

**ТРУДЫ** ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
ИНСТИТУТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

ВЫПУСК 75

Н. И. БЕЩЕВА  
Канд. техн. наук

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ  
ДИАМЕТРЫ  
В БОЛЬШИХ  
ГОРОДАХ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Москва 1953

В книге излагаются вопросы, связанные с проектированием и эксплуатацией в больших городах железнодорожных диаметров, обеспечивающих удобную связь города с пригородными зонами.

Книга рассчитана на инженерно-технических и научных работников, а также может служить пособием при проектировании железнодорожных диаметров в больших городах.

---

*Редактор В. Я. ЧЕРНЯВСКИЙ*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Осуществляемый под руководством Коммунистической партии и Советского правительства постепенный переход от социализма к коммунизму предусматривает дальнейшее всестороннее развитие производительных сил страны, исчезновение существенного различия между городом и деревней, между промышленностью и сельским хозяйством, что создаёт все предпосылки для реконструкции существующих и строительства новых социалистических городов, в том числе и больших.

Развитие социалистических городов как крупных промышленных и культурных центров и рост благосостояния трудящихся обуславливают также резкое усиление городских и пригородных перевозок.

В соответствии с этим в городах нашей страны получают быстрое развитие различные виды внутригородского наземного (трамвай, автобус, троллейбус и др.) и подземного (метрополитен) транспорта.

Для улучшения обслуживания городского и пригородного населения наряду с развитием всех видов внутригородского транспорта исключительно важное значение приобретает всемерное расширение сообщения города с его пригородами.

Широкая электрификация пригородных железнодорожных линий создаёт необходимые условия для рационального сочетания пригородного и внутригородского транспорта и улучшения обслуживания пассажиров.

Одним из существенных вопросов улучшения обслуживания населения больших городов в транспортном отношении является сооружение железнодорожных диаметров, обеспечивающих удобную связь отдельных районов города с его пригородами.

Проектирование и сооружение железнодорожных диаметров должны увязываться с вопросами планировки городов, сложившейся в них, и перспективной транспортной сетью и в целом обеспечивать удобное обслуживание как городских, так и пригородных пассажиров.

Проблема сооружения железнодорожных диаметров и правильной организации их эксплуатационной работы не получила ещё необходимой теоретической разработки, особенно в части опреде-

ления пропускной и провозной способности диаметров, выбора необходимых параметров моторвагонного подвижного состава, предназначенного для совместной работы на подземных диаметрах и наземных пригородных линиях, и создания научно обоснованных принципов организации движения на железнодорожных диаметрах.

В настоящем труде исследуется комплекс основных вопросов, связанных с сооружением и эксплуатацией железнодорожных диаметров в больших городах.

Многие из освещаемых в труде теоретических вопросов рассматриваются впервые и не могут считаться окончательно решёнными.

Замечания и пожелания по настоящему труду Институт просит направлять по адресу: Москва, 164, Графский пер., д. 11. ЦНИИ МПС.

*Директор Института*  
**И. А. Иванов**

*Руководитель отделения  
эксплуатации железных дорог*  
**К. С. Симонов**

## *Раздел I*

### **РАЗВИТИЕ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ В СССР**

#### **1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ**

Размещение городов по территории страны, их размеры и условия развития определяются уровнем производительных сил и формой производственных отношений каждой экономической формации — рабовладельческой, феодальной, капиталистической и социалистической.

Возникавшие в древности города располагались у естественных водных путей (рек, морей, проливов и др.). Зачатки городских поселений на территории СССР относятся к I тысячелетию до новой эры.

Как показали замечательные раскопки советских археологов (проф. Толстов и др.), ещё в глубокой древности (IV в. до н. э. — первые века н. э.) в Средней Азии в долине рек Сыр-Дарья и Амударья возникли крупные города с высокой и своеобразной культурой, опережавшей во многих отношениях культуру древнегреческих городов.

Известно, что в Средней Азии феодальными городами с развитым ремесленным производством и торговлей были Бухара, Самарканд, Мерв, Ургенч и др. В Закавказье крупнейшими городами были Тбилиси (с VI в. центр Закавказья), Кутаиси, Шемаха, Баку и др., лежавшие на оживлённом сухопутном торговом пути в Индию.

Возникновение и рост древнерусских городов относятся к VI в., когда в оборонительных целях были созданы государственно-княжества — Волынь с Киевом, Новгород и др.

