиров. При этом  $k_{в} = 1,42$  снизился до  $k_{в} = 1,28$ , а пассажирообмен пиковой двери вагона  $q_{дв}^{max}$  уменьшился с 64 до 51 пассажира, т. е. на 22%.

В результате без дополнительных затрат пропускная способность линии при  $t_{бл} = 76$  с (вагон типа Д) повысилась до 35,8 поездов в 1 ч (на 1,3 поезда в 1 ч), или на 3,8%. Улучшились другие показатели работы, повысилась степень использования провозной способности линии с 70,3 до 78,2%, сэкономлено время пассажиров и др. Внедренные мероприятия не повлекли за собой технической перевооруженности линии, экономическая эффективность их исчисляется сотнями тысяч рублей.

**Пример 2.** Сравниваются два варианта планировочного исполнения станций проектируемой линии метро. В варианте I пассажирообмен поездов в расчетном направлении движения на лимитирующей станции равен 840 пассажиров/поезд (в поезде 6 вагонов типа Д). В варианте II перепланировкой станции снижены коэффициенты неравномерности пассажирообмена по вагонам поезда  $k_{в}^{обм}$  с 1,61 до 1,18 и по дверям пикового вагона  $k_{дв}^{обм}$  с 1,46 до 1,11. Это значит, что пассажирообмен пиковой двери уменьшился с

$$q_{дв}^{max} = \frac{840 \cdot 1,61 \cdot 1,46}{6 \cdot 4} = 62 \text{ (} t_{ст} = 28,5 \text{ с)}$$

$$\text{до } q_{дв}^{max} = \frac{840 \cdot 1,18 \cdot 1,11}{6 \cdot 4} = 46 \text{ пассажиров на дверь}$$

( $t_{ст} = 24,0$ с) или на 16 пассажиров.

По номограмме (см. рис. 34) определяем, что в варианте II пропускная способность линии на 1,6 поезда в час больше (при одинаковых устройствах ЦЦБ,  $t_{бл} = 76$  с).

Следовательно, к строительству целесообразнее принять II вариант, как наиболее удобный для пассажиров и более экономичный в эксплуатации.

Итак, линии метрополитена обладают резервами как в пропускной, так и в провозной способности. Пользуясь изложенной методикой, можно сравнивать варианты эксплуатации и проектирования линий по технико-экономическим показателям работы в различных условиях.

### 3. Функционально-планировочные элементы станций

Пропускная способность всех функционально-планировочных элементов станции должна быть равнозначной, соответствующей ожидаемым в перспективе пассажиропотокам. При известных обстоятельствах фактическую провозную способность линии можно регламентировать плани-

ровкой станции (например, при недостаточной пропускной способности входных дверей и эскалаторов и др.). Пропускная способность элемента станции выражается максимальным числом пассажиров, которые могут пройти в каждом сечении его в течение 1 ч при нормальных условиях. Делением ожидаемых пассажиропотоков на норму пропускной способности определяется ширина прохода или число эскалаторов, дверей, АКП и др.

Нормы пропускной способности установлены СНиП. Но следует заметить, что там, например, норма пропуска одной полосы движения пассажиров для горизонтальных переходов и коридоров завышена. Согласно исследованиям пешеходного движения на станциях Московского метрополитена и в подземных пешеходных переходах, проведенных методом прерывистой кино съемки НИИ градостроительства АСИА СССР, большинство (65—70%) пассажиров при свободном потоке движутся со скоростью 45—67,5 м/мин (2,7—4,05 км/ч). Следовательно, метровая полоса длиной 2,7—4,5 км по нормам СНиП должна вместить 5000 пассажиров с плотностью потока  $5000 : (2700 \div 4050) = 1,85 \div 1,23$  (в среднем 1,54) пешеходов/м<sup>2</sup>. На каждого пешехода при этом приходится  $1 : (1,85 \div 1,23) = 0,54 \div 0,81$  м<sup>2</sup>. При таких нормах невозможно свободно сделать ни одного полного шага.

Исследования показали также, что наибольшее число пассажиров (60—70%) проходит по горизонтальному участку с плотностью движения 0,7—1,42 пешеходов/м<sup>2</sup> при среднем значении ее 1,26 пешеходов/м<sup>2</sup>. Следовательно, для каждого пешехода необходима площадь  $1 : (0,7 \div 1,42) = 1,43 \div 0,7$  м<sup>2</sup>, или в среднем  $1 : 1,26 = 0,79$  м<sup>2</sup>, а пропускная способность пешеходной полосы переходов и коридоров при равномерном поступлении пассажиров должна составлять 4300 пассажиров/ч (при средней скорости пешехо передвижения 3,4 км/ч). С учетом коэффициента внутри часовой неравномерности поступления пассажиров в каждое сечение элемента станции  $k_{15} = 1,3 \div 1,5$  норма пропуска одной полосы перехода определяется в  $4300 : (1,3 \div 1,5) = 3300 \div 2860$  пассажиров/ч, т. е. на 1700—2140 пассажиров/ч меньше, чем предусмотрено СНиП.

На многих станциях Московского метрополитена один из наиболее узких элементов в пропускной способности — число эскалаторов в одном наклонном ходе. Это можно объяснить недостаточно обоснованным и точным прогнозом

ожидаемых пассажиропотоков в перспективе при проектировании станций; завышенной нормой провозной способности одной ленты эскалатора, принимавшейся равной 10 тыс. пассажиров/ч; занижением коэффициента внутричасовой неравномерности перевозок (если он учитывался). Провозная способность одной ленты эскалатора  $q_a$  определяется соотношением

$$q_a = \frac{3600 v m k_c}{b k_{15}}$$

где  $v$  — скорость движения ленты эскалатора, м/с;  
 $m$  — число пассажиров, размещающихся на одной ступени;  
 $k_c$  — коэффициент использования вместимости эскалаторных ступеней;  
 $b$  — ширина ступени, м;  
 $k_{15}$  — коэффициент внутричасовой неравномерности поступления пассажиров на эскалаторы по четвертям часа

При  $v = 0,75$  м/с;  $m = 2$  пассажира на ступени;  $k_c = 0,80$ ;  
 $b = 0,4$  м;  $k_{15} = 1,5$

$$q_a = \frac{3600 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 0,80}{0,4 \cdot 1,5} = 7200 \text{ пассажиров/ч.}$$

При ожидаемом пассажирообмене станции, например, в 14 тыс. пассажиров/ч может потребоваться трехленточный эскалатор, так как пассажиры могут распределиться следующим образом: 4 тыс. — высадка (одна лента для работы на подъем) и 10 тыс. — посадка (две ленты на спуск). Опыт показывает, что на каждой станции всегда есть преимущественное направление движения пассажиров. Следовательно, при определении числа эскалаторных лент необходимо учитывать размеры пассажиропотоков по направлениям движения в каждом конкретном случае. Ориентировочно можно рекомендовать трехленточный эскалатор при пассажирообмене от 12—15 тыс. до 18—20 тыс. пассажиров/ч и четырехленточный и более — при пассажирообмене свыше 20 тыс. пассажиров/ч.

Специальные расчеты показали, что провозная способность эскалатора в пределах скоростей движения от 0,75 до 1 м/с практически не зависит от них и лимитируется в основном пропускной способностью входной площадки. Действительно, провозная способность эскалатора на станции Киевская за 1 мин при скорости 0,75 м/с колебалась в пределах 156—210 пассажиров, а при 0,94 м/с — в пределах 156—187; на станции Площадь Революции — соответственно 145—197 и 156—201. За 5 мин при малой скорости она

составила максимум 951 (Киевская) и 924 чел. (Площадь Революции), а при большой 894 и 956 чел. Установлена и некоторая зависимость этих колебаний от характера пассажиропотока. На основании дальнейших дополнительных эксплуатационных испытаний принято, что с повышением скорости эскалатора его провозная способность хотя и незначительно, но повышается.

Чтобы определить необходимые линейные размеры распределительного зала и пассажирских платформ, целесообразно для промежутка времени, равного минимальному интервалу движения поездов, построить картину пространственного распределения пассажиропотоков (см. рис. 19). Ширина платформы при этом определится зависимостью

$$b = \frac{[(B-y) + A] \alpha_B}{\rho_{\text{доп}} l_{\text{п}}},$$

где  $B, A$  — соответственно максимальная за интервал высадка и посадка пассажиров в поезд при минимальном интервале движения;

$y$  — число пассажиров, успевших уйти за пределы длины поезда в течение времени высадки;

$\rho_{\text{доп}}$  — допустимая плотность скопления пассажиров на платформе в момент окончания высадки (посадка еще не началась), пассажиров/м<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{доп}} \geq 3$  пассажира/м<sup>2</sup>, или  $\delta_{\text{доп}} = 0,33$  м<sup>2</sup>/пассажира;

$l_{\text{п}}$  — длина поезда, м;

$\alpha_B$  — коэффициент неравномерности пассажирообмена вагонов поезда.

Плотность потока движущихся пассажиров в расчетном сечении платформы определяют по формуле

$$\rho_{\text{дв}} = \frac{p}{1000 v_x b_c},$$

где  $p$  — мощность движущегося потока в расчетном сечении, пассажиров/ч;

$v_x$  — скорость пешего передвижения пассажира, км/ч;

$b_c$  — ширина сечения, м.

Допустимая плотность  $\rho_{\text{дв}} = 1,0 \div 1,1$  пассажира/м<sup>2</sup>, или  $\delta_{\text{дв}} = 1,0 \div 0,9$  м<sup>2</sup>/пассажира.

Пилоны на станциях должны занимать минимальную площадь. Лучше, если их совсем не будет. Это удобно пассажирам и отвечает архитектурно-эстетическим требованиям к подземным сооружениям, предназначенным для скопления большой массы людей.

## У. ГРАФИК И РАЗМЕРЫ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ

### 1. Размеры движения на городском транспорте

В работе метрополитена повседневно возникает вопрос, следует ли изменять существующие размеры движения, и если да, то когда и какими методическими приемами следует пользоваться, чтобы обосновать принимаемое решение. Почасовые размеры движения поездов принято определять по формуле:

$$N_{\text{дв}} = \frac{p^{\text{max}}}{n m},$$

где  $p^{\text{max}}$  — пассажиропоток на лимитирующем перегоне, пассажиров/ч;

$n$  — состав поезда;

$m$  — вместимость вагона.

Пассажиропотоки  $p^{\text{max}}$  устанавливают по материалам последнего талонного обследования. В период между талонными обследованиями их корректируют экстраполированием на основании почасового подсчета количества входящих и выходящих из метро пассажиров. Но, как уже было сказано ранее, талонные обследования проводятся слишком редко и лишь по рабочим дням. Следовательно, никаким экстраполированием нельзя установить параметр  $p^{\text{max}}$  в субботние, праздничные, воскресные и праздничные дни. А главное, величину  $p^{\text{max}}$  нельзя определить посредством почасовых учетов пассажиропотоков.

В основу определения  $N_{\text{дв}}$  также положено предположение, что все вагоны в поездах заполняются равномерно. Это допущение не только не отражает, а наоборот, скрывает наиболее напряженные моменты в работе линий. Вместе с тем необходимо стремиться предоставить необходимые удобства всем пассажирам, в каком бы вагоне они ни ехали. Отсюда следует, что при установлении потребных размеров движения поездов нельзя исходить из среднечасового теоретического норматива наполнения вагонов. Необходим учет фактически складывающейся ситуации в организации пере-

возок на линии. И наконец, число вагонов в поезде  $n$  не обособляется и не сочетается с частотой движения поездов.

Недостатки расчета по данной формуле следующие. Невозможно установить целесообразные размеры движения поездов по часам всех календарных дней недели, а также дней массовых перевозок и рациональный состав поезда. Принимаемые среднечасовые величины  $m$  не только не отражают, а, наоборот, затушевывают трудности в перевозках, не отвечая тем самым интересам и требованиям пассажиров, — результаты не соответствуют фактическим запросам на перевозки. Нельзя учесть планировочные особенности станций и разработать организационные и технические мероприятия для дальнейшего повышения культуры обслуживания пассажиров. В качестве лимитирующего принимается перегон с максимальной загрузкой, в то время как наиболее заполняемый вагон в поездах (наиболее трудное положение с перевозками) может оказаться на других перегонах. Талонный метод и почасовой учет пассажиропотоков не дают необходимых и достаточных данных для организации перевозок и движения поездов.

Таким образом, установившаяся практика определения размеров движения не отражает интересов пассажира, совокупность которых выражается в закономерностях распределения пассажиропотоков, и это понуждает решать вопрос субъективно.

Рассмотрим опыт определения размеров движения на других видах транспорта. На железных дорогах размеры движения пригородных поездов определяются пассажирскими потоками и нормой вместимости состава, которые находятся в определенной взаимозависимости. Если мощность пассажиропотока в  $l$  ч  $p$ , вместимость состава  $M$ , то размеры движения

$$N_{\text{дв}} = \frac{p}{M}.$$

Величина  $p$  берется из плана пассажироперевозок. По данным кривой таблицы строят диаграмму пассажиропотоков в каждом направлении, из которой определяют мощность пассажиропотоков по направлениям и зонам движения  $P$ . Величина  $M$  — сумма вместимости всех вагонов поезда. При этом предполагают, что в часы наибольшего движения используются не только места для сидения, но часть пассажира едет и стоя; в остальные часы суток — только

места для сидения. Таким образом, размеры движения поездов определенного состава, обычно не изменяющегося в течение суток, в пригородном сообщении определяют для каждого часа. Частоту движения для каждой зоны рассчитывают по лимитирующему перегону, по которому в одном направлении проезжает в течение расчетного часа наибольшее число пассажиров  $p^{\text{max}}$ . В основе расчетов при зонном параллельном и непараллельном графиках формула

$$N_{\text{дв}} = \frac{p^{\text{max}}}{A_{\text{п}} \alpha},$$

где  $A_{\text{п}}$  — вместимость поезда (число мест для сидения);  
 $\alpha$  — коэффициент увеличения наполнения поезда стоящими пассажирами — отношение максимально допустимого наполнения поезда, принимаемого волевым порядком, к числу мест для сидения; обычно  $\alpha = 1,50$ .

Многие особенности распределения пассажиропотоков отражены в формуле через параметр  $p^{\text{max}}$ , однако анализ формулы позволяет выявить следующие недостатки данной методики. Размеры движения соответствуют мощности пассажиропотока  $p^{\text{max}}$  лишь при равномерном распределении по различным вагонам поезда и равномерном поступлении пассажиров на линию в течение расчетного часа, достаточной обоснованности коэффициента  $\alpha$ . Но эти предположения не соответствуют действительности. Таким образом, методики определения размеров движения на метрополитенах и в пригородном железнодорожном сообщении аналогичны и имеют в основном общие недостатки. Воспользоваться таким опытом невозможно.

В определенной мере полезен опыт городского транспорта. Управлением пассажирского транспорта Москвы разработан графоаналитический способ расчета использования подвижного состава, который применяется при текущем и перспективном планировании работы. Основан он на материалах опросных или визуальных (силуэтных) обследований пассажиропотоков на максимально напряженных перегонах маршрутной сети трамвая, троллейбуса и автобуса. Опросным обследованием определяют структуру пассажирского потока на рассматриваемом маршруте, число вошедших и вышедших пассажиров на каждом остановочном пункте и проезжающих по перегонам, а также среднюю дальность поездки и коэффициент неравномерности наполнения салонов. Почасовую потребность в подвижном соста-

ве для движения на маршруте и освоения перевозок определяют, учитывая наравне с другими и такие параметры, как допустимая вместимость одного экипажа, коэффициент внутрисуточной неравномерности (в условиях Москвы в часы пик 1,22—1,27), период (не менее интервала между экипажами), за который представлена информация о величине пассажирского потока в одном направлении на максимально напряженном перегоне, время оборота на маршруте. Известна и эмпирическая формула определения потребности в подвижном составе в приведенных единицах (исходя из объема перевозок за 1 ч пик):

$$П_c = \frac{П k_M k_B k_H (1 - k_0)}{ДВ_H k_p k_T k_H},$$

- где  $П$  — объем перевозок пассажиров по годовому плану;  
 $k_M$  — коэффициент максимальных перевозок за 1 ч пик (отношение максимальных перевозок за 1 ч пик к среднесуточной перевозке по годовому плану);  
 $k_B$  — временной коэффициент — отношение времени, необходимого для полного оборотного рейса, к 60 мин (1 ч);  
 $k_H$  — коэффициент неравномерности перевозки пассажиров по направлениям движения и наполняемости подвижного состава на отдельных перегонах;  
 $k_0$  — коэффициент оперативности (маневренности) — отношение суммарного числа машин, направляемых с одного маршрута на другой, когда максимальные перевозки не совпадают по времени, к среднему списочному числу машин;  
 $Д$  — число календарных дней в году;  
 $В_H$  — нормативная вместимость машины, принятой за единицу приведения (5 чел. на 1 м<sup>2</sup> свободной площади пола при занятых местах для сидения);  
 $k_p$  — коэффициент регулярности движения;  
 $k_T$  — коэффициент технической готовности парка;  
 $k_H$  — коэффициент пересадочности пассажиров.

Таким образом, на городском транспорте учитывают все факторы, влияющие на режим работы подвижного состава. Применяемый на метрополитенах метод расчета  $N^{max}$ , а также опыт других видов транспорта свидетельствует о том, что необходимо разрабатывать новые методы установления рациональных размеров движения для освоения перевозок пассажиров. В настоящее же время в зависимости от конечных целей и наличия тех или иных данных в каждом конкретном случае рекомендуется применять один из следующих трех методов расчета размеров движения.

## 2. Методы определения размеров движения на метрополитене

Оперативная корректировка размеров движения на эксплуатируемых линиях. Для эксплуатируемых линий необходимые размеры движения поездов целесообразно определять оперативно, приводя существующие размеры движения  $N_c = N_{дв}$  в соответствие со сложившимися пассажирскими потоками. Аналитически задачу решают по формуле

$$N_H = N_c \beta',$$

графически — по универсальной номограмме (рис. 37), которая применима для широкого диапазона условий работы линий. Значения  $N_c$  известны из действующего графика движения,  $m_{ф(15)}^{max}$  определяют либо специальными повагонными натурными обследованиями, либо приблизительно — простыми визуальными подсчетами. Например, установлено, что в течение 15 мин — с 8 ч до 8 ч 15 мин — по лимитируемому перегону, где наполнение вагонов самое высокое, прошло 7 поездов ( $N_c = 30$ ). Наполнение пиково-



Рис. 37. Номограмма для оперативной корректировки размеров движения поездов на эксплуатируемых линиях метрополитена

го вагона № 2 в них 190, 200, 210, 220, 240, 200, 210 пассажиров. Их средняя арифметическая

$$m_{\Phi(15)}^{\max(1)} = \frac{190+200+210+220+240+200+210}{7} = 210$$

пассажиров/ваг.

Аналогично находят для остальных трех 15-минутных периодов  $m_{\Phi(15)}^{\max(2)} = 200$ ,  $m_{\Phi(15)}^{\max(3)} = 178$  и  $m_{\Phi(15)}^{\max(4)} = 196$  пассажиров/ваг, а также

$$m_{\Phi}^{\max} = \frac{210+200+178+196}{4} = 196.$$

Далее

$$k_{15} = \frac{m_{\Phi(15)}^{\max(1)}}{m_{\Phi}^{\max}} = \frac{210}{196} = 1,07.$$

$$\text{При } m_{\text{доп}}^{\max} = m_{\Phi}^{\max} = 150 \quad \beta = \frac{m_{\Phi(15)}^{\max}}{m_{\text{доп}}^{\max}} =$$

$$= \frac{m_{\Phi}^{\max} k_{15}}{m_{\text{доп}}^{\max}} = \frac{196 \cdot 1,07}{150} = 1,40.$$

Искомые размеры движения  $N_{\Pi} = N_{\text{с}} \beta = 30 \cdot 1,40 = 42$  поездов/ч, т. е. существующие размеры  $N_{\text{с}}$  следует увеличить на 12 поездов/ч. При этом ни в одном вагоне, ни на каком перегоне фактическое наполнение вагона в течение более 15 мин расчетного часа не будет превышать 150 пассажиров.