В период IX—X вв. в русских городах получают широкое развитие ремесленное производство и торговля, что способствовало росту городов и превращению их из городов-крепостей в крупные ремесленные и торговые центры.

По неполным летописным данным на территории России в XI в. насчитывалось 86 городов, в XII в. упоминается ещё о 120, а ко времени монгольского нашествия количество городов доходило до 250\* (по археологическим данным, городов было больше).

\* Большая Советская Энциклопедия, изд. 2-е, т. 12.

К крупнейшим русским городам XI—XIII вв. относятся Киев, Чернигов, Владимир-Волынский, Суздаль, Владимир-на-Клязьме, Смоленск и др. Население древних русских городов составляло 10—20 тыс., а таких крупных городов, как Киев и Новгород, — несколько десятков тысяч человек.

Создание в XV в. централизованного Русского государства повлекло за собой рост и укрепление городов и в первую очередь Москвы, являвшейся уже в этот период большим городом с развитыми ремесленными производствами и имевшей прочные торговые связи с Востоком, Средней Азией и Закавказьем.

С завоеванием во второй половине XVI в. Казани и Астрахани возникли новые города — Саратов, Самара и др.

В XVII в. происходит дальнейшее усиление Русского государства за счёт слияния отдельных земель и княжеств, что имело огромное значение для роста числа городов и превращения их в крупные центры ремесленного производства и торговли. В XVII в. в России было построено 59 новых городов, из них такие, как Томск (1604 г.), Симбирск (1648 г.), Харьков (1650 г.), Иркутск (1669 г.) и др.

В первой половине XVIII в. благодаря крупным преобразованиям Петра I развиваются промышленность и торговля, зарождаются первые капиталистические мануфактуры и начинается процесс разложения крепостного хозяйства.

Развитие промышленного производства, торговых связей России с Западом и Востоком, а также создание капиталистических мануфактур вызвали дальнейший рост городов на территории России.

В XVIII в. на территории России было построено 206 новых городов, причём многие из возникших городов имели ярко выраженный оборонный, торговый и промышленный характер (Петро-заводск, Екатеринбург, порт Таганрог и др.). В первой четверти XVIII в. был создан новый крупнейший город в России — Петербург, быстро превратившийся в важнейший экономический, политический и культурный центр страны.

В результате развития промышленного производства в России происходит интенсивный рост городского населения. Так, если в 1725 г. посадское (городское) население страны составляло всего 3%, то в 1796 г. оно увеличилось до 4,1%, в 1812 г. — до 4,4%, а в 1851 г. — уже до 7,8%.

Во второй половине XIX в. и в начале XX в. в России происходит усиление капиталистических отношений, вызвавшее дальнейший рост существующих городов и возникновение новых промышленных центров, в результате чего городское население резко увеличилось.

Рост городского населения за период с 1851 по 1917 г. характеризуется данными, приведёнными в табл. 1\*.

\* Большая Советская Энциклопедия, изд. 2-е, т. 12

Таблица 1

Год	Городское население	
	в тыс. человек	в % ко всему населению
1851	3 482	7,8
1863	8 157	10,8
1897	16 785	13,0
1914	24 700	14,9
1917	26 300	15,6

Приведённые в табл. 1 цифры показывают, что за пореформенный период городское население увеличилось более чем в два раза, т. е. с 8,2 (1863 г.) до 16,8 млн. человек (1897 г.), а за 20-летний период, с 1897 по 1917 г., — более чем в 1,5 раза, т. е. с 16,8 до 26,3 млн. человек.

В условиях капиталистического хозяйства размещение производительных сил в России было крайне неравномерным. В результате немногим относительно более развитым центральным районам противостояли обширные окраины, служившие в качестве аграрно-сырьевых придатков и находившиеся на положении колоний.

Вследствие неравномерного размещения производительных сил крайне неравномерно распределялись по территории страны и её города, в особенности крупные.

За период 1897 — 1917 гг. в центральных, южных и восточных районах страны такие города, как Коломна, Новониколаевск, Хабаровск, Красноярск, Челябинск, Екатеринослав, Харьков, Баку и др., превратились в крупные промышленные центры, в которых население увеличилось в несколько раз. В то же время города Средней Азии росли очень медленно, а население некоторых из них даже несколько сократилось.

По данным единственной переписи, которая была в России в 1897 г., в границах всей Российской империи было 44 крупных города (с населением более 50 тыс. человек) против 13 крупных городов в 1863 г.

К 1917 г. число городов в России увеличилось до 721, которые (за исключением Москвы и Петербурга) по размерам населения в них распределялись следующим образом: города с населением до 2 тыс. — 7,1%, с 2 до 10 тыс. — 44,7%, с 10 до 25 тыс. — 27,5%, с 25 до 100 тыс. — 17,2% и города, имеющие население свыше 100 тыс., — 3,5%.

Характерно отметить, что население Москвы увеличилось за период 1785 — 1917 гг. со 180 до 1 701 тыс. человек, а Петербурга за период 1770 — 1917 гг. со 158,8 до 2 165 тыс. человек.

Великая Октябрьская социалистическая революция, уничтожившая частную собственность на средства производства в России, создала все предпосылки для построения социалистического общества, для хозяйственного и культурного развития страны.

На основе социалистического способа производства и планового развития народного хозяйства были созданы необходимые условия для равномерного размещения промышленности, приближения её к источникам сырья, энергии, к районам потребления промышленной продукции и для быстрого роста городского населения и развития социалистических городов.

В результате, если городское население в царской России, по переписи 1897 г., составляло 13,0% (16,8 млн. человек), то в Советском Союзе, по переписи 1926 г., в городах жило уже 17,9% (26,3 млн. человек), по переписи 1939 г. — 32,8% (55,9 млн. человек), т. е. почти 1/3 всего населения. В настоящее время население наших городов составляет около 80 млн. человек.

Приведённые данные показывают, что в условиях социалистического хозяйства Советскому Союзу понадобилось в довоенный период только 13 лет (1926—1939 гг.), чтобы городское население увеличилось с 26,3 млн. до 55,9 млн., т. е. более чем в два раза, и только 9 лет в послевоенный период (1945—1953 гг.), чтобы численность городского населения возросла до 80 млн. человек, т. е. в три раза по сравнению с 1926 г. Таких темпов прироста городского населения не знало ни одно государство в мире. Так, США для удвоения городского населения потребовалось 30 лет, а Великобритании — 70 лет.

Важнейшими факторами быстрого роста городского населения в нашей стране и развития социалистических городов явились организованный и планомерный прилив сельского населения в крупные города и промышленные центры и естественный прирост городского населения.

При этом следует отметить, что численность городского населения возрастала не только за счёт развития существующих городов, но и за счёт образования новых городов, размещённых по территории Советского Союза в соответствии с планомерным развитием производительных сил страны.

В первой пятилетке (1928/29—1932/33 гг.) было начато строительство 60 новых городов и рабочих посёлков и развёрнута реконструкция 30 крупных городов.

Во второй пятилетке (1933—1937 гг.) был выполнен огромный объём работ по строительству и реконструкции свыше 400 городов.

В третьей пятилетке осуществлялось дальнейшее строительство и реконструкция городов, значительно превосходившие фактически выполненные работы во второй пятилетке.

В программу строительства и реконструкции были включены такие города, как Москва, Ленинград, Харьков, Киев, города

Урала и Сибири, посёлки Донбасса, города Закавказских, Среднеазиатских и других республик.

В результате успешного развития социалистической экономики наряду с ростом общего числа городов в СССР увеличилось также число крупных городов (с числом жителей более 50 тыс. человек), что можно видеть из данных табл. 2.

Таблица 2

Группы городов по числу жителей (в тыс.)	Число городов			
	1897 г.	1914 г.	1926 г.	1939 г.
От 50 до 100 . . . . .	25	50	52	92
Свыше 100 . . . . .	14	21	33	82
Итого . . . . .	39	71	85	174

Если распределить большие города СССР с числом жителей более 100 тыс. на группы, то получим данные, приведённые в табл. 3\*.

Таблица 3

Группы городов по числу жителей (в тыс.)	Число городов	
	1926 г.	1939 г.
Свыше 500 . . . . .	3	11
400—500 . . . . .	3	5
300—400 . . . . .	2	3
200—300 . . . . .	4	20
100—200 . . . . .	21	43
50—100 . . . . .	52	92
Итого . . . . .	85	174

Как видно из приведённых данных, за период 1926—1939 гг. число городов с населением свыше 500 тыс. жителей увеличилось более чем в 3 раза, с населением от 200 до 300 тыс. жителей увеличилось в 5 раз, с населением от 100 до 200 тыс. жителей в 2 раза и с населением от 50 до 100 тыс. жителей возросло в 1,7 раза.