Графическое решение другого варианта задачи показано и на номограмме. При необходимости можно решать и так называемые обратные задачи.

Например, известны  $N_{\Pi} = N^{\max} = 38$  ( $N^{\max}$  — реализованная пропускная способность линии);  $N_{\text{с}} = 24$ ;  $m_{\text{доп}}^{\max} = 120$ ;  $m_{\Phi}^{\max} = 140$ .

Определим  $k_{15}$  и  $m_{\Phi(15)}^{\max}$ .

На номограмме, проведя две встречные линии:  $N_{\Pi} = 38 \rightarrow N_{\text{с}} = 24 \rightarrow k_{15}$  и  $m_{\Phi}^{\max} = 140 \rightarrow m_{\text{доп}}^{\max} = 120 \rightarrow k_{15}$  до пересечения, получим  $k_{15} = 1,40$ , откуда  $m_{\Phi(15)}^{\max} = m_{\Phi}^{\max} k_{15} = 140 \cdot 1,40 = 196$  пассажиров/ваг.

Достоинства метода следующие:

минимальное число параметров в формуле (требуются лишь данные  $m_{\Phi}^{\max}$  и  $k_{15}$  на лимитирующем перегоне, что можно получить обследованиями одного вагона);

наиболее высокая (по сравнению с другими методами) оперативность и минимальные затраты на получение необходимых данных;

ориентировка на разработку мероприятий по сглаживанию внутрисезонных неравномерностей;

возможность ежедневного контроля за положением на линии с минимальными затратами времени и средств.

Недостатки:

позволяет выявить лишь ограниченный круг мероприятий по совершенствованию перевозок;

нельзя использовать для проектируемых линий, а также определить оптимальный состав поезда.

Главное назначение метода — оперативное корректирование  $N_{\text{с}}$  на эксплуатируемых линиях и разработка мероприятий по уменьшению  $k_{15}$ .

Расчет по загрузке лимитирующего перегона. Размеры движения можно определять и по загрузке лимитирующего (критического) перегона, несмотря на то, что она может оказаться меньше максимальной на линии.

Аналитически задачу решают по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{p^{\max} k_{\text{в}} k_{15}}{m_{\text{доп}}^{\max} n},$$

где  $n$  — число вагонов в поезде,

а графически — по номограмме (рис. 38). Значения  $p^{\max}$  можно определить талонным или оперативным обследованием пассажиропотоков. Для нахождения  $k_{\text{в}}$  обязательно повагонное натурное обследование. Величину  $k_{15}$  получают по материалам оперативных обследований.

Приведем пример расчета. Известно, что на Киевском метрополитене с 8 до 9 ч лимитирующий (с  $m_{\Phi(15)}^{\max}$ ) перегон Арсенальная—Крещатик:

$p^{\max} = 14\,700$  пассажиров/ч;  $k_{\text{в}} = 1,20$ ;  $k_{15} = 1,17$ ;  $n = 5$  вагонов. Определим при  $m_{\text{доп}}^{\max} = 170$  пассажиров/ваг

$$N_{\Pi} = \frac{14\,700 \cdot 1,20 \cdot 1,17}{170 \cdot 5} = 24,3 \text{ поезда/ч.}$$

Графическое решение аналогичного примера показано на номограмме штриховой линией.

Обратная задача. Дано:  $N_{\Pi} = N^{\max} = 36$ ;  $p^{\max} = 14\,700$ ;  $k_{\text{в}} = 1,25$ ;  $k_{15} = 1,32$ ; определим при  $m_{\text{доп}}^{\max} = 120$  пассажиров/ваг

$$n = \frac{p^{\max} k_{\text{в}} k_{15}}{N_{\Pi} m_{\text{доп}}^{\max}} = \frac{14\,700 \cdot 1,25 \cdot 1,32}{36 \cdot 120} = 5,6 \approx 6 \text{ вагонов.}$$

Достоинства метода:

учитывает большее по сравнению с предыдущим число факторов;

можно определить пропускную способность  $N_{\Pi}$  и  $N^{\max}$  проектируемых линий при заданных значениях остальных параметров;

достаточно проведение повагонных обследований пассажирских потоков в одном направлении движения;

позволяет найти оптимальный состав поезда и выявить некоторые мероприятия для совершенствования перевозок (например, достижения более равномерного повагонного распределения пассажиров и др.).

Недостатки:

большее число параметров требует специальных обследований во всех вагонах поезда;

учитывает не все факторы перевозок и пассажирских потоков (например, их распределение по направлениям и перегонам), что не позволяет разрабатывать рекомендации проекторочного и градостроительного характера.

Главное назначение метода — организация перевозок пассажиров на эксплуатируемых линиях.

**Универсальный метод.** Обычно на каждой линии могут быть известны данные о почасовых перевозках в любой день недели. Их легко получить подсчетом пассажиров, входящих в метро, используя показания счетчиков автоматических контрольных пунктов, или по выручке платы за проезд. Поэтому практически важно уметь определять необходимый выпуск подвижного состава на линии по количеству перевозимых или подлежащих перевозке пассажиров. Аналитическая формула

$$N_{\Pi} = \frac{A_{\text{ул}} \cdot l_{\text{ср}}^{\text{ул}} \cdot k_{\Pi} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{15}}{2L_{\text{в}} \cdot n \cdot m_{\text{доп}}^{\text{max}}}$$

основана на данных о размерах перевозок пассажиров  $A_{\text{ул}}$  (включая бесплатные перевозки). Графически уравнение решают по номограмме (рис. 39). Произведение четырех коэффициентов неравномерностей пассажиропотоков — итоговый показатель общей неравномерности распределения пассажиров  $k_0$  — можно найти по номограмме (рис. 40). Чтобы получить  $A_{\text{ул}}$ , достаточно провести почасовой учет пассажиров, входящих в метро на всех станциях линии. Остальные данные лучше всего получить оперативным повагонным обследованием пассажиропотоков.

**Пример.** При ожидаемых и заданных:  $A_{\text{ул}} = 60\,000$ ;  $l_{\text{ср}}^{\text{ул}} = 5$  км;  $k_{\Pi} = 1,5$ ;  $k_{\text{в}} = 1,4$ ;  $k_{\text{п}} = 1,3$ ;  $k_{15} = 1,2$ ;  $L_{\text{в}} = 15$  км;  $m_{\text{доп}}^{\text{max}} = 170$ ;  $n = 6$  для проектируемой линии требуется

$$N_{\Pi}^{\text{max}} = \frac{60\,000 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 1,4 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{2 \cdot 15 \cdot 170 \cdot 6} = 34,4 \text{ поезда/ч.}$$

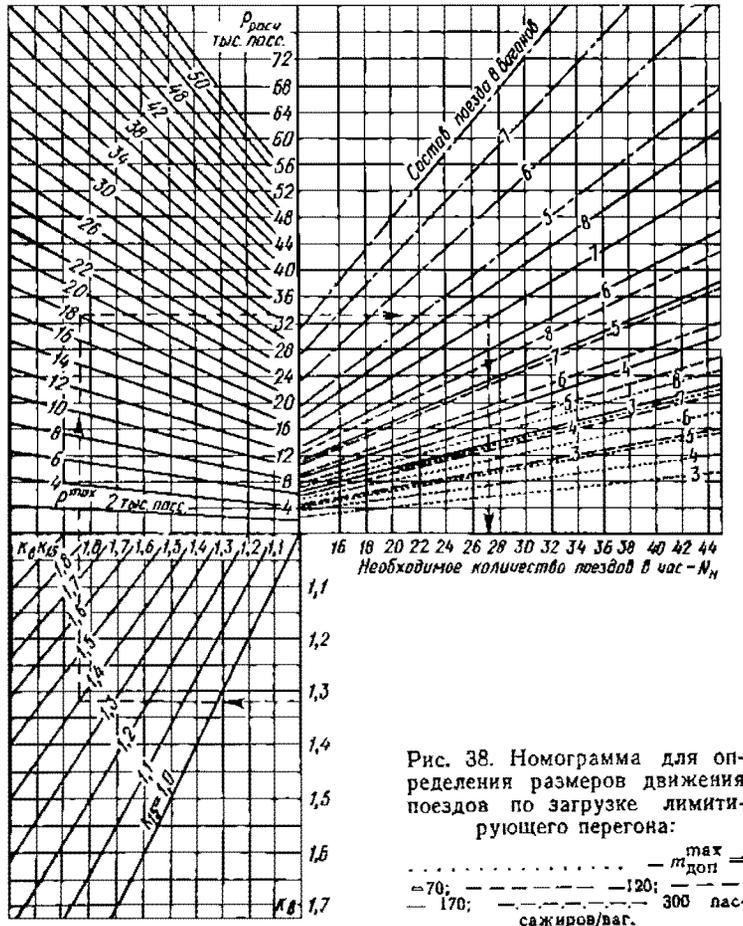


Рис. 38. Номограмма для определения размеров движения поездов по загрузке лимитирующего перегона:

..... —  $m_{\text{доп}}^{\text{max}} = 70$ ;  
 - - - - - —  $m_{\text{доп}}^{\text{max}} = 120$ ;  
 — 170; — 300 пас- сажиров/ваг.

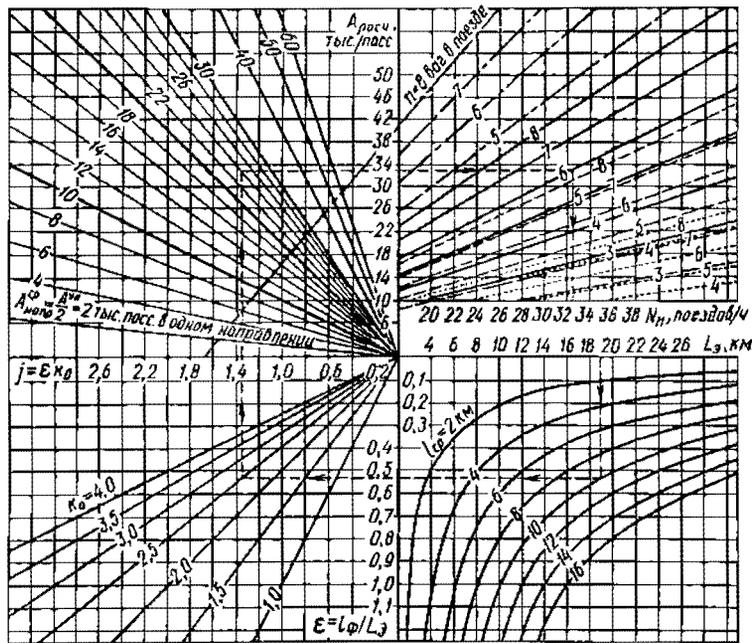


Рис. 39. Универсальная номограмма для определения размеров движения поездов (обозначения те же, что на рис. 38)

**Обратная задача.** Чтобы определить, например, длину платформ на проектируемых станциях, необходимо найти  $n$ . При заданной  $N^{\max} = 40$  поездов/ч и прочих прежних данных

$$n = \frac{60\,000 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 1,4 \cdot 1,3 \cdot 12}{40 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 170} = 5 \text{ вагонов.}$$

Преимущества метода по сравнению с предыдущими: более полно учитывает условия перевозки пассажиров и распределения существующих пассажирских потоков; применим для определения  $N_n$  и  $N^{\max}$  на проектируемых линиях;

позволяет выявлять и разрабатывать наиболее эффективные мероприятия по улучшению организации перевозок, реконструкции и проектированию метрополитенов.

Недостаток метода — необходимость систематических обследований пассажиропотоков в обоих направлениях движения, но это компенсируется улучшением перевозок пассажиров, а также повышением эффективности эксплуатации и проектирования метрополитена. Не исключена возможность, что в дальнейшем с накоплением опыта расчет можно будет выполнять без оперативных обследований.

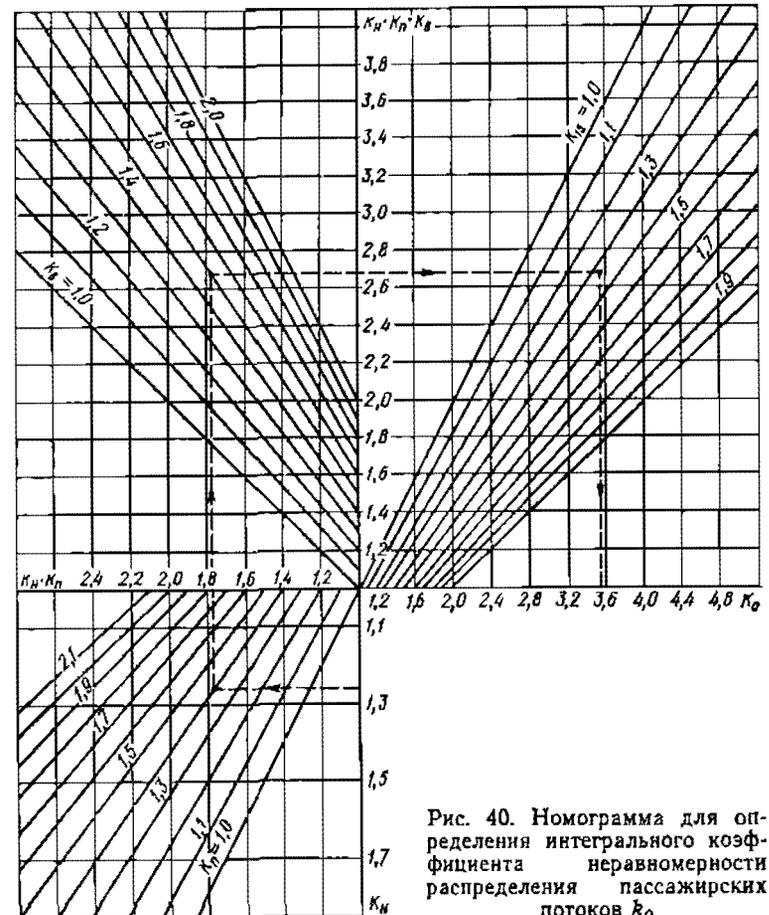


Рис. 40. Номограмма для определения интегрального коэффициента неравномерности распределения пассажирских потоков  $k_0$

### 3. Построение графика движения

Безопасное и точное следование поездов с высокими скоростями, своевременный осмотр и ремонт подвижного состава обеспечивает четкий, заранее разработанный план эксплуатационной деятельности метрополитена — график движения (рис. 41). Он представляет собой последовательность занятия перегонов поездами, выдачи и приема составов из депо и в депо, время отправления и прибытия их на каждой станции, продолжительность стоянок, оборотов и отстоев.

Теория и принципы построения графика движения поездов достаточно подробно изложены в специальной литературе. Следует лишь отметить, что на метрополитене графики и способы их построения имеют специфические особенности, что объясняется высокой частотой и секундной точностью движения и требует слаженности и исключительной оперативности в работе всех подразделений. График

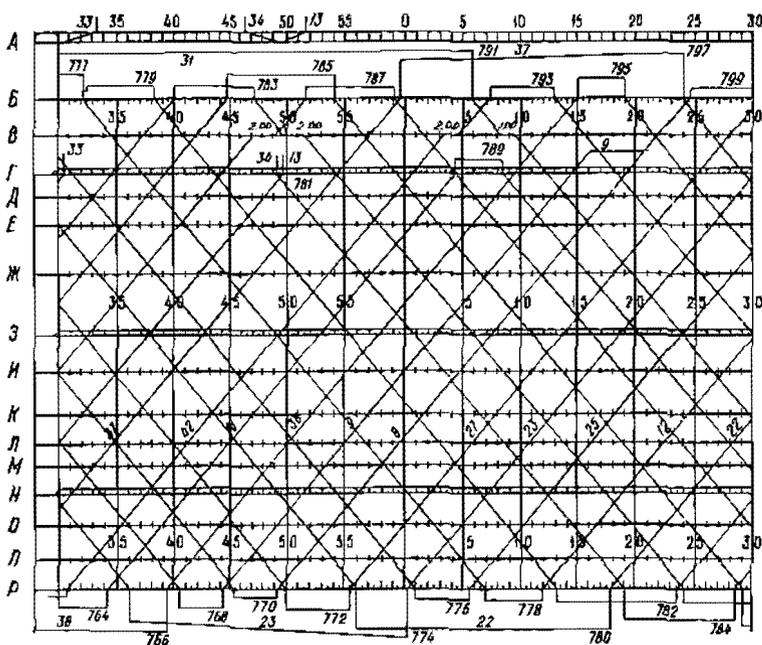


Рис. 41. Фрагмент графика движения

движения — закон для работников метрополитена. Он должен обеспечить:

- быстрое и удобное перемещение пассажиров;
- безопасность движения поездов как по перегонам, так и на станциях;
- наивыгоднейшую скорость движения поездов;
- наилучшее использование подвижного состава;
- согласованность в работе станций и прилегающих к ним участков.

График строят на специальном бланке из плотной бумаги с сеткой определенного формата для пассажирских и хозяйственных поездов. Движение поездов на сетке изображают прямой линией (ее называют ниткой). Проекция этой линии на горизонтальную ось равна (в принятом масштабе) времени хода поезда по данному участку. Момент отправления (прибытия) поезда с начальной и промежуточной станций соответствует точке пересечения линии хода с осью станции.

Нумерация пассажирских поездов зависит от направления движения (нечетное 1, 3, 5 и т. д. и четное 2, 4, 6 и т. д.) и количества пропускаемых в течение суток составов. У дополнительных поездов к основному номеру добавляют слово «бис». Составы, выпущенные из ремонта, или новые, прибывшие с заводов, обкатывают на линии без пассажиров. Их называют обкаточными. Составы, следующие без пассажиров из депо или возвращающиеся в депо, называются резервными, а передаваемые с одной линии на другую — передаточными (перегонными). Нумерация резервных поездов пятизначная (5101, 5201, 5301, 5401 и т. д.). Вторая цифра в номере 1, 2, 3, 4 и т. д. — номер линии. У перегонных, обкаточных и других резервных поездов, назначаемых диспетчером, нумерация тоже пятизначная, но на месте десятков стоит цифра 5 (5151, 5251, 5351, 5451 и т. д.). Номер поезда пишут на графике либо напротив линии хода, либо над (под) линией, обозначающей время станционного оборота на конечной станции.

Параллельный график — основной для метрополитена. Плановый график утверждает приказом начальник метрополитена. График исполненного движения отражает фактическое выполнение планового за данный отрезок времени на соответствующем участке. Для составления графика движения поездов необходимо иметь следующие данные:

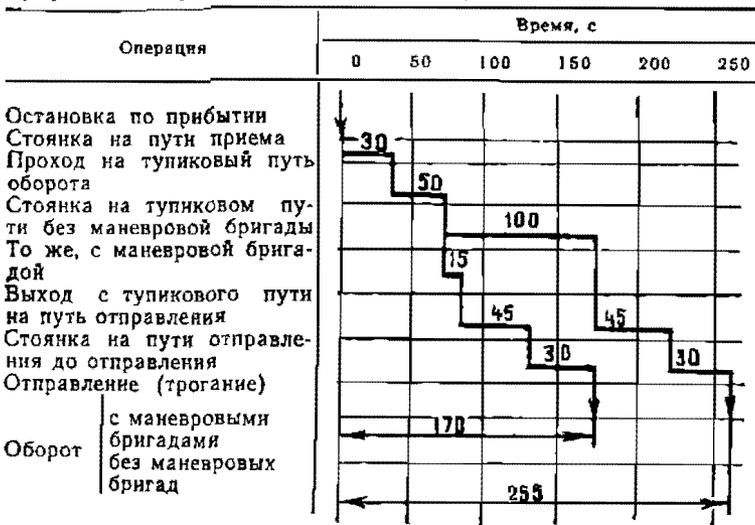


ратного направления увязать со станционными оборотами на конечной станции. Если депо находится не на конечной, а на промежуточной станции, нитки части поездов заполняют составами, выдаваемыми из этого депо. Желательно это делать не чаще чем через 2 нитки и ни в коем случае не подряд, так как в противном случае интервалы между поездами на конечной станции будут завышены; работникам депо также трудно выдавать составы с малым интервалом.