\* Справочник стран мира. ОГИЗ, 1946.

Общее число городов с населением свыше 50 тыс. жителей за 13-летний период между двумя последними переписями увеличилось в СССР более чем в 2 раза.

Великая Отечественная война 1941—1945 гг. вызвала огромные сдвиги в размещении производительных сил и развитии городов и привела к временной задержке роста городов, оказавшихся в полосе военных действий, из которых было вывезено в глубокий тыл оборудование всех более или менее крупных предприятий и эвакуировалась значительная часть населения.

В связи с перемещением промышленности из фронтовых и прифронтовых районов страны строительство и реконструкция городов осуществлялись главным образом в Поволжье, на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке и в Средней Азии.

В результате в этих районах страны за период 1941—1945 гг. возникло много новых городов и посёлков городского типа.

Несмотря на то, что в Великую Отечественную войну народному хозяйству СССР был нанесён огромный ущерб, четвёртый (первый послевоенный) пятилетний план развития народного хозяйства СССР был успешно выполнен; было восстановлено, построено и введено в действие около 7 тыс. крупных промышленных предприятий и достигнуты огромные успехи в восстановлении разрушенных городов.

Величайшие социалистические преобразования, осуществлённые в нашей стране под руководством Коммунистической партии, определили также крупнейшие сдвиги в географическом размещении городов.

За период с 1926 по 1939 г. благодаря созданию новых промышленных районов (вторая угольно-металлургическая база в Кузбассе, вторая нефтяная база в Башкирии и др.) и развитию тяжёлого машиностроения на Урале и в Сибири был вызван огромный рост социалистических городов, районных центров и рабочих посёлков.

За годы пятилеток на Урале было создано 50 новых городов (Магнитогорск, Березники, Краснотурьинск и др.) и значительно реконструированы и расширены старые города (Челябинск, Свердловск, Нижний Тагил и др.).

В Сибири и на Дальнем Востоке в дореволюционный период имелось только четыре крупных города (Омск, Новосибирск, Иркутск, Владивосток). За годы Советской власти благодаря интенсивному развитию экономики этого края возникло много совершенно новых городов. Появились такие крупные промышленные центры, как Комсомольск-на-Амуре, Магадан, Алейск, Биробиджан, Черемхово, Анжерск, Судженск и др., имеющие исключительно развитую промышленность по добыче угля, руды, меди и других полезных ископаемых.

В северных районах европейской территории за годы пятилеток число крупных городов возросло с 9 до 21, причём построены

такие города, как Кировск, Кандалакша, Воркута и др., являющиеся в настоящее время центрами всесторонне развитой промышленности (угольная, лесная, бумажная и др.).

В Донбассе за годы Советской власти число крупных городов увеличилось с 6 до 60, причём выросли такие промышленные центры Донбасса, как Сталино, Горловка, Макеевка и др.

К 1951 г. общее число крупных городов на территории Средней Азии и Казахстана увеличилось до 95 (кроме того, ещё 282 посёлка городского типа) против 47 городов в 1917 г. Появились такие крупнейшие центры угольной, химической и другой промышленности, как Караганда, Балхаш, Лениногорск и др.

В связи с индустриализацией Закавказья на территории его союзных республик — Грузинской, Азербайджанской и Армянской — в 1951 г. имелось уже 80 крупных городов и 127 посёлков городского типа против 20 городов в 1917 г. За годы пятилеток возникли новые индустриальные города такие, как Чиатура, Тквибули, Ткварчели и др., являющиеся центрами угольной, рудной и металлургической промышленности.

Многие из социалистических городов, выросших из небольших селений или возникших вновь, являются столицами национальных республик и центрами областей (Сталинабад, Фрунзе, Биробиджан, Сталинири и др.).

Благодаря успешному развитию социалистической экономики в 1951 г. на территории Советского Союза насчитывалось 1451 город и 2320 посёлков городского типа, тогда как в 1917 г. в царской России было только 721 город и 54 посада (городские селения)<sup>1</sup>.

Проводимое Коммунистической партией и Советским правительством дальнейшее развитие тяжёлой индустрии и лёгкой промышленности, мощный подъём сельского хозяйства и развитие всех видов транспорта открывают широкие перспективы для реконструкции существующих и строительства новых социалистических городов, благоустроенных и равномерно размещённых по всей территории Советского Союза.

В условиях социалистического хозяйства городское строительство рассматривается как важнейший элемент повышения материального и культурного уровня трудящихся.

Реконструкция существующих и строительство новых городов проводятся в нашей стране в соответствии с общим народно-хозяйственным планом и на уровне современных требований, предъявляемых к городскому хозяйству, инженерному оборудованию и транспортным коммуникациям города и его пригородов.

Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) о разработке нового плана дальнейшей реконструкции столицы

<sup>1</sup> Большая Советская Энциклопедия, изд. 2-е, т. 12.

нашей Родины — Москвы с учётом мощного подъёма народного хозяйства, науки и культуры в СССР, а также разработка новых планов реконструкции столиц союзных республик и других крупных городов, внедрение передовой индустриальной техники в городское строительство определяют переход советского градостроительства на новую, более высокую ступень.

## 2. РАССЕЛЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВКА ГОРОДОВ

Расселение населения и планировка больших городов складывались исторически на основе развития производительных сил общества, достигнутого уровня развития культуры и строительной техники и природных условий.

Развитие города на всех этапах досоциалистического общества носило в основном стихийный характер, хотя и имелись отдельные факторы, которые способствовали некоторому упорядочению территории города.

Так, древние города-крепости Закавказья — Урарту, Тушпа — имели правильную планировку жилых кварталов с развитыми ремеслом и торговлей. В Средней Азии такими же городами-крепостями были Бактра, Хорезм и др.

В дальнейшем с развитием ремесла и торговли планировка древних городов Средней Азии получает вид правильного прямоугольника со сплошной застройкой всего пространства жилыми, ремесленными и торговыми помещениями, обнесённого мощными стенами для защиты от нападений кочевых племён.

На формировании древнерусских городов, их развитии и планировке определённым образом сказалось то, что феодальный строй на Руси развился непосредственно из общинного родового строя, минуя рабовладельческие отношения.

Древнерусские города, возникшие как разнообразно укрепленные крепости вокруг замка феодала, в дальнейшем развитии получили ярко выраженную радиально-кольцевую планировку. Уже с самого начала возникновения города резко разграничивалось различие между застройкой собственно города-крепости и его посадом, где обычно размещались жилые кварталы ремесленников и торговцев, устраивались рыночные площади и т. д.

Крупнейшие города XI—XIII вв. — Киев, Чернигов, Владимир-Волынский, Новгород, Псков, Владимир-на-Клязьме, являвшиеся политическими, экономическими и культурными центрами России, сложились как типичные древнерусские города с ярко выраженной радиально-кольцевой планировкой территории города.

Образование города осуществлялось путём строительства мощных городских архитектурных комплексов — кремля, укрепленных монастырей и посадов вокруг них.

По такому плану первоначально развивалась Москва, основанная Юрием Долгоруким, по летописным источникам, в 1147 г.

(а по археологическим раскопкам — значительно раньше), являющаяся в настоящее время одним из крупнейших городов мира.

Характерная планировка Москвы по радиально-кольцевой схеме сложилась ещё в XV—XVI вв. на основании концентрических колец укреплений — Китай-города, Белого города и наружного Земляного вала — и радиальных линий улиц, идущих в разных направлениях от Кремля.

Древнерусские города не только получали в своём развитии определённую планировку, но имели также зачатки городского благоустройства, так как в них прокладывались деревянные мостовые, водопровод, возводились мосты через большие реки, а также строились различные оборонительные укрепления.

Характерным примером планировки крупных городов в России может служить Петербург, созданный русскими архитекторами по прямоугольной системе с геометрически правильной уличной сетью и застройкой обширных районов города архитектурными ансамблями дворцов, соборов, общественных зданий и других сооружений.

По такому же типу планировки строились города — Тверь (Калинин), Ярославль, Кострома, Калуга, Нижний Новгород (Горький) и др.

Города Средней Азии и Закавказья получают в XVI в. развитие также в основном по кольцевой, радиально-кольцевой и прямоугольной планировке (Бухара, Самарканд, Мерв, Ургенч, Тбилиси, Дербент, Ганджа, Шемаха и др.).