Переходя с одной частоты на другую, более высокую, дополнительные составы берут обычно из депо или с тех станций, где составы стоят после ночевки. Естественно, сначала отправляют составы, которые находятся в оборотном тупике. Далее используют составы, стоящие в других местах, в зависимости от схемы путевого развития. При малой частоте движения (до 30 пар/ч) допускается нерегулярность движения поездов до 1 мин, при большей частоте пределы колебания интервалов между поездами 5—15 с.

Когда пассажиропоток спадает, лишние нитки поездов требуется снять. В этом случае часть составов ставят в отстой на линии или отправляют в депо. Это делают, так же как и при выдаче составов, не чаще чем через 2 нитки и ни в коем случае не подряд, даже если их ставят на разные

График № 1 обработки составов при обороте на конечных станциях



станции. График предусматривает систематический осмотр вагонов. На это время выдают из депо дополнительные составы. Иногда при переходе с одной частоты движения на другую изменяют время хода поездов на линии. Это надо учитывать при их прокладке, ориентируясь на минимально допустимый интервал прибытия на станцию назначения.

Последние пассажирские поезда отправляют с начальной станции так, чтобы пассажир вошедший в метро после закрытия станции, успел пройти на платформу для посадки в поезд. Последний поезд всегда проходит по всему участку — от начальной станции до конечной. На графике могут быть проложены нитки и еще для нескольких поездов, но следовать они должны, как правило, резервом без пассажиров на расстановку в середине участка.

#### 4. Показатели графика

Показатели графика движения поездов рассчитывают на основании нормативного или исполненного графика за анализируемые сутки.

Количество пассажирских поездов, пропускаемых за сутки, — сумма поездов четного и нечетного направлений

$$N_{\text{пасс}} = (N_{\text{ч}(1)} + N_{\text{ч}(2)} + \dots + N_{\text{ч}(n)}) + (N_{\text{нч}(1)} + N_{\text{нч}(2)} + \dots + N_{\text{нч}(k)}), \text{ или}$$

$$N_{\text{пасс}} = \sum_{n=1}^n N_{\text{ч}(n)} + \sum_{k=1}^k N_{\text{нч}(k)},$$

где 1, 2, ..., n — группы поездов с одинаковыми расстояниями пробега в четном (n групп) и нечетном (k групп) направлениях;

$N_{\text{ч}(1)}, \dots, N_{\text{ч}(n)}$  — число поездов в группах 1, 2, ..., n в четном направлении движения;

$N_{\text{нч}(1)}, \dots, N_{\text{нч}(k)}$  — то же, в группах 1, 2, ..., k в нечетном направлении движения.

Пробег пассажирских поездов в поездо-километрах — сумма пробегов за сутки поездов всех групп четного и нечетного направлений движения

$$W_{\text{пасс}} = (N_{\text{ч}(1)} l_{\text{ч}(1)} + N_{\text{ч}(2)} l_{\text{ч}(2)} + \dots + N_{\text{ч}(n)} l_{\text{ч}(n)}) + (N_{\text{нч}(1)} l_{\text{нч}(1)} + N_{\text{нч}(2)} l_{\text{нч}(2)} + \dots + N_{\text{нч}(k)} l_{\text{нч}(k)}),$$

$$\text{или } W_{\text{п пасс}} = \sum_{n=1}^{\kappa} (Nl)_{\text{ч } (n)} + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} (Nl)_{\text{нч } (\kappa)},$$

где  $l_{\text{ч}(1)}, l_{\text{ч}(2)}, \dots, l_{\text{ч}(n)}$  и  $l_{\text{нч}(1)}, l_{\text{нч}(2)}, \dots, l_{\text{нч}(\kappa)}$  — путь, проходимый поездами из  $n$  и  $\kappa$  групп поездов; исчисляется по расстояниям между осями конечных станций без учета оборота.

Пробег вагонов с пассажирами в вагоно-километрах — произведение пробега пассажирских поездов при не изменяющейся в течение суток составности  $W_{\text{п пасс}}$  на число вагонов в поезде (составности поезда)  $n$

$$W_{\text{в пасс}} = W_{\text{п пасс}} n.$$

Если в течение суток составность поездов меняется (секционирование составов), то пробег вагонов с пассажирами определяется произведением пробегов в поезде-километрах каждой из групп поездов на соответствующее число вагонов в них.

Пробег порожних вагонов, или нулевой пробег, в вагоно-километрах — произведение чисел порожних составов, вагонов в поезде  $n$  и соответствующих расстояний их пробогов:

$$W_0 = N_{\text{об}} n l_{\text{об}} + N_{\text{рез}} n l_{\text{рез}} + N_{\text{депо}} n l_{\text{депо}},$$

где  $N_{\text{об}}$  — число составов, оборачиваемых по станционным путям;

$l_{\text{об}}$  — расстояние, проходимое составом при обороте по станционным путям;

$N_{\text{рез}}$  — число резервных — следующих без пассажиров — поездов;

$l_{\text{рез}}$  — расстояние пробега одного поезда;

$N_{\text{депо}}$  — число составов, заходящих в депо и выдаваемых из депо;

$l_{\text{депо}}$  — расстояние, проходимое составом по соединительным и депо-ским путям и веткам при заходе в депо или выходе из него.

Общее время работы поездов на линии в поезде-часах — сумма произведений числа пассажирских поездов каждой  $n$  и  $\kappa$  группы на соответствующее время хода  $T$  с учетом стоянок на промежуточных станциях (время оборота составов не учитывается)

$$T_0 = [N_{\text{ч } (1)} T_{\text{ч } (1)} + N_{\text{ч } (2)} T_{\text{ч } (2)} + \dots + N_{\text{ч } (n)} T_{\text{ч } (n)}] + [N_{\text{нч } (1)} T_{\text{нч } (1)} + N_{\text{нч } (2)} T_{\text{нч } (2)} + \dots + N_{\text{нч } (\kappa)} T_{\text{нч } (\kappa)}],$$

$$\text{или } T_0 = \sum_{n=1}^{\kappa} (NT)_{\text{ч } (n)} + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} (NT)_{\text{нч } (\kappa)}.$$

Простой пассажирских поездов на промежуточных станциях в поезде-часах — сумма произведений числа поездов, останавливающихся на каждой промежуточной станции, на соответствующее время стоянок (стоянки на станциях оборота — составные элементы времени оборота составов):

$$T_{\text{ст}} = [N_{\text{ч } (1)} t_{\text{ст ч } (1)} + N_{\text{ч } (2)} t_{\text{ст ч } (2)} + \dots + N_{\text{ч } (n)} t_{\text{ст ч } (n)}] + [N_{\text{нч } (1)} t_{\text{ст нч } (1)} + N_{\text{нч } (2)} t_{\text{ст нч } (2)} + \dots + N_{\text{нч } (\kappa)} t_{\text{ст нч } (\kappa)}],$$

или

$$T_{\text{ст}} = \sum_{n=1}^{\kappa} (Nt)_{\text{ст ч } (n)} + \sum_{\kappa=1}^{\kappa} (Nt)_{\text{ст нч } (\kappa)}.$$

Время нахождения поездов в движении — разность между общим временем работы поездов  $T_0$  и временем их простоя на промежуточных станциях в поезде-часах  $T_{\text{ст}}$ :

$$T_{\text{дв}} = T_0 - T_{\text{ст}}.$$

Участковая скорость движения поездов  $v_0$  — скорость передвижения пассажиров — частное от деления пробега пассажирских поездов  $W_{\text{п пасс}}$  на общее время их работы  $T_0$

$$v_0 = W_{\text{п пасс}} : T_0.$$

Техническая скорость движения поездов определяется делением пробега пассажирских поездов  $W_{\text{п пасс}}$  на время нахождения их в движении  $T_{\text{дв}}$ :

$$v_{\text{тех}} = W_{\text{п пасс}} : T_{\text{дв}}.$$

Коэффициент скорости — отношение участковой скорости к технической

$$\beta_{0\text{т}} = v_0 : v_{\text{тех}}.$$

Этим коэффициентом удобно пользоваться для сравнения линий по скоростным характеристикам.

Эксплуатационная скорость

$$v_{\text{э}} = S_0 / T_0^n.$$

где  $S_0$  — общее расстояние, пройденное составом (полное показание спидометра), км;

$$S_0 = Rd + R_{\text{уч}} \kappa_{\text{уч}} + R_{\text{пр}};$$

$R$  — полный рейс состава, км;  
 $d$  — число совершенных за расчетный период (сутки, месяц, год) рейсов;  
 $R_{\text{уч}}$  — рейс состава на отдельных участках линии (например, при зонном графике), км;  
 $k_{\text{уч}}$  — число рейсов на участках линии;  
 $R_{\text{пр}}$  — прочие расстояния (от депо до станции, расстояния соединительных ветвей и др.), км;  
 $T_0^n$  — общее время пребывания состава на линии, ч:

$$T_0^n = T_R + T_{R_{\text{уч}}} + T_{\text{пр}};$$

$T_R$  — общее время рейсов или полных оборотов, ч;  
 $T_{R_{\text{уч}}}$  — время хода составов по участкам, ч;  
 $T_{\text{пр}}$  — все остальное время нахождения состава на линии, включая отстой на станциях, ч.

Подставив значения параметров  $S_0$  и  $T_0^n$  в формулу  $u_0$ , получим

$$u_0 = \frac{Rd + R_{\text{уч}} k_{\text{уч}} + R_{\text{пр}}}{T_R + T_{R_{\text{уч}}} + T_{\text{пр}}}.$$

Время полного оборота состава в минутах складывается из времени хода поезда по обоим направлениям движения расчетной линии  $t_{\text{ч}}$  и  $t_{\text{нч}}$  и времени оборота на обеих конечных станциях  $t_{\text{об}(1)}$  и  $t_{\text{об}(2)}$

$$O = t_{\text{ч}} + t_{\text{нч}} + t_{\text{об}(1)} + t_{\text{об}(2)}.$$

Среднесуточные размеры движения поездов получают делением числа пассажирских поездов, пропускаемых за сутки,  $N_{\text{пасс}}$  на время работы метрополитена (19 ч) и на 2 пути — для выражения показателя в парах поездов, что соответствует частоте движения поездов по каждому пути

$$N_{\text{сут}}^{\text{ср}} = N_{\text{пасс}} : 19 \cdot 2.$$

Число составов, выдаваемых на линию в течение суток,  $N_c^{\text{сут}}$  находят по графику движения поездов. Время нахождения составов на линии в составо-часах определяют по графику оборота, суммируя время работы на линии всех составов  $T_c(1)$ ,  $T_c(2)$ , ...,  $T_c(n)$

$$T_{\text{сч}} = T_c(1) + T_c(2) + \dots + T_c(n), \text{ или}$$

$$T_{\text{сч}} = \sum_{n=1}^n T_c(n).$$

Среднесуточный пробег вагона в вагоно-километрах находят делением общего пробега вагонов  $W_{\text{в}}$  на число составов, выдаваемых на линию в течение суток,  $N_c^{\text{сут}}$  и число вагонов в составе  $n$

$$W_{\text{в}}^{\text{ср}} = W_{\text{в}} : N_c^{\text{сут}} n.$$

Время хода поезда по каждому перегону и время стоянки его на каждой станции определяют по графику движения. Процент поездов, проследовавших по графику (за сутки, месяц, год), находят по формуле

$$\psi = (N_{\text{ф}} : N_{\text{гр}}) 100,$$

где  $N_{\text{ф}}$  — число поездов, фактически проследовавших по графику;  $N_{\text{гр}}$  — число поездов, предусмотренных графиком.

Точность выполнения графика движения поездов отражает общий уровень технической культуры в работе метрополитена. Проследовавшим по графику считается поезд, у которого на всем маршруте отклонение в прибытии и отправлениях на каждой станции и в следовании по перегонам в ту или иную сторону не превышает 15 с.

## 5. Нормы наполнения вагона

Утвержденных норм наполнения вагона, которыми бы руководствовались специалисты при решении различных задач планирования, проектирования и эксплуатации метрополитенов, нет. В технической литературе можно встретить максимально допускаемую норму 260, 250, 200, 170 и 120 пассажиров/ваг. СНиП предлагает 150 пассажиров/ваг, но эта норма средняя для всех вагонов поезда. Эксплуатационникам, конечно, крайне нужен норматив заполнения, который бы отражал прежде всего интересы пассажира. На практике пользуются следующими показателями:

среднее наполнение вагонов в поездах на всех перегонах линии, в том числе и на максимально, и на минимально загруженных, за 1 ч или сутки;

среднее наполнение вагонов за год на каждой линии и метрополитене;

расчетное наполнение вагона, принимаемое нормативными документами и равное 150 пассажиров/ваг (из расчета, что на 1 м<sup>2</sup> стоят 4,5 пассажира). Обычно этой величиной пользуются, не учитывая повагонную и внутрисуточную неравномерности распределения пассажиропотоков;

предельно допустимое наполнение вагона 250 пассажиров/ваг (8 пассажиров на 1 м<sup>2</sup> салона, свободного от мест для сидения).

Конечно, все эти усредненные показатели тоже практически необходимы. Они дают возможность, например, сравнить между собой метрополитены, линии, работу в разные часы. Тем не менее в расчетах требуемых размеров движения (частоты и составности поездов), фактической пропускной и провозной способностей станций, линий и других показателей этими нормативами пользоваться нельзя, так как результаты могут быть искажены. Они скрывают наиболее острые пиковые моменты в работе метрополитенов и дают ошибочные представления о качестве предоставляемых услуг и степени организованности работы различных служб, о возможностях в реализации резервов и повышении эффективности работы. Почему же на разных метрополитенах или линиях одного и того же метрополитена среднее (за год для всех дней, часов суток и вагонов в поездах) наполнение вагонов различно (Москва — 55,4 пассажира/ваг; Ленинград — 54,0; Киев — 62,4; Тбилиси — 49,5; Баку —

70,9; Харьков — 47,8; Ташкент — 52,3 пассажира/ваг). Этот показатель, получаемый делением годового пассажирооборота на пробег вагонов в вагоно-километрах, колеблющийся в течение всех лет эксплуатации метрополитенов в пределах 35—71 пассажир/ваг (рис. 44), может свидетельствовать только о благополучном обслуживании пассажиров: каждому из них в течение года всегда и везде предоставляется место для сидения. Но это далеко не соответствует действительности. Практически гораздо более важный и нужный показатель — фактическое наполнение каждого вагона в поездах

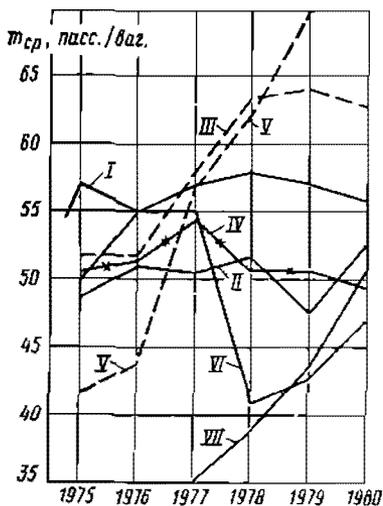


Рис. 44. Среднесуточное наполнение вагонов на метрополитенах: I — Москва; II — Ленинград; III — Киев; IV — Тбилиси; V — Баку; VI — Харьков; VII — Ташкент

в течение каждого 15-минутного периода. Это утверждение обосновывается двумя принципиальными положениями:

во-первых, пассажира интересуют условия (теснота) нахождения только в том одном вагоне, в котором он совершает поездку, а не средняя теснота в вагонах поезда например, в течение всего часа. Это необходимо всегда иметь в виду при организации перевозок, так как только для пассажира и существует метрополитен;

во-вторых, среднее время нахождения пассажира в вагоне поезда при каждом пользовании метрополитеном около 15 мин при  $l_{ср} = 8 \div 12$  км. Этот норматив утверждён соответствующими документами.

Различия в наполнении вагонов значительны как по часам суток, так и по различным линиям и перегонам. Так (табл. 26), при среднем в сутки наполнении 65,6 пассажира/ваг максимальная в течение 15 мин фактическая нагрузка в

Таблица 26

Наполнение вагонов в поездах Московского метрополитена, пассажир/ваг

Линия	В среднем за сутки		8—9 ч				17—18 ч			
	Минимально загруженный перетон	Линия	Максимально загруженный перетон	Минимально загруженный перетон	Линия	Максимально загруженный перетон		Минимально загруженный перетон	Линия	Максимально загруженный перетон
						$t_{ср}$	$t_{ф/15}$			
Кировско-Фрунзенская	37,1	66,3	106,3	30,0	99,7	165,4	178,9	34,9	84,2	141,6
Горьковско-Замоскворецкая	16,3	72,6	105,0	14,4	114,8	253,2	329,7	20,6	93,4	158,2
Арбатско-Покровская	14,5	62,8	97,0	9,5	72,5	172,5	208,3	14,8	79,7	132,3
Кольцевая	45,3	62,6	84,0	69,8	99,7	140,9	167,2	69,1	92,7	124,9
Филевская	21,2	42,7	64,8	17,4	63,3	147,5	190,5	14,9	47,5	84,2
Калужско-Рижская	28,8	72,2	101,6	8,2	113,9	220,0	281,0	13,3	84,3	146,8
Ждановско-Краснопресненская	10,7	67,7	106,4	5,6	106,4	226,9	284,0	8,2	84,4	163,8
Калининская	22,9	40,0	52,7	4,1	78,7	134,7	163,0	12,7	62,6	93,8
Метрополитен в целом	14,5	65,6	106,4	4,1	100,6	253,2	305,7	8,2	83,1	163,8

период с 8 до 9 ч составляет 329,7 пассажира/ваг, что в 5 раз, больше, а на минимально загруженном перегоне — 14,5 пассажира/ваг — в 4,5 раза меньше среднесуточной. Такой широкий диапазон колебаний показателя в течение суток требует и соответствующей подстройки под него размеров выпуска подвижного состава на линии по часам суток.

Большой разброс значений среднего наполнения вагона без учета  $k_b$  и  $k_{15}$  (за сутки от 42,7 до 72,6; с 8 до 9 ч от 63,3 до 113,9; с 18 до 19 ч от 47,5 до 93,4 пассажира/ваг) свидетельствует о неравных условиях, в которых находятся линии. Однако этот показатель не в полной мере характеризует культуру обслуживания пассажиров и работу метрополитена. Более важно максимальное наполнение вагона в поездах, в действительности допускаемое на каждой линии. А оно выше среднечасового теоретического  $m_T^{\max}$  в  $k_b \cdot k_{15}$  раз. Например, на Кировско-Фрунзенской линии с 8 до 9 ч среднечасовое наполнение  $m_T^{\max} = m_{cp} = 165,4$  пассажира/ваг (табл. 26). В действительности при  $k_b = 1,05$  и  $k_{15} = 1,03$  (данные оперативного обследования) максимальное наполнение вагонов:  $165,4 \cdot 1,05 \cdot 1,03 = 178,9$  пассажира/ваг, что превышает допустимую норму 150 пассажиров/ваг.

Из сказанного ясно, что необходим строжайший учет и контроль максимального наполнения вагонов в поезде, фактически допускаемого на линии в течение 15-минутного периода каждого часа работы. Практическая целесообразность этого заключается в том, чтобы понять природу данного явления, найти пути для снижения показателя, который прежде всего характеризует комфорт перевозок и организованность работы.