Внутри указанных городов проводилось резкое разделение их на социальные пояса, состоящие из центральной части, с правительственными учреждениями и жилыми кварталами правителя и феодальной знати и районов, населённых ремесленным и торговым людом.

Бурный рост населения капиталистических городов России, особенно со второй половины XIX в., вызвал хаотический характер застройки городов без учёта их общегородской планировки.

Строительство в городах фабрик, заводов, электростанций, портов, железнодорожных узлов и сооружений вызывало стихийную застройку жилых кварталов и особенно рост неблагоустроенных рабочих окраин города, представлявших резкий контраст с буржуазными жилыми кварталами и центром города.

Вследствие стихийного роста и беспорядочной застройки благоустройство городов царской России стояло на очень низком уровне. Так, в 1917 г. водопровод имелся только в 215 крупных городах (из 721) и отсутствовал даже в таких крупных городах, как Екатеринбург (Свердловск), Ташкент, Иваново-Вознесенск и др.; канализационная сеть была проложена только в 23 городах.

В условиях капиталистического хозяйства планирование городов в широком смысле этого слова не может получить практического осуществления, так как планировке капиталистических городов препятствует частная собственность на землю и средства производства. Отдельные попытки переустройства и упорядочения центральных районов не решали в целом проблемы правильной планировки городов, так как наряду с этим оставались старые и возникали новые, ещё более перенаселённые и неблагоустроенные рабочие кварталы и районы.

Только Великая Октябрьская социалистическая революция, уничтожив капиталистический способ производства и частную собственность на землю, создала необходимые условия для развития существующих и возникновения новых социалистических городов, а также для правильной планировки и застройки их в соответствии с интересами трудящихся.

Планировка социалистических городов основывается на рациональном распределении территории города для размещения промышленных предприятий, жилищ, коммунальных предприятий, правительственных, общественных, культурных учреждений, зелёных насаждений, на рациональном развитии различных видов внутригородского и пригородного транспорта, связывающих отдельные районы города между собой. Планировка социалистических городов предусматривает также целесообразную плотность застройки отдельных районов с учётом размещения площадей, магистралей, набережных и улиц города.

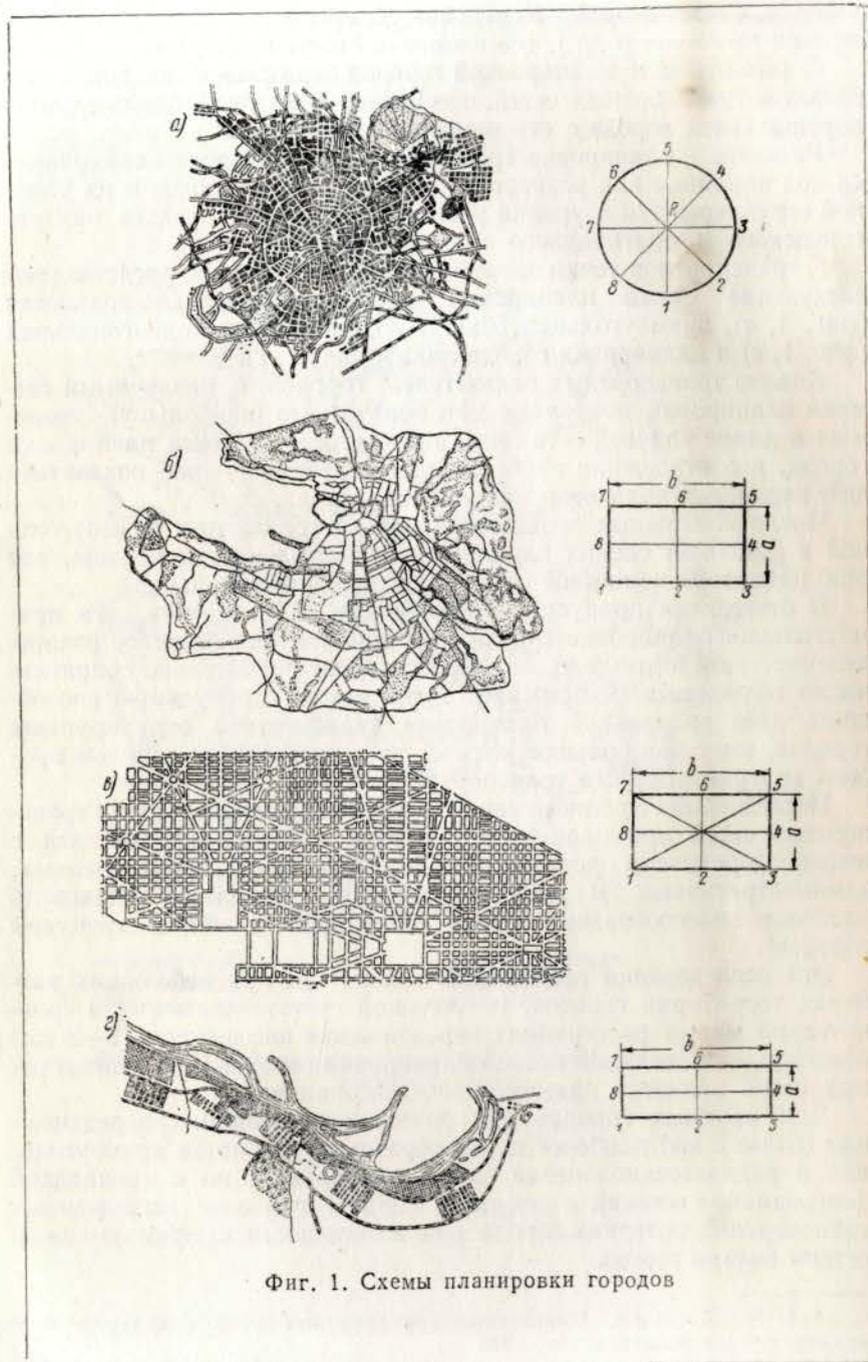
В отличие от стихийного развития капиталистических городов и образования в них гипертрофированного центра развитие социалистических городов осуществляется без чрезмерной концентрации населения в центральных районах города.