Следует различать следующие нормативы наполнения вагона: нормальное, допустимое и предельное. Какую норму следует считать нормальной? Проще всего за нее принять число пассажиров, соответствующее числу мест для сидения — 42—44. Но некоторые пассажиры по различным причинам (например, из-за кратковременности поездки и др.) предпочитают совершать поездки стоя даже при свободных местах для сидения (в среднем 2—3 чел. на каждую дверь — 8—12 на вагон). Тогда, как кажется на первый взгляд, можно принять в качестве нормы вместимость  $(42 \div 44) + (8 \div 12) = 50 \div 56$  пассажиров/ваг. При соответствующей этой норме подаче подвижного состава каждому пассажиру

будет предоставлена возможность совершать поездку сидя. Однако, как было показано ранее, различные вагоны в составе поезда заполняются пассажирами в значительной мере неравномерно и при наполнении одного вагона 50—56 пассажиров/ваг остальные вагоны будут полупустыми. Чтобы обеспечить равномерное распределение пассажиров по вагонам, целесообразно в поездах или на станциях устанавливать указатели (как на вагонах поездов Калининской линии в Москве) и световую сигнализацию о свободности и занятости мест для сидения, а также о степени наполнения вагонов (например, по массе вагона; принцип взвешивания испытывается в Киеве).

Учитывая это и принимая коэффициент неравномерности наполнения вагонов в поезде равным 1,32 (средний по метрополитену), нормальное наполнение вагона нужно определить как  $m_n = (50 \div 56) 1,32 = 66 \div 73$  пассажира/ваг. Принимаем  $m_n = 70$  пассажиров/ваг. При этой норме действительно каждому пассажиру будет предоставлено место для сидения, на что и следует ориентироваться при организации перевозок в любое время дня. При норме же  $m_n = 50 \div 56$  пассажиров/ваг среднее наполнение вагонов в поезде будет 38—43 пассажира/ваг. Понятно, что этим будет искусственно заложено недоиспользование провозной способности на 20—25%.

На всех видах городского транспорта почти во всех странах мира допустимая норма принята равной 5 пассажиров/м<sup>2</sup>, СНиП для метрополитенов — 4,5 пассажира/м<sup>2</sup>. При такой плотности пассажир не ощущает тесноты и относительно свободно может проходить в вагоне. Если загрузка вагона выше, пассажиры испытывают тесноту и неудобства от физических соприкосновений друг с другом.

Размеры вагонов различных типов (табл. 27) одни и те же (рис. 45). Отличаются друг от друга они планировкой пассажирского салона, размерами диванов и шириной дверей. По площади пола вагонов, свободной от диванов для сидения, расхождения незначительны (0,3 м<sup>2</sup>), и их не следует принимать во внимание при расчетах. Полная площадь пола вагона по внешнему обмеру  $S$  (с кабиной машиниста и стенами вагона) равна 51 м<sup>2</sup>. Полезная площадь пассажирского салона  $S_n = 42$  м<sup>2</sup>, или 82% от  $S$ . Пассажиры, едущие стоя, занимают  $S_{ст} = 24$  м<sup>2</sup>, сидящие  $S_{сид} = 42 - 24 = 18$  м<sup>2</sup>. Тогда норма допустимого наполнения вагона при максимально допустимой плотности  $\rho = 4,5$  пассажира-

Таблица 27

Продолжение табл. 27

## Характеристика подвижного состава отечественных метрополитенов

Показатель	Тип вагона						
	Г	Д	Е	В1-717 головной	В1-714 промежуточный	И 81-715 головной	И 81-716 промежуточный
Годы постройки	1946—1956	1956—1963	1963—1969	С 1977		Опытный	
Размеры вагона, мм:							
длина (по автоцепкам)	19 110	19 166	19 166	19 210	19 210	19 210	19 210
ширина (по подоконному поясу)	270	270	270	270	270	280	280
высота (над головкой рельса)	370	370	365	360	360	360	360
Ширина, см:							
дверного проема	114	112	138	136	136	136	136
открытых дверей	95	95	128	121	121	127	127
Полная площадь вагона (по внешнему обмеру), м <sup>2</sup>	50,7	50,7	50,9	50,8	50,8	53,1	53,0
Полезная площадь — площадь пассажирского салона (без кабины машиниста и стен), м <sup>2</sup>	42,0	42,0	42,0	41,4	45,5	43,5	47,9
Площадь пола, м <sup>2</sup> : для сидящих пассажиров	18,0	18,0	16,0	15,4	17,5	14,5	16,9
для стоящих пассажиров	24,0	24,0	26,0	26,0	28,0	29,0	31,0
Число мест: для сидения	44	44	42	42	44	42	44
для пассажиров, едущих стоя	106	106	130	130	126	130	136
Вместимость вагона при плотности: 4,5 пассажира/м <sup>2</sup>	150	150	170	170	170	170	180
8 »	240	240	250	250	250	270	290
10 »	280	280	300	300	300	330	350

Показатель	Тип вагона						
	Г	Д	Е	В1-717 головной	В1-714 промежуточный	И 81-715 головной	И 81-716 промежуточный
Масса пассажиров при максимальном наполнении вагона в зависимости от плотности, т:							
4,5 пассажира/м <sup>2</sup>	10,5	10,5	11,9	11,9	11,9	11,9	12,6
8 »	16,8	16,8	17,5	17,5	17,5	18,9	20,4
10 »	19,6	19,6	21,0	21,0	21,0	23,1	24,7
Масса вагона (без оборудования автоматического управления), т	43,7	36,2	33,0	34,0	33,0	31,0	29,0
Максимальная скорость, км/ч	75	75	90	90	90	100	100
Ускорение при пуске, м/с <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Замедление при экстренном торможении, м/с <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,3	1,0	1,0	1,3	1,3

ра/м<sup>2</sup> составит  $m_{\text{доп}}^{\text{max}} = 42 \div 44 + 24 \cdot 4,5 = 150 \div 152$  пассажира/ваг. Для более удобного пользования нормативом можно принять  $m_{\text{доп}}^{\text{max}} = 150$  пассажиров/ваг.

Эксплуатационников, помимо  $m_{\text{н}}$  и  $m_{\text{доп}}^{\text{max}}$ , интересует еще такой важный показатель, как вместимость вагона, которая определяет максимальную провозную способность линии. Предельное наполнение вагона, или вместимость  $m^{\text{max}}$ , обычно рассчитывают при  $\rho = 8$  пассажиров/м<sup>2</sup>. Для вагонов типов Г, Д и Е.

$$m^{\text{max}} = (42 \div 44) + 24 \cdot 8 = 234 \div 236 \text{ пассажиров/ваг.}$$

Округленно считают, что  $m^{\text{max}} = 250$  пассажиров/ваг, тогда на каждого стоящего пассажира приходится  $\psi = 0,125$  м<sup>2</sup> (31 × 40 см). Этот предельный показатель наполнения используют при определении максимальной провозной способности линии и для сравнения вагонов разных

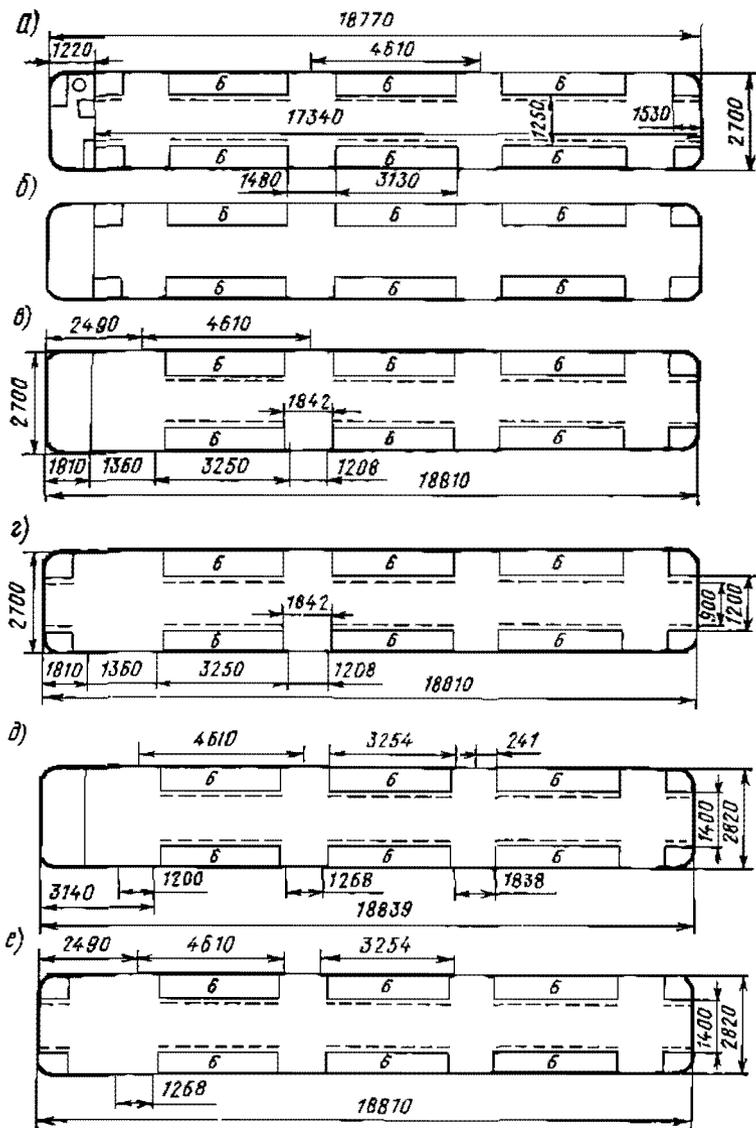


Рис. 45. Планировка вагонов типов:  
 а — Г и Д; б — Е; в — 81-717 — головной с кабиной управления; г — 81-714 — промежуточный; д — И (81-715) головной; е — И (81-716) — промежуточный

типов и разных видов транспорта, а также при проектировании и расчетах оборудования вагонов на запас прочности. Наполнение вагонов в 250 пассажиров/ваг и более недопустимо. Однако в часы массовых перевозок (например, при проведении футбольных матчей на стадионах, праздниках и др.) фактическое наполнение отдельных вагонов в поездах достигает в некоторых случаях 340 пассажиров/ваг ( $\rho = 12$  пассажиров/м<sup>2</sup>;  $\psi = 0,09$  м<sup>2</sup>/пассажира).

Различают следующие степени комфорта предоставляемых пассажирам услуг по нормам  $\rho$  — плотности в салоне максимально загружаемого вагона поезда:

I степень —  $\rho \leq 1$  пассажир/м — каждому пассажиру, желающему совершить поездку сидя, предоставляется место;

II степень —  $\rho = 2$  пассажира/м<sup>2</sup> — норма наполнения вагонов 100 пассажиров/ваг;

III степень —  $\rho = 3$  пассажира/м<sup>2</sup> — 130 пассажиров/ваг;

IV степень —  $\rho = 4$  пассажира/м<sup>2</sup> — 150 пассажиров/ваг;

V — степень —  $\rho = 5$  пассажиров/м<sup>2</sup> — 170 пассажиров/ваг.

Выражением высшей степени комфорта перевозок необходимо считать норму максимально заполненного вагона в поезде, соответствующую числу пассажиров, претендующих ехать сидя. Практика показывает, что часть пассажиров предпочитает стоять при наличии свободных мест. Поэтому в качестве такой нормы наполнения вагонов типов Г, Д и Е следует считать 70 пассажиров/ваг ( $\rho = 0,7$  пассажира/м<sup>2</sup>).

Выпуск подвижного состава на линию обычно выражается в виде почасового числа поездов определенного (неизменяемого в течение суток) состава. Соответствие выпуска пассажирским потокам характеризуется фактическим наполнением вагонов. Решающим для такой оценки служит вагон, в котором наполнение в течение пиковых 15 мин максимальное  $m_{ф(15)}^{max}$ . Именно этот один вагон в некоторых случаях перевозит до 40% пассажиров поезда, которые зачастую испытывают большие неудобства. При оценке степени освоения пассажирских потоков, следует учитывать, что:

в часы пик максимальное наполнение вагонов типов Г, Д и Е допускается 150 пассажиров/ваг ( $\rho = 4,5$  пассажира/м<sup>2</sup>);

не в часы пик все пассажиры должны получить место для сидения.

Показателем степени освоения перевозок служит отношение  $m_{\phi}^{\max}$  к  $m_{\text{доп}}^{\max}$ , где  $m_{\text{доп}}^{\max}$  — предельно допустимое в расчетах наполнение вагона. Назовем это отношение коэффициентом освоения пассажирских потоков и обозначим

$$\beta = \frac{m_{\phi(15)}^{\max}}{m_{\text{доп}}^{\max}} = \frac{m_{\phi}^{\max} k_{15}}{m_{\text{доп}}^{\max}}$$

При  $\beta > 1$  следует увеличивать существующие размеры движения поездов  $N_c$  или принимать другие меры к уменьшению  $m_{\phi(15)}^{\max}$  до  $m_{\text{доп}}^{\max}$ , если исчерпана пропускная способность линии. При  $\beta < 1$  следует стремиться переходить на следующую, более высокую степень комфорта перевозок.

В ИКТП при Госплане СССР считают, что в часы пик наполнение подвижного состава городского транспорта должно, а в перспективе и будет удовлетворять требованиям наиболее комфортабельного обслуживания пассажиров. Этого можно добиться при так называемой безразличной планировке пассажирского помещения и норме 3 чел. (сидящих или стоящих) на  $1 \text{ м}^2$  площади пола. При этом явление транспортной усталости практически отсутствует. На метрополитене снижение норм наполнения должно несколько опережать наземные виды массового городского транспорта, так как планировка вагонов на нем менее благоприятна для проезда пассажиров.

## 6. Рациональная длина поезда

Выпуск подвижного состава на линию определяется не только частотой движения поездов. Он в значительной мере зависит и от состава поезда, который сейчас не изменяется ни в течение суток, ни в течение более длительного (до нескольких лет) времени. Поэтому очень важно на каждой линии эксплуатировать поезда оптимального состава — с числом вагонов, максимально соответствующим пассажирским потокам. Один из наиболее актуальных вопросов, который находится в стадии научно-технического разрешения, — изменение составности поездов, а именно установление момента, когда на той или иной линии целесообразно перейти на постоянную эксплуатацию поездов другого,

увеличенного или уменьшенного состава.

Повагонное распределение пассажиропотоков показывает, что, как правило, увеличивать состав необходимо в тех случаях и в тот момент, когда в часы пик и в головных, и в хвостовых вагонах стабилизировалось примерно равное, но максимальное в поезде наполнение (тем более, если оно превышает максимально допустимое, принятое и утвержденное для данной линии). Этого следует ожидать при одностороннем торцовом расположении входов, выходов и переходов на большинстве станций, расположенных в пределах средней дальности поездки пассажиров данной линии (Жировско-Фрунзенская в Москве, например, где эксплуатация семивагонных составов оправдана). Наиболее важно это для линий с высокими коэффициентами неравномерности наполнения вагонов в составе поезда ( $k_v \geq 1,40$ ) и мало заполняемым головным или хвостовым (или обоими) вагоном, где целесообразно перейти на эксплуатацию поездов уменьшенного на один вагон состава (Кольцевая и Филевская линии в Москве) (рис. 46). При низких значениях  $k_v$  ( $k_v \leq 1,20$ ) и максимальном заполнении одного или обоих концевых вагонов может появиться целесообразность увеличения состава поезда (Ждановско-Краснопресненская линия в Москве).

К увеличению состава поезда надо подходить очень осторожно, так как это мероприятие требует больших капитальных затрат и сопровождается обычно значительным уменьшением степени использования провозной способности линии. Последнее объясняется тем, что при неизменной

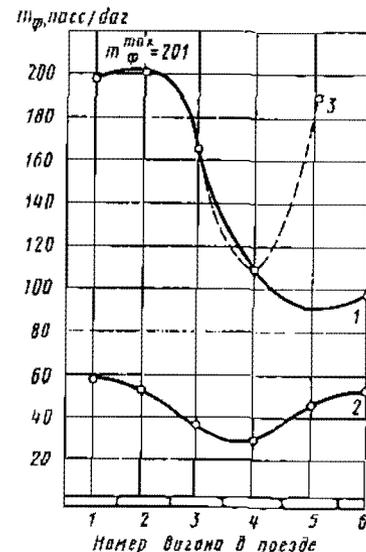


Рис. 46. Кривая наполнения вагонов на перегонках: 1 — фактического (6 вагонов) на лимитирующем перегоне; 2 — то же усредненно для всех перегонков; 3 — ожидаемого (5 вагонов) на лимитирующем перегоне

частоте движения уменьшается среднее наполнение вагонов в поездах, в то время как максимальное наполнение одного из вагонов остается практически постоянным, неизменным.

Можно привести пример подхода к определению оптимального состава поезда по сложившимся пассажирским потокам на Кольцевой линии Московского метро. На всех ее перегонах максимальное наполнение наблюдается (рис. 47 и 48) в хвостовых вагонах на I пути и головных — на II пути; в среднем оно равно 180—220 пассажиров/ваг. Наполнение остальных вагонов уменьшается по мере удаления от пикового и к головным, и к хвостовым. Более всех загружен перегон Белорусская — Новослободская (I путь, 8—9 ч). Фактическое наполнение вагонов в поездах здесь следующее, начиная с головного: 60, 80, 100, 150, 230 и 180 пассажиров/ваг (800 пассажиров/поезд). В пятом вагоне в течение 1 ч проезжает в среднем 230 пассажиров.

Поскольку хвостовые вагоны перегружены, казалось бы, что надо прицепить седьмой вагон к хвостовой части поезда. Судя по характеру кривой спада наполнения вагонов в по-

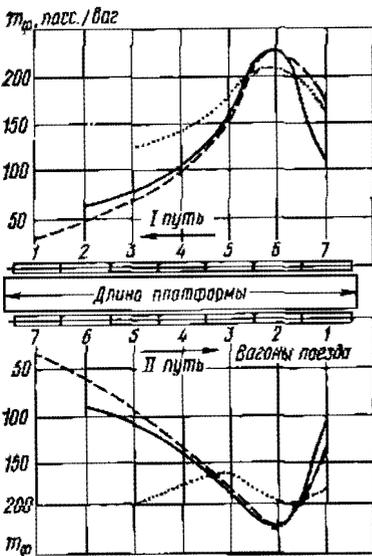


Рис. 47. Кривые повагонного наполнения поездов (Кольцевая линия, Москва):  
— из шести, — — — из семи,  
... — из пяти вагонов

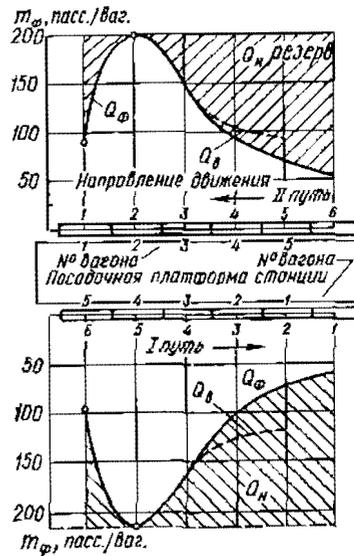


Рис. 48. Эпюры наполнения вагонов на Кольцевой линии с 8 до 9 ч

езде, это уменьшило бы наполнение пятого вагона со 180 примерно до 100—120 пассажиров/ваг, так как часть пассажиров (60—80 чел.) перейдет в седьмой вагон. Но из-за одностороннего расположения входов и выходов на станциях, что можно поставить в упрек проектировщикам Кольцевой линии, этого сделать нельзя — поезд по длине как раз прицепленным хвостовым седьмым вагоном не впишется (без смещения рейки по ходу поезда) в линейные размеры посадочных платформ на станциях Новослободская, Проспект Мира, Курская и др.

Если прицепить дополнительный вагон в голове поезда, наполнение первого вагона разделится примерно пополам. Тогда вместе с самым переполненным вагоном (230 пассажиров/ваг) будут функционировать два недогруженных (по 30—45 пассажиров/ваг в каждом). Цель — снижение максимального наполнения вагона — не будет достигнута. По-прежнему 30—40% пассажиров будут вынуждены совершать поездки в максимально наполняемых вагонах, т. е. в наиболее неудобных условиях.

Итак, прицепка седьмого вагона не улучшает заметно обслуживания пассажиров. Экономический эффект от увеличения состава получается только отрицательный. Требуя расходования более 2 млн. руб. (стоимость прицепленных вагонов), увеличение состава поезда влечет за собой значительное снижение и эксплуатационных показателей. Прежде всего повысится себестоимость перевозок. И без того малое фактическое использование провозной способности линии снизится, как показывают расчеты, в среднем на всех перегонах с 70 до 50%.

С прицепкой вагона теоретически провозная способность линии возрастает с  $34 \cdot 6 \cdot 170 = 34,7$  тыс. пассажиров/ч до 40,5 тыс., т. е. на 5,8 тыс. пассажиров в час. Но это характеризует лишь потенциальные (скрытые) возможности, которые фактически нельзя использовать, и они никогда не используются полностью. В нашем примере среднее наполнение вагона уменьшится со 167 ( $800 : 7 = 167$ ) до 114 ( $800 : 7 = 114$ ) пассажиров/ваг, т. е. на 32%. Коэффициент неравномерности наполнения вагонов соответственно возрастет с  $230 : 167 = 1,38$  до  $230 : 114 = 2,01$  — на 46%. Провозная способность  $Q_{\phi}$  линии будет фактически использована лишь на  $100 : 2,01 = 53,2\%$  вместо  $100 : 1,38 = 72\%$ . Таким образом, фактически линия способна перевозить  $(800 \cdot 34 \cdot 170) : 230 = 20,1$  тыс. пассажиров в час.

## VI. ВРЕМЯ И СКОРОСТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРОВ

Какая же составность в данных условиях наиболее целесообразна? В течение периода эксплуатации на Кольцевой линии число вагонов в поезде менялось несколько раз от 4 до 6. Но опыт показывает, что сейчас на ней следует не увеличить, а, наоборот, уменьшить состав поезда до 5 вагонов. Правда, при этом повышается наполнение концевых (головного на I и хвостового на II пути) вагонов. Но, во-первых, эти вагоны недогружены и их следует наиболее полно использовать (в нашем примере 60 чел. перейдут в два ближайших вагона); во-вторых, провозная способность  $Q_v$  будет использоваться на 80—85%, как на диаметральных линиях, а не на 50% и, наконец, значительно снизится себестоимость перевозок от высвобождения 34 вагонов и уменьшения их пробега.

Переход на 5-вагонные составы потребует правильной их расстановки на станциях во время стоянки поезда и увеличения частоты движения поездов до 38—40 пар в 1 ч. Это не вызывает необходимости в приобретении дополнительных вагонов, так как осуществимо за счет отцепленных. Чтобы окончательно решить вопрос об оптимальном составе поезда на каждой линии, необходим подробный анализ пассажиропотоков с обследованиями повагонного заполнения поездов. Самое эффективное мероприятие в повышении качества перевозок пассажиров — увеличение размеров движения поездов с оптимальным минимумом числа вагонов и равномерным их наполнением.

### 1. Составные элементы времени передвижения

Один из критериев уровня комфорта перевозок — общие затраты времени пассажиров на передвижения по городу. Скорость движения поезда на метрополитене до 90 км/ч. Но пассажиров интересует время нахождения в метро, поэтому главным показателем качества их обслуживания служит результирующая, общая скорость передвижения, в которой, кроме поездного, учтено время, затрачиваемое пассажиром на вход, выход и пересадки, а также на ожидание поездов на станциях, т. е. внепоездное, или условно, время пешеходных передвижений. Оно занимает примерно половину времени нахождения пассажиров в метро (до 20 мин). К тому же многие пассажиры (около половины в Москве) делают пересадки, а они трудны, с длинными переходами. Пассажир устает. Скорость поездки из одного пункта города в другой в метро при беспересадочном маршруте составляет 20—22 км/ч, на маршруте с одной пересадкой — 16—18 км/ч, с двумя пересадками — 12—14 км/ч. С учетом же подхода — подъезда к станции метро эта скорость составляет 8—10 км/ч и менее. Такие скорости не могут удовлетворять все возрастающие потребности в перевозках.

При росте средней дальности поездки и необходимости доставки пассажиров к месту назначения без транспортной усталости суммарные затраты времени на передвижения от мест проживания к местам приложения труда («от двери до двери») следует поэтапно сокращать так, чтобы довести их в перспективе в соответствии со СНиП II-60-75 до 40 мин для 80—90% пассажиров в крупнейших и крупных городах и до 30 мин — в остальных. Это учитывается при разработке комплексных транспортных схем городов.

Время передвижения пассажира  $T_0$  — это общее время его нахождения в метро с момента прохода входных дверей (или входных ступеней на станциях без наземных вестиг

бюлей) на начальной станции до прохода выходных дверей на конечной станции, затрачиваемое на вход  $T_{вх}$ , поездку  $T_{п}$  — нахождение в поезде, пересадку  $T_{пер}$  и выход  $T_{вых}$ :

$$T_0 = T_{вх} + T_{п} + T_{пер} + T_{вых}.$$

В большинстве случаев время входа в метро включает время на проход от входных дверей до эскалатора  $t_x^{вх}$ , нахождение на эскалаторе  $t_s^{вх}$ , подхода от эскалатора к месту посадки  $t_x^п$  и ожидание поезда  $t_{ож}$ :

$$T_{вх} = t_x^{вх} + t_s^{вх} + t_x^п + t_{ож}.$$

Если на станции эскалаторов нет,

$$T_{вх} = t_x + t_{ож},$$

где  $t_x$  — время прохода от входных дверей до места посадки в поезд.

Время прохода от входных дверей до эскалатора  $t_x^{вх}$  зависит прежде всего от расстояния, которое надо преодолеть, пропускной способности дверей, планировки кассового зала, наличия или отсутствия лестничных маршей и др. Следовательно, оно зависит от планировочных особенностей вестибюля, а кроме того, и от качества обслуживания пассажиров кассами, контрольными пунктами, организации работы эскалаторов и др. Поэтому сокращения его можно добиться и организационно-техническими мероприятиями, способствующими беспрепятственному пропуску пассажиров.

Нахождение на эскалаторе  $t_s^{вх}$  определяется длиной и скоростью движения его ходового полотна. Длина эскалатора, угол наклона которого к горизонтали постоянен ( $30^\circ$ ), зависит от глубины залегания станции. Скорость движения ступеней равна 0,93 и 0,75 м/с. Самый главный аргумент в пользу повышения скорости движения эскалатора — не повышение его провозной способности, а сокращение общего времени передвижения пассажиров. Если на подъем или спуск эскалатором со скоростью 0,75 м/с пассажир расходует в среднем 110—120 с, то при скорости 1 м/с это время сокращается до 82,5—90 с, или на 25%. Предпочтительны эскалаторы с большей скоростью движения, хотя она и не повышает ощутимо их провозную способность.

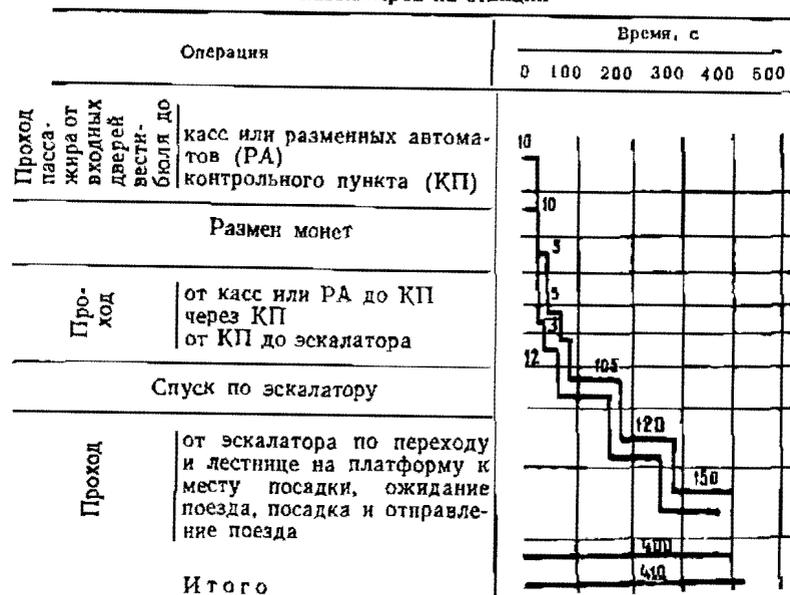
Время прохода пассажира от нижней гребенки эскалатора до места посадки в поезд  $t_x^п$  зависит от расстояния и трудности пути, т. е. от планировки станции и плотности пассажиропотока; ожидание пассажиром поезда  $t_{ож}$  — от интервала и степени регулярности движения поездов. При равномерном потоке пассажиров время ожидания поезда равно половине интервала между поездами.

Поездка в поезде начинается с момента его отправления с начальной станции до выхода пассажира из вагона на конечной станции. Время ее  $T_{п}$  складывается из времени на разгон поезда  $t_p$ , установившегося движения  $t_y$ , замедления  $t_z$  и стоянки на станции  $t_{ст}$ :

$$T_{п} = \sum_{n=1}^n (t_{pn} + t_{yn} + t_{zn} + t_{стn}),$$

где 1, 2, ..., n — межстанционные перегоны, которые проезжает пассажир.

График № 2 технологического процесса обслуживания пассажиров на станции



Зависит оно от технических возможностей подвижного состава, пропускной способности линии. На величину  $T_{п}$  влияет также расстояние между станциями (длина перегона).

Наиболее длинные перегоны позволяют развивать более высокие ходовые скорости.

Время стоянки на остановочных пунктах влияет на интервал между поездами и при определенной частоте движения и большом пассажирообмене у вагонов становится фактором, лимитирующим пропускную, а следовательно и провозную способность линии. Продолжительность стоянки определяется в первую очередь временем, необходимым для посадки и высадки пассажиров, которое зависит от: пассажирообмена поезда на станции; композиции состава и типа вагона (длина поезда, вместимость вагона, число дверей в нем); неравномерности использования пассажирами дверей вагона и вагонов поезда; способа посадки и высадки или специализации использования дверей (поточный способ — посадка и высадка одновременные; непоточный — сначала высадка, а затем посадка). На метрополитене принят непоточный способ. Это позволяет сократить стоянки поездов.

Продолжительность стоянки  $t_{ст}$  прямо пропорциональна пассажирообмену  $\Pi$  в данном направлении движения поездов, коэффициентам неравномерности распределения пассажиров высадки и посадки  $\alpha$ , использования дверей вагонами пассажирами  $\gamma$ , внутрис часовой неравномерности пассажирообмена  $k_{15}$ , средней затрате времени на высадку или посадку одного пассажира  $t_1$  и обратно пропорциональна частоте движения поездов  $N_c$ , составу поезда  $n$  и числу дверей в вагоне (4):

$$t_{ст} = \frac{\Pi \alpha \gamma k_{15} t_1}{4 N_c n}.$$

Обследования на Московском метрополитене позволили определить числовые значения параметров этой формулы:  $\alpha = 1,6$ ;  $\gamma = 1,4$ ;  $k_{15} = 1, 2$ ;  $t_1 = 0,5$  с (для вагонов типов Г и Д);  $t_1 = 0,4$  с (для вагонов типа Е). Подставив их в предыдущую формулу, получим

$$t_{ст} = \frac{\Pi \cdot 1,6 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 0,5}{4 N_c n} = 0,336 \frac{\Pi}{N_c n}.$$

По этой формуле можно определять  $t_{ст}$  приближенно. На действующих станциях точное время стоянки поезда, необходимое для пассажирообмена, легко определить следующим образом. Зная дверь вагона, которая больше других задерживает поезд, надо подсчитать число входящих и

выходящих из нее пассажиров в течение интересующего часа. Делением его на число подсчетов получают среднечасовой пассажирообмен лимитирующей двери  $q_{ср}$ . Далее находят коэффициент внутрис часовой неравномерности пассажирообмена двери  $k_{15}$  — частное от деления максимальной за 15 мин высадки и посадки  $q_{15}$  на величину среднечасового пассажирообмена  $q_{ср}$  —  $k_{15} = q_{15} : q_{ср}$ , а затем  $t_{ст}$  по формуле

$$t_{ст} = 0,5 q_{ср} k_{15}.$$

В норме  $t_1 = 0,5$  с/пассажира учтено и время на открытие и закрывание дверей, восприятие поездной бригадой показаний выходного светофора и сигналов готовности поезда к отправлению, а также на приведение его в движение. Промежуток времени между моментами выхода пассажира из вагона поезда на одной линии и отправления в поезде на другой линии — пересадки  $T_{пер}$ . Оно складывается из времени до посадки в поезд  $t_x$  и перехода  $t_x^{пер}$ , нахождения на эскалаторах, если они есть на пути,  $t_э$ , ожидания поезда  $t_{ож}$  и зависит от числа пересадок  $k$ . Простейшая формула времени одной пересадки

$$T_{пер} = t_x + t_x^{пер} + t_э^{пер} + t_{ож}.$$

Время на выход из метро  $T_{вых}$  с момента выхода из вагона прибывшего поезда до прохода выходных дверей станции назначения

$$T_{вых} = t_x^{вых} + t_э^{вых} + t_x^{ул}.$$

где  $t_x^{вых}$  — время с момента выхода из вагона поезда до вступления на эскалатор;

$t_э^{вых}$  — время подъема на эскалаторе;

$t_x^{ул}$  — время прохода от верхней гребенки эскалатора до выхода на улицу.

Используя значения слагаемых  $T_{вх}$ ,  $T_{п}$ ,  $T_{пер}$  и  $T_{вых}$ , получим общую формулу времени передвижения пассажира

$$T_0 = t_x^{вх} + t_э^{вх} + t_x^э + t_{ож} + \sum_{n=1}^n (t_{рn} + t_{yn} + t_{zn} +$$

$$+ t_{стn}) + \sum_{k=1}^k (t_{xk} + t_{xk}^{пер} + t_{эk}^{пер} + t_{ожk}) + t_x^{вых} + t_э^{вых} + t_x^{ул}.$$

Анализируя ее, можно заключить, что  $T_0$  складывается из времени, расходуемого пассажиром непосредственно на

поездки (в поездах), или поездного  $T_{\Pi}$  и внепоездного, которое он вынужден расходовать на вход, пересадки, выход  $T_x$  — накладного, нежелательного для пассажира:

$$T_o = T_{\Pi} + T_x, \text{ а } T_x = T_{\text{вх}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{вых}}.$$

Чтобы определить фактическое время передвижения, на 115 станциях Московского метрополитена проведен хронометраж его слагаемых на всех возможных маршрутах. Таких маршрутов насчитывается более 10 тыс. На основании этих данных определены время и степень трудности каждого маршрута передвижения пассажиров на всех станциях и построена схема Московского метрополитена, на которой указано время поездки по каждой линии (смотри вкладку).

Время передвижения пассажира по любому избранному им маршруту (в минутах) определяют сложением цифр, указанных на схеме между двумя смежными пересадочными или конечной и ближайшей пересадочной станциями (время хода поезда) и в одинарных кружках (время на пересадку) добавляя к их сумме время на вход в метро и выход из него (принято в среднем 5 мин). Например, время передвижения по маршруту Беляево — Юго-Западная равно  $17 + 4 + 2 + 6 + 14 + 5 = 48$  мин, где: 17 — следование поезда между станциями Беляево — Октябрьская; 4 — пересадка на станции Октябрьская; 2 — следование поезда от Октябрьской до Парка Культуры; 6 — пересадка на станции Парк Культуры; 14 — следование поезда от Парка Культуры до Юго-Западной; 5 — вход в метро и выход из метро.

Если передвижение начинается или заканчивается на станциях, расположенных между пересадочными, время хода поезда по каждому перегону находят делением цифры, указанной на схеме, на число перегонов. Схема увязана со схемой пригородных линий железной дороги, где также показано время хода поездов по участкам и пересадок на станции метрополитена. Совмещением помаршрутных косых таблиц  $T_o$ ,  $T_{\Pi}$  и  $T_x$  с корреспонденциями пассажиро-потоков определено и суммарное время, расходуемое пассажирами на передвижения по каждому маршруту. Анализ показал, что на многих маршрутах пассажир расходует на ходьбу почти столько же времени сколько на передвижение в поезде. К таким маршрутам относятся, например:

пересадочные: Динамо — Краснопресненская (ходьба 11 мин, передвижение в поезде 16,5 мин), Новокузнецкая —

Таганская (ходьба 13 мин, передвижение 16,5 мин), Рижская — Красносельская (соответственно 17,5 и 20,5 мин); беспересадочные: ВДНХ — Щербаковская (ходьба 8 мин, передвижение 10,5 мин), Дзержинская — Проспект Маркса (соответственно 8 и 9,5 мин).

В среднем пассажир около 50% времени нахождения в метро передвигается пешком, в среднем условно преодолеваемая расстояние около 500 м (условность заключена в том, что во время передвижения включено ожидание поезда и нахождение пассажира на эскалаторе). Средняя скорость сообщения при этом составляет около 20 км/ч, что незначительно превышает скорость сообщения на наземных видах транспорта. Поэтому поездки на расстояние в один-два перегона (до 3 км) по затратам времени следует считать нецелесообразными. Надо заметить, что в часы пик из-за сгущения пассажиропотоков все показатели обслуживания пассажиров ухудшаются от увеличения времени на ходьбу, задержек у разменных автоматов и касс, эскалаторов, прохода через АКП и др., что в расчетах во внимание не принималось.

Даже незначительная нерегулярность движения отнимает у пассажира определенную долю тех преимуществ, которые дает ему метрополитен. Отклонения от расписаний (графика), зависящие от работы технических устройств и подвижного состава, бывают очень редко. Чаще повторяются так называемые мелкие отклонения от графика и интервала движения (на 5—20 с). Причин их множество: неправильное ведение поезда локомотивной бригадой, затянувшийся пассажирообмен, застревание багажа пассажира в дверях вагона, задержка пассажиром двери и др. Все это может быть ликвидировано при должной организации работы станций и локомотивных бригад. Тем не менее такая нерегулярность движения поездов повышает неравномерность наполнения вагонов в поездах, не говоря о перерасходе электроэнергии. Но в первую очередь от нее зависит время ожидания поезда  $t_{\text{ож}}$ . На первый взгляд кажется, что если вместо 3-минутного интервала по расписанию будут чередоваться интервалы, в действительности равные 2 и 4 мин, то часть пассажиров сэкономит, а другая часть потеряет время и в итоге потерь не будет. На самом деле это не так, о чем свидетельствует следующий конкретный пример. На станцию поступает равномерный пассажиропоток, — 100 чел./мин. Интервал движения поездов по графику — 3 мин. Если поезда следуют регулярно, то пассажиры, ожи-

дающие посадки в два смежных поезда  $3 : 2 = 1,5$  мин каждый, затратят  $t_{ож} = 300 \cdot 1,5 + 300 \cdot 1,5 = 900$  мин. Предположим теперь, что поезда прошли с интервалами 2 мин 40 с (160 с) и 3 мин 20 с (200 с), т. е. первый отправился на 20 с раньше, а второй — на 20 с позже графика. Посадка составит соответственно (160 : 180)  $300 = 266$  и (200 : 180)  $300 = 334$  пассажира. В этом случае время ожидания ими поездов составит  $t_{ож} = 226 \cdot 160 : 2 : 60 + 334 \cdot 200 : 2 : 60 = 912$  мин., что на 12 мин, или 1,3%, больше, чем при регулярном движении. Специальные наблюдения показывают, что средняя нерегулярность на линиях равна 10—15 с, в отдельных случаях она достигает 30—40 с и более.

Известна следующая более точная формула для определения времени ожидания поезда всеми пассажирами при заданной нерегулярности движения:

$$T_{ож} = \frac{1}{2} i^2 q'' N \left( 1 + \frac{\delta_q^2}{i_m^2} \right),$$

где  $i$  — интервал регулярного движения, мин;  
 $q''$  — число пассажиров, равномерно поступающих на станции в течение 1 мин;  
 $N$  — число поездов, прошедших за расчетный промежуток времени;  
 $\delta_q$  — среднее квадратическое отклонение интервала движения поездов;

$$\delta_q = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{N}};$$

$i_m$  — средний интервал движения поездов, мин;

$$i_m = \frac{i_1 + i_2 + \dots + i_n}{n};$$

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  — отклонения от нормального интервала при нерегулярном движении поездов.

При  $q'' = 100$  пассажиров/мин;  $N = 30$  поездов/ч ( $i = i_m = 2$  мин);  $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_n = 15$  с (0,25 мин), что соответствует действительному положению в отдельные часы работы поездов метрополитена,  $\delta_q = \sqrt{\frac{30 \cdot 0,25^2}{30}} = 0,5$  мин.

Полное время ожидания поездов пассажирами в течение 1 ч

$$T_{ож} = \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot 100 \cdot 30 \left( 1 + \frac{0,5^2}{2^2} \right) = 6375 \text{ мин.}$$

При регулярном движении эти пассажиры затратили бы на ожидание

$$t_{ож}^{рег} = \frac{1}{2} 2^2 \cdot 100 \cdot 30 = 6000 \text{ мин.}$$

Таким образом, из-за нерегулярности в движении поездов пассажиры вынуждены дополнительно расходовать на их ожидание

$$T_{ож}^{доп} = 6375 - 6000 = 375 \text{ мин} = 6,25 \text{ ч.}$$

Среднее время ожидания поезда каждым пассажиром в этом случае увеличивается с 60 до 63,75 с, что на 6,2% больше, чем при регулярном движении.

Нерегулярность движения поездов неизбежно создает и неравномерность в наполнении их вагонов. Соответственно в предыдущем примере 6,2% пассажиров будут неравномерно поступать и на посадку в поезд, и тогда вместо, например, 170 чел. наполнение вагона составит в одном поезде  $170 + 170 \cdot 0,062 = 181$  чел., в другом — 159. Нерегулярность движения чрезвычайно вредна и для режима работы поездов. Она понуждает поездные бригады нагонять потерянное время, может потребовать большего числа поездов, чем это нужно, снижает фактическое использование провозной способности линии. Основной путь устранения и уменьшения отрицательного воздействия нерегулярности движения поездов — четкое выполнение графика, точное соблюдение интервалов движения.

## 2. Составные элементы скоростей движения поездов

Время нахождения пассажира в поезде зависит от динамических свойств подвижного состава и прежде всего от установившихся скоростей движения  $v_{уст}$ , длин перегонов  $l_{перег}$ , а также от величин ускорений и замедлений  $a$  и  $b$  (особенно на перегонах малой длины). График зависимости

$$v_{тех} = f(v_{уст}, l_{перег}, a, b)$$

построен по хронометражным данным движения поездов по перегонам различной длины на Московском метрополитене (рис. 49). При длине перегонов от 500 до 2500 м ходовая скорость возрастает с 29 до 53 км/ч, (почти вдвое), что особенно заметно при  $l_{перег} = 1500$  м (с 29,5 до 47, км/ч). С дальнейшим увеличением длины перегона это возрастание

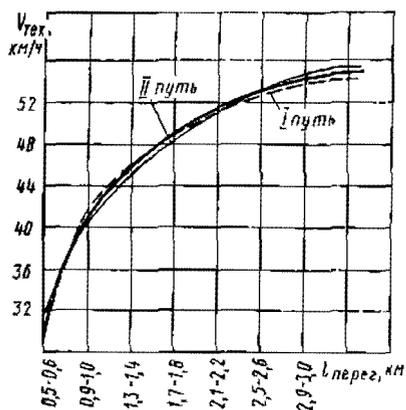


Рис. 49. Зависимость технической скорости от длины перегона

ную может развивать подвижной состав метрополитена (вагоны типов Г, Д и Е), почти никогда не достигается. Это относится даже к перегонам, длина которых превышает 2000 м. Например, на перегоне Ленинские горы — Университет (2590 м) на обоих путях она не превышает 70 км/ч, что объясняется в основном небольшим временем хода поезда с установившейся скоростью. Средние реализуемые скорости на отечественных метрополитенах  $v_c = 38,0$ ;  $v_{тех} = 44,0$ ;  $v_{уст} = 50 \div 60$  км/ч. Скорости сообщения поездов на отдельных линиях достигают 42,5 км/ч. Они значительно превосходят соответствующие показатели метрополитенов Лондона (33 км/ч), Парижа (36 км/ч), Нью-Йорка (30 км/ч) и др.

На Московском метрополитене стоянки поезда на станциях в среднем занимают 16,2% времени нахождения поезда на линии с пассажирами (без учета стоянки и оборота составов на конечных станциях) и колеблются по линиям от 9,2 до 17,4%, что объясняется различными пассажиропотоками. С учетом стоянок поездов на промежуточных станциях техническая скорость на сети метрополитена снижается с 45,9 (техническая) до 39,5 км/ч (скорость сообщения) (на Московском метрополитене ее называют также эксплуатационной скоростью). Можно установить соотношение между технической скоростью и скоростью сообщения поездов.

менее ощутимо (при  $l_{перег} = 2500$  м,  $v_{тех}$  увеличивается лишь на 5—7 км/ч). Длину перегона  $l_{перег}$  при проектировании метрополитенов определяют конкретные условия прокладки трассы и формирования пассажиропотоков. Оптимальная длина для Москвы в среднем 1000—1200 м, при этом жители города расходуют минимальное время на передвижение при пользовании транспортом.

Конструкционная скорость 80—90 км/ч, кото-

Поскольку время хода поезда увеличивается на 16,2%,  $v_c = \frac{v_{тех}}{1,162}$  или  $v_c = 0,86 v_{тех}$ .

Заслуживают внимания исследования скоростей передвижения пассажиров при пользовании услугами метро [1]. Строительные нормы и правила (СНиП) проектирования городских транспортных сетей предусматривают, что население крупных городов должно затрачивать на преодоление пути от дома до работы и мест массового посещения не более 40 мин. В это время входит не только поездка, но и подходы к остановкам (станциям), ожидание транспорта, спуск, переходы и подъем в пределах станций метрополитена. Зная расчетную дальность поездки основной массы пассажиров метрополитена и нормативную затрату времени на нее (40 мин), можно найти минимальную скорость передвижения по городу, на которую следует ориентироваться при расчете всех градостроительных и технических параметров сетей и линий метрополитена. Расчетной дальности передвижения 12—15 км (включая подходы), что близко к условиям Москвы, соответствует минимальная скорость передвижения 16—20 км/ч, которую и должен гарантировать большинству пассажиров метрополитена:

$$v_{пер} = \frac{L_{пер} v_{пеш}}{2\eta l_{перег} + n v_{пеш} (\omega + \tau)}$$

- где  $L_{пер}$  — полная фактическая дальность передвижения, м;  
 $v_{пеш}$  — скорость передвижения пешехода (обычно принимают равной 1,1 м/с, или 4 км/ч);  
 $l_{перег}$  — средняя длина перегона между станциями, м;  
 $\eta$  — отношение дальности подхода к длине перегона;  
 $n$  — число перегонов, приходящееся на дальность передвижения  $L_{пер}$ ;  
 $\omega$  — время, затрачиваемое на проезд одного перегона, увеличенное на продолжительность стоянки на одной станции, с;  
 $\tau$  — удельные непроизводительные затраты времени на подход (спуск, подъем) к месту посадки на платформе (и обратно), ожидание поезда и (в случае пересадки с одной линии на другую) переход.

Пользуясь формулой, можно, исследовав характер и значимость влияния всех факторов, составить номографические таблицы и графики скоростей передвижения для конкретных градостроительных условий.

Серия расчетов скоростей передвижения разной дальности (от 6 до 20 км) при разных длинах перегонов (от 500

Оптимальные длины перегонов  
и максимальные скорости передвижений  
при поездках на метрополитене мелкого заложения

Дальность передвижения, км	Оптимальная длина перегона, м	Максимальная скорость передвижения, км/ч
6	800—900	13,0—14,0
9	1000—1100	16,8—18,4
12	1100—1250	19,8—21,7
15	1300—1400	22,5—24,4
20	1500—1600	25,9—28,1

до 3000 м) и нескольких скоростных режимах движения поездов на метрополитенах со станциями наземными, мелкого и глубокого заложения показала, что наиболее сложна и существенно зависимость скорости передвижения от средней длины перегонов, так как с удлинением последних возрастает дальность подхода к станциям. Но, поскольку она не может возрастать беспредельно, можно установить такое максимальное расстояние, чтобы время подхода к станции пешком было равно времени подъезда к ней на трамвае, троллейбусе, автобусе, принимая в расчет и подход к остановке, и ожидание транспорта. Это расстояние в среднем равно 1 км. Учитывая непрямолинейность пешеходных путей из многих точек, можно принять, что с территории радиусом около 800 м подход к станции занимает меньше времени, чем подъезд. Дальность подхода зависит от длины перегона. При коротких перегонах она несколько меньше, а при длинных несколько больше. Все это надо учитывать при разработке генеральных планов развития городов. Сократить дальность подходов к будущим станциям при этом можно средствами планировки и застройки. Диагонально-лучевая схема построения подходов сокращает путь в среднем на 18—20% по сравнению с прямоугольной сеткой; еще на 18—20% его можно сократить, если многоэтажную (высотную) жилую застройку с большой плотностью разместить ближе к станциям, а в глубине зоны пешеходного подхода расположить школы, детские сады, спортивные площадки и др. Не менее важно приблизить к станциям метро крупные учреждения и предприятия.

Дальность передвижения для транспортных расчетов в каждом городе задана в соответствии с технико-экономическими обоснованиями (ТЭО) перспектив развития города. Расчеты подтверждают, что при небольшой дальности (менее 5—6 км) скорости передвижения на метрополитене ниже, чем на наземных видах транспорта. Следовательно, в городах с такой расчетной (средней) дальностью передвижения активной массы населения нет оснований для проектирования и строительства метрополитена. Наиболее высокие скорости передвижения на линиях метрополитена могут быть реализованы при оптимальных длинах перегонов (табл. 28) (большие скорости соответствуют более плотной застройке вблизи станций метро). Чрезмерное удлинение перегонов снижает общую скорость передвижения по городу, несмотря на более высокую скорость сообщения на

метрополитене. Повышению скорости передвижения пассажиров метрополитена способствуют также:

строительство дополнительных вестибюлей и переходов на станциях и планировочная реконструкция отдельных их элементов (входов, кассовых и распределительных залов и др.);

повышение скорости движения эскалаторов, строительство движущихся тротуаров, лифтов;

повышение частоты движения поездов и пропускной способности линий;

повышение регулярности (точности выполнения графика) движения поездов;

беспрепятственный пропуск пассажиров на станции (четкая работа касс, контрольных пунктов, эскалаторов, переходов) и на подходах к ним;

повышение скоростей движения поездов.

Помимо дальнейшего развития сети и средств технической вооруженности, задача работников метрополитена — изыскание резервов в организации перевозок прежде всего в интересах пассажира, реализация которых не требует дополнительного капитального строительства, генеральной реконструкции станций, увеличения количества подвижного состава и пропускной способности линий (например, рациональные режимы ведения поездов по перегонам, равномерное распределение потоков пассажиров во времени и пространстве и др.). Известны следующие пути совершенствования организации перевозок, увеличения провозной способности метрополитенов, повышения культуры обслуживания пассажиров:

увеличение размеров движения благодаря автоматизации управления поездами, централизованному контролю за их нахождением на линии, сокращению времени стоянок на станциях;

организация пассажиропотоков на станциях, выбор эскалаторов с оптимальными размерами и регулируемой скоростью, сокращение пешеходных расстояний при пересадках на другие транспортные средства, обеспечение наиболее удобных выходов и входов на остановки наземных видов транспорта;

улучшение конструкций подвижного состава и его технико-экономических характеристик;

высокое качество содержания верхнего строения пути; уменьшение времени поездки безостановочным движением поездов на малозагруженных станциях или по специальным путям;

расцепка составов на станциях, отстойных путях или в депо в зависимости от пассажиропотоков по часам суток;

оборудование станций высокоразвитыми коммуникационными системами связи, радио, телевидения и другими средствами для информации пассажиров.

### 3. Совершенствование организации перевозок

Над разрешением транспортной проблемы в городах работают во всех странах мира. Наиболее полно ее можно разрешить при взаимосогласованной технологии перевозочного процесса на всех видах пассажирского транспорта, линии и маршруты которого будут представлять собой единую транспортную систему города. Известны, например, научно-теоретические проработки единой системы «метро—железная дорога» с выходом подвижного состава метрополитена на железнодорожные участки. По генеральному перспективному плану развития Москвы около 50% пассажиров и 75—80% общего объема работы (с учетом расстояний поездок) придется на такую систему. Автобусу и троллейбусу отводится роль вспомогательных видов транспорта, которые будут перевозить пассажиров в основном на малые (3—5 км) расстояния.

Координация работы всех видов транспорта имеет большое значение не только для улучшения использования технических средств, но и для повышения качества обслуживания

населения. Чтобы облегчить работу метрополитена, например, открывают движение автобусов-экспрессов на маршрутах, параллельных его линиям; продлевают маршруты наземного транспорта, связывающие периферийные районы города с конечными станциями метро, до малозагружаемой промежуточной станции; организуют новые такие маршруты; перемещают конечные остановки маршрутов наземного транспорта от одного вестибюля (входа — выхода) станции к другому. Например, на станции Варшавская (Москва) южный вестибюль был менее загружен, чем северный, к которому тяготели железнодорожная станция Коломенская и 8 автобусных маршрутов. Когда конечные остановки двух маршрутов перенесли к южному входу, загрузка вестибюлем стала более равномерной.

Напряженность в работе отдельных линий, постоянно увеличивающиеся размеры перевозок и автомобилизация городов требуют изыскания способов значительного увеличения провозной способности городского транспорта. Эту проблему на основных направлениях пассажиропотоков необходимо решать как можно скорее. Наиболее реальный путь ее решения — строительство дополнительных линий метрополитена, расположенных вблизи и вдоль существующих диаметров (параллельных или разгружающих линий), для повышения плотности сети и станций в городах, ускорение его темпов. Кроме того, необходимы меры организационного характера: рассредоточение мест приложения труда и проживания населения, а также рациональный разброс времени начала окончания и работы предприятий и учреждений. И наконец, не менее важна планировка станций на проектируемых линиях. Она должна быть такой, чтобы провозная способность линии при эксплуатации использовалась на 85—90%, а не на 45—75%, как в большинстве случаев сейчас. Можно предложить и некоторые рекомендации для проектирования новых и реконструкции существующих линий.

**Маршрутизация движения.** Известно, что долговечность основных сооружений метрополитена определена в 500 лет. Вполне естественно, что даже не за такое длительное время транспортные связи населения города резко и неоднократно изменяются. Уже в настоящее время и у нас, и за рубежом существует потребность в маршрутизации движения поездов в пределах не одной, а нескольких линий [21]. Возможность ее следует предусматривать уже при

проектировании линий, обеспечивая в точках их пересечения не только переход пассажиров со станции на станцию, но и перевод поездов с линии на линию.

Маршрутизация представляет возможность беспересадочного сообщения. Пассажир может с одного пути станции следовать в нескольких направлениях. Главные преимущества маршрутизации: сокращение числа пересадочных пассажиров в узлах, а значит, разгрузка пересадочных станций; уменьшение времени и соответственно увеличение скорости передвижения пассажиров; дополнительные удобства пассажирам, которым не нужно прерывать поездку и совершать длинные утомительные переходы. Недостатки: необходимость строительства дополнительных путей передачи поездов с одной линии на другую; вынужденные пересадки части пассажиров, ранее не нуждавшихся в них, но они сопряжены лишь с выходом из вагона и входом в него (без переходов) и потерей времени, определяемой интервалом движения поездов и кратностью маршрутизации; увеличение числа операций переделки и приготовления маршрутов пропуска поездов. Однако эти недостатки в значительной мере компенсируются широкими возможностями автоматизированного управления (например, светофорами и стрелочными переводами).

Главный критерий оптимальности варианта маршрутизации движения поездов — максимальное соответствие между размерами и направлением движения поездов и пассажиропотоков. На Московском метрополитене, например, существующие маршруты не всегда соответствуют направлениям движения наиболее мощных пассажирских потоков и многие пассажиры ежедневно совершают пересадки, которые занимают от 5—7 (станции Центрального узла, Библиотека им. Ленина и др.) до 9—12 мин (Киевская, Комсомольская). Время пересадки составляет 30—50% времени передвижения, что обусловлено планировочными особенностями станций — длинными и неудобными (без движущихся тротуаров) переходами. Один из наиболее целесообразных вариантов маршрутизации — организация беспересадочного сообщения между участками Речной вокзал — Площадь Свердлова Горьковско-Замоскворецкого и Щелковская — Площадь Революции Арбатско-Покровского диаметров (рис. 50). Данные талонных обследований показывают, что, например, перегон Маяковская — Площадь Свердлова (II путь) загружен в 2 раза больше, чем другие

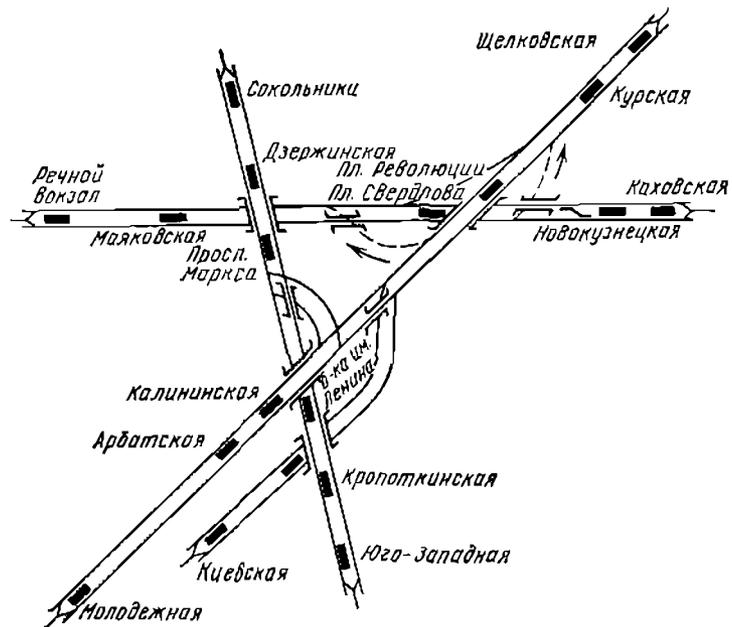


Рис. 50. Возможные варианты маршрутизации в Центральном узле Московского метрополитена (штриховая линия — дополнительное путевое развитие)

части Горьковско-Замоскворецкого диаметра. На участках Щелковская — Площадь Революции и Площадь Революции — Молодежная Арбатско-Покровского диаметра разница в нагрузках еще большая (8,6 раза). Размеры же движения на всех перегонах каждой из этих линий одинаковы — 40 поездов/ч.

В соответствии с пассажиропотоками кратность маршрутизации движения должна быть 1 : 1 (например, от станции Речной вокзал один поезд следует до станции Каховская, другой — до станции Щелковская), на участках Площадь Свердлова — Каховская и Площадь Революции — Молодежная размеры движения должны быть в два раза меньшими — 20 поездов/ч. При этом некоторая часть пассажиров, заинтересованная в транзитных поездках, будет пропускать один поезд другого маршрута. Но суммарный ежедневный выигрыш их только во времени передвижения составит в течение 1 ч (с 8 до 9 ч) более 30 000 ч (4300 рабочих

дней), не считая дополнительных удобств от освобождения ежедневно совершать продолжительные, утомительные и неудобные пересадки и поездки в переполненных вагонах. В некоторых случаях может оказаться, что маршрутизация будет не только удобна для пассажиров, но и более экономична, чем, например, коренная реконструкция перегруженной пересадочной станции. Она потребует дополнительного строительства лишь коротких соединительных путей.

Заслуживают внимания варианты движения поездов «вилкой» по маршрутам Щелковская — Площадь Революции — Киевская и Щелковская — Площадь Революции — Молодежная. Это не требует дополнительного строительства тоннелей, так как они уже есть. Маршрутизация движения поездов на участках Сокольники — ПКЮ и Сокольники — Киевская осуществлялась в 1935 до 1938 г., когда был сооружен участок Курская — Площадь Революции глубокого заложения (Арбатско-Покровский диаметр).

Своеобразно организовано движение поездов (маршрутизированное) на Бакинском метрополитене. Там две линии пересекаются в одном уровне на станции 28 Апрель. В середине трассы к одной из них примыкает ветвь от отдельно стоящей станции Дёповская. Поезда же следуют по трем различным маршрутам к конечным пунктам назначения — станциям Нефтичляр — Шаумян, Низами. Организована четкая информация пассажиров о маршрутах их следования. Управление работой маршрутных указателей и приготовление маршрутов для всех поездов программное. Целесообразность и возможность маршрутизации бесспорны, и ее необходимо решительнее и быстрее внедрять.

**Изменение числа вагонов в поезде в течение суток (секционирование составов).** Наиболее актуально обеспечить соответствие между спросом на перевозки (пассажиропотоками) и предложениями метрополитена — размерами движения поездов определенной составности, что подтверждается зарубежной практикой и опытом Московского метрополитена. По данным 40-го конгресса МСОТ, число вагонов в поездах на метрополитенах мира 2—11 (в Сан-Франциско — 15). На большинстве их (около 80% линий) состав поезда изменяется в течение суток (секционирование), например: в Нью-Йорке — от 2 до 8 и 11, в Западном Берлине — от 2 до 8, Лондоне, Осаке, Стокгольме — от 4 до 8, Париже (пригород) — от 3 до 9, Мадриде, Мюнхене,

Филадельфии — от 2 до 6, Афинах и Буэнос-Айресе — от 2 до 5 вагонов, Сан-Франциско, Чикаго — 1, 6, 8, 10 вагонов.

Секционирование составов на отечественных метрополитенах также заслуживает внимания, поскольку пассажиропотоки на всех линиях колеблются по часам суток, участкам и перегонам, а также по разным вагонам одного и того же поезда. Оптимальный же состав поезда определяют по пиковым пассажирским нагрузкам. Проверки по межпиковым дневным и вечерним послепиковым периодам, как правило, подтверждают целесообразность (для повышения эффективности использования подвижного состава) укорочения состава поезда в течение суток. Вариация составности поездов в течение дня позволяет получить значительный экономический эффект [2].

Секционирование составов сопряжено с необходимостью изменения положения поезда на станциях во время стоянки в зависимости от распределения пассажиров. Однако внедряемая на линиях отечественных метрополитенов КСАУПМ с жесткими напольными программами торможения не позволяет делать это. Вновь разрабатываемая ВНИИЖТом перспективная система автоведения АСУ-ДПМ на новой элементной базе предусматривает возможность остановки поезда в любой точке. Ориентировочные сроки ее внедрения 1983—1984 гг., а пока секционирование необходимо внедрять при ручном управлении движением поездов. Наиболее целесообразный вариант секционирования — эксплуатация трехвагонных составов.

Чтобы широко внедрить секционирование составов, необходим практический опыт. В качестве базы для эксперимента рекомендуется избрать вновь строящийся метрополитен или линию на существующем. В 1975 г. на Филевской линии Московского метрополитена был апробирован экспериментальный график движения поездов с делением 6-вагонных составов во внепиковые часы на два 3-вагонных (рис. 51). Составы расцеплялись частично на путях депо и в основном в оборотных тупиках станции Молодежная. При увеличении частоты движения поездов с 17 до 20,8 поездов/ч и сохранении наполнения вагонов  $m_{доп}^{пак} = 98$  пассажиров/ваг, степень использования провозной способности линии составила 83,4 вместо 53,8%. Получен экономический эффект — около 100 тыс. руб. в год от уменьшения пробега

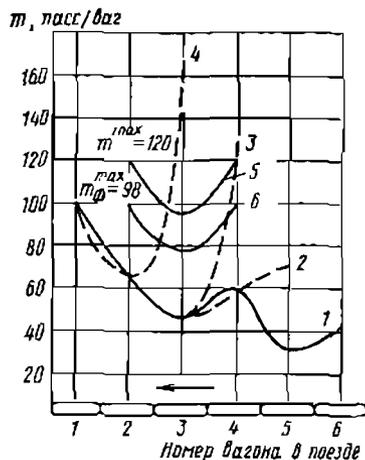


Рис. 51. Кривые наполнения вагонов в поездах при секционировании (11—16 ч):

1 — фактического при 6-вагонном составе; ожидаемого 2 — при 5-вагонном составе; 3 — при четырех вагонах; 4 — при трех вагонах, положение головного прежде; 5 и 6 — при трех вагонах и оптимальном положении состава на станциях

вагонов, экономии электроэнергии на тягу поездов и др. Тем не менее секционирование было отменено в основном из-за жалоб пассажиров на плохую информацию о месте нахождения головных и хвостовых вагонов во время стоянки поезда на станции. Аргументы, выступающие за секционирование составов по схеме  $6 = 3 + 3$ , следующие:

повышение культуры обслуживания пассажиров, достигаемое большей частотой движения поездов во внепиковые часы, при этом каждый пассажир расходует меньше времени на ожидание поезда;

уменьшение наполнения ликового вагона;

повышение степени использования провозной способности;

уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат.

Дополнительного путевого развития при секционировании, как правило, не требуется. Ныне эксплуатируемая жесткая полуавтоматическая автосцепка вагонов типа Д вполне отвечает требованиям секционирования.

Для осуществления этого мероприятия потребуются затраты на реконструкцию существующих и строительство дополнительных устройств, обеспечивающих быструю и безопасную расцепку и сцепку составов, переоборудование устройств централизации и автоблокировки и обеспечение станций системой информации, помогающей пассажирам найти место остановки укороченного поезда.

Неодновременное прибытие на станцию поездов разных направлений. На крупных пересадочных, вокзальных и других станциях пассажиры, вышедшие из поезда, периодически (волнообразно) скапливаются у нижних гребенок эскалаторов. Эти скопления постоянны во времени, пов-

торяются изо дня в день. Причина их — одновременное прибытие поездов различных направлений. На Кировско-Фрунзенской и Кольцевой линиях Московского метрополитена разработали такой оптимальный вариант графика движения поездов, по которому поезда прибывают и отправляются на всех станциях неодновременно. Сделали, это, пересмотрев режимы движения поездов по перегонам, уточнив время их стоянок на станциях. Это позволило равномерно загрузить эскалаторы, уменьшить скопление пассажиров у их нижних гребенок, разгрузить тяговые агрегаты и сократить число одновременных подключений тяговых двигателей. Контрольные измерения на электроподстанциях и в тоннелях Кировско-Фрунзенской линии показали, что прежде всего уменьшилась нагрузка на ртутные выпрямители, при этом на одной из подстанций появилась возможность отключать один выпрямитель. Нагрузка стала более равномерной, что улучшило условия работы устройств автоблокировки. Значительно уменьшились расходы электроэнергии и потери в тяговой сети. По показаниям электросчетчиков за утренний час пик экономия электроэнергии составляет более 700, за год — более 200 тыс. кВт·ч.

Зонное движение поездов. Немаловажный резерв в уменьшении эксплуатационных расходов — организация зонного движения поездов. В застроенных и обжитых периферийных районах города пассажиропотоки, как правило, уже устоялись и сложились. Для их освоения требуются определенные размеры движения. В центральной части города этих размеров недостаточно. В таком случае можно в соответствии с пассажиропотоками организовать зонное движение, при котором часть поездов идет до конечной станции, а остальные оборачиваются на одной из промежуточных. Например, на Ждановско-Краснопресненской линии каждый третий поезд, следующий со станции Ждановская в сторону Планерная, оборачивается на станции Октябрьское поле. Недостаток этого способа движения поездов — необходимость ожидания частью пассажиров поезда, следующего до конечной станции. Поэтому применение зонного графика необходимо обосновывать специальными технико-экономическими расчетами с обязательным учетом интересов пассажиров.

Рассредоточение времени начала работы предприятий.

Каждый метрополитен старается справиться с пиковыми перевозками, постоянно повышая пропускную способность

линий и удлиняя поезда. Но увеличение частоты движения и составности поездов требует значительных финансовых затрат. Например, увеличение частоты движения шести-вагонных поездов на Кольцевой линии Московского метрополитена с 34 до 36 поездов в 1 ч сопряжено с добавлением парка подвижного состава (24 вагонов). При стоимости одного вагона около 80 тыс. руб. на данное мероприятие следует выделить примерно 2 млн. руб. (без учета других расходов по эксплуатации и др.).

Пики в пиках возникают вследствие неудачной взаимонакладки времени начала и окончания работы чрезмерно большого числа предприятий города. Построение рационального режима работы предприятий и организаций города с относительно большим разбросом времени начала работы — реальный недоиспользуемый резерв сглаживания внутри-часовых колебаний перевозок. Можно привести примеры из зарубежной практики. Так, на одной из самых загруженных станций метрополитена в Нью-Йорке, обслуживающей международный торговый центр, пассажиропоток в максимальный пик (с 17 до 17 ч 45 мин) в результате изменения рабочего дня удалось снизить на 18% [8].

Рациональное рассредоточение времени начала работы предприятий и организаций — сдвиг его не более чем на 15 мин — не повлечет за собой больших осложнений в бюджете времени населения. Однако перенесение времени начала работы части предприятий на раннее время, например с 9 ч на 8 ч 45 мин, заметно облегчит условия работы метрополитена, сгладит пики. Определенный опыт в этом имеется, в частности, в Москве. Решениями Мосгорисполкома начало работы предприятий и учреждений города распределено с 7 до 10 ч утра с 15-минутными интервалами.

#### **4. Автоматизированная система управления метрополитенами (АСУ — Метро)**

Значительно улучшить качество пассажирских перевозок в крупных городах позволят автоматизированные системы управления работой городского пассажирского транспорта (АСУ ГПТ), включающие в себя также перспективное и текущее планирование, материально-техническое снабжение, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и др. Ведомственная разобщенность различных видов транспорта (Управление пассажирского

транспорта и Управление таксомоторного транспорта и легковых автомобилей Мосгорисполкома, Министерство путей сообщения, Министерство речного флота и др.) и единая цель их функционирования вызывают необходимость разработки АСУ ГПТ в двух основных направлениях. Первое — создание общетранспортной (межведомственной или межотраслевой) автоматизированной системы, которая должна решать такие задачи, как обеспечение транспортных ведомств и организаций постоянной информацией о пассажирских потоках, выбор единой схемы маршрутов пассажирского транспорта в городе, оптимальное распределение капитальных вложений между транспортными ведомствами, материально-техническое снабжение и др. Общетранспортная АСУ ГПТ позволит координировать пассажирские перевозки в городах на различных видах транспорта, обоснованно развивать каждый из них, улучшить использование подвижного состава, снизить затраты времени населения на передвижения по городу, а значит, и повысить производительность его труда.

Второе — разработка и внедрение ведомственных (отраслевых) АСУ ГПТ, в том числе и АСУ метрополитенами. Задача отраслевых АСУ — наилучшее использование подвижного состава на маршрутах (выбор типа подвижного состава, составление расписаний движения по маршрутам, организация укороченного и экспрессного сообщений, планирование работы эксплуатационных предприятий, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и др.) при высоком качестве пассажирских перевозок. Создание отраслевых АСУ — дело научных организаций конкретных ведомств. Например, над АСУ — Метро — составной частью АСУЖТ — работает ВНИИЖТ. Разработана и утверждена основополагающая общесистемная техническая документация — техническое задание и целевая программа внедрения. Система предназначена для оптимизации планирования, автоматизации управления движением поездов (автоведение) и других технологических процессов, обеспечивающих перевозки (работа эскалаторов, устройств СЦБ, вентиляции и др.). Одна из главных целей АСУ — Метро — обеспечение возрастающих объемов перевозок с меньшими эксплуатационными и капитальными затратами, а именно совершенствование технологии перевозочного процесса и управления им с помощью ЭВМ на основе экономико-математических методов.

Особенность автоматизированной системы — объединение подсистем двух классов: АСУ ТП — непосредственное управление технологическими процессами (движение поездов, работа эскалаторов, устройств электроснабжения) и АСУП — организационно-административные задачи (планирование, учет, анализ и др.). Это позволит, во-первых, оптимизировать с помощью универсальных ЭВМ и своевременно без потерь выполнить планы; во-вторых, автоматизировать учет и отчетность на основе машинного контроля, а не вручную; в-третьих, объединить перевозочный и остальные процессы, в том числе и обеспечение (ремонт, учет, снабжение и др.), в единый технологический процесс с непрерывным замкнутым циклом. Система состоит из семи функциональных подсистем. Центральная из них «Управление перевозочным процессом» состоит из четырех частей (комплексов задач):

учет пассажиропотоков (на первом этапе эпизодический, а в дальнейшем непрерывный и оперативный) и планирование перевозок (квартальные и месячные планы, график движения, расписания работы локомотивных бригад и др.); автоматическое управление движением поездов (КСАУПМ). Начальный вариант внедряется на ряде линий Ленинградского, Московского и Харьковского метрополитенов. Сейчас эта субподсистема в основном автоматизирует функции машиниста: обеспечивает автоматическое открывание и закрывание дверей в вагонах, оповещение пассажиров, отправление поезда, выбор режима движения с заданным интервалом между поездами и экономным расходом энергии, плавное служебное торможение при подходе к станции, некоторую корректировку графика при небольших сбоях, в основном за счет сокращения времени следования по перегону. В дальнейшем функции ее намечено расширить, дополнив автоматизацией некоторых действий диспетчера — корректировки графика при сбоях в движении, которые нельзя устранить только сокращением перегонного времени хода, а надо еще и уменьшить стоянки и др.;

учет и отчетность по перевозкам — сбор данных как оперативных, так и для статистического учета;

диспетчерское управление работой эскалаторов, устройств электроснабжения, сантехнических и других устройств, без которых нельзя хорошо организовать перевозочный процесс.

Кроме рассмотренной, наиболее важные и крупные подсистемы АСУ — Метро вторая и третья. Вторая вместе с шестой обеспечивают ремонт подвижного состава и других технических устройств, третья позволит научно обоснованно планировать долгосрочные (на год, 5 лет и более) перспективы развития всех служб с проверкой и сравнением различных вариантов. Четвертая подсистема — статистический учет работы метрополитенов — база для планирования перевозок и другой работы в последующие периоды — обеспечивает все категории работников метрополитена справочной информацией. Пятая подсистема автоматизирует трудоемкие и монотонные операции бухгалтерского учета и повышает качество и своевременность отчетности. Седьмая подсистема поможет наладить учет кадров, быстрый и точный подбор специалистов разной квалификации.

Решение задач всех функциональных уровней возложено на сеть вычислительных центров (ВЦМ). Эти центры будут решать основные задачи семи подсистем как для служб (средний уровень), так и для Главного управления (верхний уровень), для депо и заводов метрополитенов (нижний уровень). Связь работников метрополитенов (пользователей системы) с ЭВМ в процессе решения задач может быть различной: прямой, когда результаты (план, сводка и др.) высвечиваются на экранах дисплеев или оперативный персонал (диспетчеры) получает их через манипуляторы, табло, телетайпы и др., и косвенной — по телефону через оператора.

В соответствии с утвержденным МПС координационным планом внедрение АСУ — Метро намечено в несколько очередей. Первая очередь будет сдана в опытную и промышленную эксплуатацию сначала на метрополитенах Ленинграда и Москвы, где создаются ВЦМ, а потом и Харькова, Киева, Тбилиси, Ташкента и Баку. В службах метрополитенов созданы технологические группы АСУ, которые участвуют в выборе и разработке технологического и математического обеспечения управленческих задач своих служб. Все программы для задач должны быть типовыми, унифицированными, т. е. пригодными для использования на всех метрополитенах страны.

## ВИ. ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ПЕРЕВОЗОК

### 1. Основные производственные фонды, фондоемкость и фондоотдача

Основные производственные средства метрополитена — тоннели, станции и их вестибюли, вагоны, путь и путевое хозяйство, эскалаторы и др. Основные фонды слагаются из капитальных вложений на основные средства. Например, структура основных фондов Московского метрополитена следующая:

	Сумма, млн. руб.	Доля, %
Тоннели . . . . .	894,5	46,0
Станции . . . . .	498,7	25,6
Подвижной состав . . . . .	160,5	8,3
Путь . . . . .	83,6	4,3
Эскалаторы . . . . .	43,9	2,4
Вестибюли . . . . .	35,7	1,8
Прочие . . . . .	226,7	11,6
Всего . . . . .	1943,6	100,0

На других метрополитенах структура фондов примерно такая же. Подземные сооружения (станции и тоннели) составляют более 70% основных средств. Поэтому и в структуре основных фондов выделены те основные средства, для которых установлены специальные нормы амортизационных отчислений для метрополитенов.

К основным показателям, характеризующим основные средства пассажирского транспорта, относятся: фондоемкость, фондоотдача, энерговооруженность труда, средний возраст оборудования, мощность тяговых средств на одно пассажирское место, скорость и регулярность перевозок. Фондоемкость характеризует стоимость основных производственных средств, приходящуюся на 1 руб. продукции. Фондоотдача перевозок на метрополитене — доходы от пассажирских перевозок, отнесенные к пассажирообороту. Фондоотдача — обобщающий показатель использования основных средств, показывающий, сколько продукции в денежном выражении выпущено предприятием за год в расчете на 1 руб. основных производственных фондов. Повыше-

ние стоимости основных средств влечет за собой снижение фондоотдачи.

В связи с повышением плотности сети и снижением наполняемости вагонов (средней за год) фондоотдача будет в дальнейшем снижаться.

Энерговооруженность труда характеризует использование всех видов энергии (электрической, механической и др.). На метрополитенах количество энергии определяется мощностью моторвагонных поездов в расчете на одно пассажирское место. На всех метрополитенах энерговооруженность растет. Поэтому необходимо совершенствовать технологию ремонта и содержания основных средств и улучшать использование подвижного состава и технических средств. Это позволит обеспечить перевозки с наименьшими трудовыми и денежными затратами.

Экономическая эффективность улучшения использования подвижного состава может быть измерена рядом натуральных и стоимостных показателей. К натуральным относятся: производительность труда, расход электроэнергии на тягу поездов, потребность в подвижном составе, необходимая пропускная способность, время, затрачиваемое пассажирами на поездку. Стоимостные показатели — себестоимость перевозок, капитальные вложения на новый подвижной состав и другие перевозочные средства, условный денежный эффект от ускорения перевозок пассажиров, выраженный количеством сэкономленного времени в пассажиро-часах, и стоимость 1 пассажиро-ч.

Наибольший эффект дает улучшение использования вместимости подвижного состава. С увеличением коэффициента использования вместимости растет производительность труда, так как сокращаются трудовые затраты (в человеко-часах) на 1 пассажиро-км, уменьшаются расходы на электроэнергию, запасные части и материалы для ремонта вагонов, верхнего строения пути. Потребность в подвижном составе также уменьшается, и приближенно можно считать, что она обратно пропорциональна использованию вместимости подвижного состава.

### 2. Эксплуатационные расходы

Основные статьи эксплуатационных расходов на метрополитенах — фонд заработной платы, начисления на нее, оплата электроэнергии на тягу поездов и собственные

нужды, материалов и топлива, амортизационные отчисления и др. Около 60% затрат приходится на две службы: подвижного состава и движения. Распределение эксплуатационных затрат на Московском метрополитене, например, по службам

	Доля, %
Движения . . . . .	15,1
СЦБ и связи . . . . .	3,8
Электростанций и сетей . . . . .	9,4
Эскалаторов . . . . .	4,6
Пути . . . . .	5,3
Тоннельных сооружений . . . . .	4,4
Санитарно-технической . . . . .	4,5
Подвижного состава . . . . .	43,4
Управления . . . . .	8,7
Прочим . . . . .	0,8

Все затраты на организацию перевозок можно подразделить на зависящие (переменные) и не зависящие (постоянные) от размеров движения поездов и числа перевезенных пассажиров. К переменным относятся расходы на электроэнергию для тяги поездов, содержание поездных бригад (заработная плата машинистов и их помощников с начислениями), коммерческие расходы станций (содержание штата работников службы движения, обеспечивающего сбор и контроль платы за проезд: контролеров автоматических пропускных пунктов, операторов разменных автоматов и счетных машин), содержание подвижного состава, включая и средний ремонт на заводе, уборку станций и прилегающих к ним городских территорий, приписанных к метрополитену (содержание машинистов уборочных машин, расходы на материалы для уборки). На Московском метрополитене переменные расходы составляют примерно 30—35% общих эксплуатационных затрат, на железных дорогах — примерно 50%, а на других видах городского транспорта 63—90%.

Постоянные расходы — это расходы на содержание технического штата станций: работников службы движения, непосредственно связанных с движением поездов (заработная плата поездным диспетчерам и начальникам станций, дежурным по блокпостам и станциям, дежурным по приему и отправлению поездов, операторам), амортизационные отчисления от стоимости постоянных технических устройств, цеховые и общие эксплуатационные расходы, на содержа-

ние и ремонт эскалаторов, энергосети, путевого хозяйства, тоннелей и сооружений, устройств СЦБ и связи, оборудования санитарной техники и др.

Структура эксплуатационных расходов метрополитенов в основном такая же, как у железных дорог. Велика доля в них заработной платы. На отдельных метрополитенах в общих расходах она колеблется в диапазоне от 35 до 55%.

Расходы на тягу поездов и содержание подвижного состава составляют около 16% эксплуатационных затрат (примерно 50% переменных расходов). Потребление электроэнергии и периодичность ремонтов и осмотров подвижного состава зависят от пробега подвижного состава. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы в течение суток количество подвижного состава, находящегося в движении, соответствовало складывающимся потребностям в перевозках. Недопустимо следование поездов на линии со значительной недогрузкой вагонов. Необходима также система организации движения поездов, которая бы позволяла приспособить выпуск подвижного состава на линию к изменениям в спросе на перевозки. Этого можно добиться, помимо изменения интервала движения на протяжении суток, уменьшением числа вагонов в поезде. Этой цели также способствуют зонное движение поездов с оборотом на тех станциях, где нагрузка перегонов резко падает, а также различные варианты маршрутизации.

Более трети эксплуатационных расходов составляют амортизационные отчисления. Они состоят из средств на ремонты и отчислений на полное восстановление основных средств метрополитена (реновацию). За счет амортизационных отчислений выполняются капитальный и средний ремонты основных технических средств. Нормы амортизационных отчислений на метрополитенах для шести групп основных средств приведены в табл. 29. По остальным группам и видам основных средств нормы те же, что и в других отраслях народного хозяйства.

По нормам амортизационных отчислений можно определить срок службы основных средств. Например, при стоимости 66 тыс. руб. на производство ремонтов каждого вагона типа Д инвентарного парка ежегодно из государственного бюджета отчисляется 5,48% стоимости, или  $66 \times 0,0548 = 3,6$  тыс. руб. Последний (в срок службы) капитальный ремонт не производится, так как к его моменту

Таблица 29

Нормы амортизационных отчислений  
от основных средств метрополитена, %

Группа	Норма	В том числе		Срок службы, лет
		на капитальные и средние ремонты	на восстановление (реновацию)	
Подвижной состав	8,28	5,48	2,8	35,7
Эскалаторы	7,7	6,0	1,7	58,8
Пути	1,87	1,67	0,2	500
Вестибюли	1,2	0,5	0,7	142,9
Станции	0,266	0,066	0,2	500
Тоннели	0,24	0,04	0,2	500

вагон списывают и заменяют новым. Срок службы определяют по формуле

$$D = 100 : \alpha,$$

где  $\alpha$  — амортизационные отчисления на реновацию, %.

Для подвижного состава  $D = 100 : 2,8 = 35,7$  года, для тоннелей —  $100 : 0,2 = 500$  лет и т. д. В течение 35,7 года накапливаются средства, на которые метрополитен может приобретать новые вагоны. При открытии новых линий основные средства приобретаются за счет государства (расширенное воспроизводство). За пятилетие 1976—1980 гг. затраты на эксплуатацию метрополитенов возросли со 130,2 млн. до 189,1 млн. руб.; в Москве — с 79,9 млн. до 103,6 млн. руб. Расходы на 1 км эксплуатационной длины составили 562,1 тыс. руб.

Значительно увеличились амортизационные отчисления, зависящие от основных фондов метрополитенов. Так за X пятилетку среднегодовая стоимость основных производственных средств возросла на Московском метрополитене на 24,3%, Ленинградском — на 51,8, Киевском — на 36,7, Тбилисском — на 77,4, Бакинском — на 21,4% — сказались ввод в эксплуатацию новых линий на действующих и открытие новых метрополитенов в Харькове и Ташкенте.

На рост расходов ощутимо влияет увеличение потребления электроэнергии на тягу поездов, что объясняется увеличением частоты движения поездов, ростом скоростей. Увеличение фонда заработной платы объясняется в основном увеличением контингента работников для новых линий.

### 3. Себестоимость перевозок и производительность труда

Себестоимость перевозок — показатель, наиболее полно характеризующий экономичность работы метрополитена. В нем находят отражение конкретные условия и результаты работы всех служб и подразделений, техническое вооружение, методы организации перевозок и количественные и качественные показатели. Себестоимость перевозок играет важную роль при решении многих задач. Выражается она затратами, приходящимися на единицу продукции (услуг) Получают ее делением общих эксплуатационных расходов на общий объем продукции — предоставленных услуг:

$$c = 100 \text{ Э/Е},$$

где Э — общие эксплуатационные расходы на организацию и выполнение пассажирских перевозок, руб.;

Е — продукция (услуги) за анализируемый или планируемый период времени, число пассажиров или пассажиро-км.

Несмотря на постоянное увеличение объема перевозок и повышение производительности труда, себестоимость перевозок на всех метрополитенах, как правило, постоянно растет (табл. 30). За период 1970—1980 гг. она увеличилась на Московском метрополитене на 22%, на Ленинградском — на 10%. Возросла за X пятилетку и себестоимость 10 пассажиро-км (отношение эксплуатационных затрат к объему выполненной работы в пассажиро-км). В целом на метрополитенах страны она увеличилась с 4,97 до 5,51 коп.

На себестоимость влияет стоимость основных фондов. Например, на Московском метрополитене основные производственные фонды удвоились, а объем перевозок увеличился лишь на 41,7%. Себестоимость перевозок может возрасти отчасти из-за удорожания основных средств на новых

Таблица 30

Себестоимость пассажирских перевозок на метрополитенах СССР, коп./пассажира

Год	Москва	Ленинград	Киев	Тбилиси	Баку	Харьков	Ташкент
1970	3,67	3,88	4,23	6,33	8,70	—	—
1975	4,06	4,72	4,58	5,44	6,30	6,80	—
1980	4,94	5,17	4,70	6,37	5,84	5,95	11,26

линиях, а также из-за ввода в эксплуатацию отдельных участков, на которых выручка от возрастающих пассажиро-перевозок не покрывает расходов на строительство. Значительно влияет на себестоимость рост средней дальности перевозок пассажиров при неизменной плате за проезд.

Отчасти увеличение себестоимости объясняется повышением цен на некоторые материалы и электроэнергию, заменой подвижного состава более комфортабельным, но и более дорогим. В связи с дальнейшим улучшением условий перевозок пассажиров, снижением наполнения подвижного состава, намечаемого на перспективу, тенденция к повышению себестоимости сохранится и в будущем. Однако, выявляя и реализуя внутренние резервы, следует добиваться того, чтобы это повышение было минимальным. Между технико-эксплуатационными показателями существует некоторое противоречие. В частности, себестоимость перевозок тем ниже, чем больше пассажиров перевозит каждая единица подвижного состава. Поэтому в экономике появился новый термин «запланированный убыток производства», который оправдан стремлением повысить качество предоставляемых населению услуг транспорта. Себестоимость перевозок определяет размеры прибыли (убытка), уровень рентабельности, отчисления в фонды экономического стимулирования метрополитена, поэтому необходимо всемерно снижать эксплуатационные расходы на перевозки.

Контингент, или численность работников, значительно влияет на экономическую деятельность метрополитена, в том числе и на производительность труда. Контингент в основном зависит от протяженности линий метрополитена и числа станций, а также густоты пассажиропотоков и уровня автоматизации производственных операций перевозочного процесса. Например, комплексная система автоматического управления движением поездов (КСАУДП) позволяет управлять поездом одному машинисту без помощника. Совершенствование аппаратуры контрольно-кассовых операций на станциях и устройств информации пассажиров позволило высвободить на Московском метрополитене, например, около 500 контролеров, кассиров и работников других профессий. Переход на клееболтовые изолирующие стыки и усиление узлов контактного рельса позволили повысить надежность работы устройств пути и высвободить 120 путевых обходчиков. Сокращение контингента снижает эксплуатационные затраты на перевозки и

улучшает многие экономические показатели деятельности метрополитена. Поэтому число работников, приходящихся на 1 км сети линий, постоянно снижается.

На метрополитене производительность труда исчисляется объемом работ в пассажиро-километрах на одного работника. В последние годы она значительно возросла, но на вновь открываемых линиях бывает несколько ниже, чем на эксплуатируемых длительное время. Это объясняется тем, что в период освоения требуется несколько больший контингент работников.

#### **4. Доходы, прибыль, рентабельность и окупаемость метрополитенов**

Доходы метрополитена слагаются из платы, вносимой пассажирами за пользование его услугами. Так как этот вид транспорта предназначен прежде всего для обеспечения быстрых и удобных перевозок, получение прибыли от его деятельности — не главный показатель рентабельности. Прибыль по эксплуатационной деятельности каждого метрополитена представляет собой разность между доходами и расходами. Уровень рентабельности определяется отношением прибыли к эксплуатационным расходам (в %). Доходы от перевозок пассажиров, например, в 1980 г. на всех метрополитенах страны составили 191,2 млн. руб. и увеличились по сравнению с 1975 г. на 32,4%, расходы же возросли до 188,5 млн. руб. — на 44,8%. Темпы роста последних были опережающими, поэтому прибыль уменьшилась с 14,2 млн. до 2,6 млн. руб.

За все время эксплуатации Московского метрополитена общая сумма накопленных (прибыли от перевозки пассажиров) составила более 600 млн. руб., что позволило возместить затраченные государством средства на строительство четырех очередей протяженностью 70 км. За последние годы темпы окупаемости замедлились из-за повышения стоимости строительства. С января 1981 г. в целом на всех метрополитенах расходы превышают доходы, и метрополитены находятся на дотации государства. Из шести действующих метрополитенов только два рентабельные — Московский и Киевский. Однако и на них, работающих безубыточно, рентабельность перевозок за последние годы снижается. Снижение рентабельности сопряжено в основном с вводом в экс-

плуатацию линий с меньшими объемами работы и осуществлением мероприятий, направленных на улучшение условий перевозок пассажиров и повышение пропускной и провозной способности линий и станций.

Повысить эффективность работы метрополитенов следует лучшим использованием резервов, снижением трудовых затрат, ускорением научно-технического прогресса, механизацией и автоматизацией производственных процессов, совершенствованием организации производства и управления, внедрением научной организации труда, повышением его производительности. Важно также обеспечить экономию материальных ресурсов, лучше использовать материалы и электроэнергию, комплексно воздействовать экономическими рычагами и стимулами на дальнейшее совершенствование организации перевозок.

Государственный проектно-изыскательский институт «Метрогипротранс» считает правильным наряду с определенными показателями экономической эффективности выявлять критерии социальной эффективности метрополитенов



Рис. 52. Номограмма для определения условного срока окупаемости линий метрополитена

по сравнению с другими видами транспорта. Существуют два главных социальных критерия, которые влияют на развитие транспортной системы города: экономия времени горожан при пользовании услугами транспорта и, так называемая, транспортная усталость человека. Исследованиями ИКТП при Госплане СССР установлено, что при затратах времени на передвижение до 30 мин производительность труда существенно не снижается.

Пассажиры Московского метрополитена совершают поездки, затрачивая уже более 30 мин. Общее время на каждое передвижение («от двери до двери») в Москве и других крупных городах страны занимает в среднем около 1 ч, а то и более. При вводе в действие новых участков метрополитена заметно сокращаются затраты времени населения города на транспортные передвижения. Так, в Киеве с выходом метрополитена в левобережную часть города — Дарницу время на поездку из этого района в центр города сократилось втрое (было 45 мин). Эффект от сокращения времени каждого такого передвижения необходимо и возможно хотя бы в первом приближении исчислять в денежном выражении:

$$\mathcal{E} = t_p \rho \Pi : 60, \text{ или } \mathcal{E} = T_a \Pi$$

где  $\mathcal{E}$  — условная общая экономия тыс. руб. в год на 1 км; эксплуатационной протяженности линий метрополитена.

$t_p$  — экономия времени при одном передвижении по сравнению с транспортным обслуживанием до открытия метрополитена или его участка, мин;

$\rho$  — пассажиронапряженность нового участка, тыс. пассажиров/сут на 1 км;

$T_a$  — общая экономия времени пассажиров, тыс. пассажиро-ч в сутки;

$\Pi$  — стоимость 1 пассажиро-ч, руб.

Срок окупаемости вновь вводимой в эксплуатацию линии метрополитена по экономии времени пассажира определяется соотношением

$$T_{ок} = 1000 C : \mathcal{E},$$

где  $C$  — стоимость строительства 1 км линии, млн. руб., или по номограмме (рис. 52).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александр К. Э. Скорость передвижения на метрополитене. — Метрострой, 1966, № 6, с. 28—31.
2. Барышевский Т. А. Эффективность изменения состава поездов. — Метрострой, 1967, № 4, с. 23—24.
3. Гольц Г. А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
4. Городской пассажирский транспорт/ Под ред. Д. С. Самойлова. М.: Высш. школа, 1975. 231 с.
5. Закс М., Зиновьев А. Эксплуатационная нагрузка вагонов. — Метрострой, 1974, № 4, с. 26—27.
6. Казанцев С. С. О повышении вместимости подвижного состава. — Метрострой, 1972, № 4, с. 18—19.
7. Карпухин Н. А. Вопросы организации движения поездов на Московском метрополитене. М.: Трансжелдориздат, 1939. 51 с.
8. Қобзаев П. П. Проблемы, нуждающиеся в решении. — Гор. хоз-во Москвы, 1978, № 3, с. 32.
9. Лебедев М. А. Повышение экономических показателей Московского метрополитена. — Тр. ВНИИЖТ, 1978, вып. 598, с. 100—109.
10. Лившиц Д. М. Планирование городского пассажирского транспорта. М.: Транспорт, 1978. 206 с.
11. Лиманов Ю. А. Метрополитены. М.: Транспорт, 1971. 359 с.
12. Малинов В. М. Способы расчета загрузки перегонов линий метрополитена. — Вестник ВНИИЖТ, 1982, № 3, с. 50—52.
13. Овчинников Ф. Е. Показатели и методы измерения производительности труда на метрополитенах. — Вестник ВНИИЖТ 1980, № 4, с. 59—62.
14. Организация движения поездов и работы станций метрополитена. А. С. Бакулин, В. А. Пронин, Е. А. Федоров и др. М.: Транспорт, 1981. 230 с.
15. Правдин Н. В., Негрей В. Я. Прогнозирование пассажирских потоков. М.: Транспорт, 1980, 222 с.
16. Саболин В. А. Пассажирский транспорт в одиннадцатой пятилетке. М.: Знание, 1982. 64 с.
17. Сооружения, устройства и подвижной состав метрополитена/ А. С. Бакулин, К. И. Кудринская, П. А. Кун и др. М.: Транспорт, 1979. 239 с.
18. Якушкин И. М. Влияние пассажирообмена станций на пропускную и провозную способность линий метрополитена: — Тр. Ин-та комплексных трансп. проблем, 1970, вып. 17, с. 253—277.
19. Якушкин И. М. Вопросы развития пригородных пассажирских перевозок в СССР. — Тр. Ин-та комплексных трансп. проблем, 1971, вып. 25, с. 119—155.
20. Якушкин И. М. Время передвижения пассажира Московского метрополитена. — Гор. хоз-во Москвы, 1960, № 7, с. 24—26.
21. Якушкин И. М. За маршрутизацию движения поездов метрополитена. — Метрострой, 1965, № 1, с. 33—36.
22. Якушкин И. М. Пути повышения эффективности эксплуатации метрополитена. — Гор. хоз-во Москвы, 1966, № 6, с. 29—31.
23. Якушкин И. М. Учитывать социальные факторы. — Метрострой, 1979, № 6, с. 17—18.
24. Якушкин И. М., Тимашев Н. С. Новые принципы планировки станций метрополитена. — Гор. хоз-во Москвы, 1968, № 10, с. 26—28.
25. Якушкин И. М., Федоров Е. А. Метрополитен и город — Ж.-д. трансп., 1977, № 8, с. 66—69.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора . . . . .	3
I. Внутригородские пассажирские перевозки и роль метрополитена . . . . .	4
1. Характеристика и учет перевозок . . . . .	4
2. Целесообразность строительства метрополитена в городе . . . . .	17
3. Основные технико-эксплуатационные показатели работы метрополитена . . . . .	21
II. Обследование пассажирских потоков . . . . .	34
1. Изучение спроса на услуги метрополитена . . . . .	34
2. Выборочный оперативный метод натурного обследования . . . . .	41
III. Неравномерности распределения пассажиропотоков во времени и пространстве . . . . .	48
1. Сезонные перевозки . . . . .	48
2. Закономерности изменения перевозок по дням недели . . . . .	52
3. Распределение перевозок по часам суток . . . . .	56
4. Внутричасовые колебания и пики в пиках . . . . .	58
5. Пассажирские потоки на станциях . . . . .	62
6. Распределение пассажиропотоков по направлениям движения и перегонам . . . . .	66
7. Распределение пассажиров по вагонам и дверям вагона . . . . .	71
8. Интегральная неравномерность распределения пассажиропотоков . . . . .	86
IV. Пропускная и провозная способность линий и станций . . . . .	90
1. Пропускная способности линии . . . . .	90
2. Провозная способность линии . . . . .	94
3. Функционально-планировочные элементы станций . . . . .	99
V. График и размеры движения поездов . . . . .	103
1. Размеры движения на городском транспорте . . . . .	103
2. Методы определения размеров движения на метрополитене . . . . .	107
3. Построение графика движения . . . . .	114
4. Показатели графика . . . . .	119
5. Нормы наполнения вагонов . . . . .	123
6. Рациональная длина поезда . . . . .	132
VI. Время и скорости передвижения пассажиров . . . . .	137
1. Составные элементы времени передвижения . . . . .	137
2. Составные элементы скоростей движения поездов . . . . .	145
3. Совершенствование организации перевозок . . . . .	150
4. Автоматизированная система управления метрополитенами (АСУ—Метро) . . . . .	158
VII. Вопросы экономики перевозок . . . . .	162
1. Основные производственные фонды, фондоемкость и фондоотдача . . . . .	162
2. Эксплуатационные расходы . . . . .	163
3. Себестоимость перевозок и производительность труда . . . . .	167
4. Доходы, прибыль, рентабельность и окупаемость метрополитенов . . . . .	169
Список литературы . . . . .	172

**Иван Михайлович Якушкин**

**ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ  
НА МЕТРОПОЛИТЕНАХ**

Обложка художника **А. А. Медведева**

Технические редакторы **Е. В. Жарова, Г. П. Федорова**

Корректор **Г. А. Попова**

ИБ № 1958

---

Сдано в набор 23.07.82. Подписано в печать 14.12.82. Т-17364.

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать.

Усл. печ. л. 9,24+0,21 вкл. Усл. кр.-отт. 9,66. Уч.-изд. л. 9,81+0,11 вкл.

Тираж 1300 экз. Заказ 1064 Цена 55 коп. Изд. № 1-3-1/4 № 405

Издательство «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва, Басманный туп., 6а

---

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46