Принцип социалистического расселения в городах предусматривает более равномерное распределение населения по всем районам города путём создания районных эпицентров и уничтожения чрезмерной переуплотнённости центра, характерной для большинства старых городов.

Перепланировка существующих городов основывается на сохранении исторически сложившейся структуры города, но с коренной реконструкцией улиц и площадей, предусматривающей правильное размещение жилых домов, промышленных предприятий, устройств железнодорожного транспорта и создание жилого района города как законченного целого с использованием лучших традиций национального зодчества.

Социалистический город планируется как единая архитектурная композиция, в которой жилой район является только одним из составных её элементов.

Социалистический принцип планировки городов получил полное развитие при реконструкции существующих городов (Москва, Ленинград, Харьков, Сталинград, Челябинск, Свердловск, Новосибирск, Куйбышев и др.) и строительстве новых городов (Магни-



Фиг. 1. Схемы планировки городов

тогорск, Сталиногорск, Кемерово, Дзержинск, Балхаш, Комсомольск-на-Амуре и др.), возникших за годы пятилеток.

С развитием и планировкой городов неразрывно связано также развитие транспортных сетей, обеспечивающих необходимые транспортные связи города с его пригородными зонами.

Развитие и планировка транспортных сетей города складываются под влиянием как размеров и конфигурации городов и их уличной структуры, так и уровня развития различных средств внутригородского и пригородного транспорта.

С транспортной точки зрения наибольший интерес представляют следующие схемы планировки городов: радиально-кольцевая (фиг. 1, а), прямоугольная (фиг. 1, б), прямоугольно-диагональная (фиг. 1, в) и планировка города-линии (фиг. 1, г).

Анализ транспортных показателей городов с различными схемами планировки позволяет установить, что наибольшую экономию в длине уличной сети имеет прямоугольная схема планировки города, а в отношении пробегов транспорта наилучшие показатели даёт радиально-кольцевая планировка города.

Число возможных пересечений центра города при прямоугольной и линейной схемах планировки в несколько раз меньше, чем при радиально-кольцевой и прямоугольно-диагональной.

В отношении пропускной способности транспортной сети прямоугольная планировка города даёт наиболее равномерное распределение транспортных узлов, что позволяет значительно сократить число возможных пересечений. Наименьшую пропускную способность даёт радиальная планировка транспортной сети крупных городов, имеющая большое количество пересечений и длинные пробеги внутригородского транспорта.

Исследования в области наиболее рационального развития транспортных сетей при планировке городов в общей взаимосвязи с железнодорожными устройствами, размещением промышленных, административных и жилых кварталов позволили установить наиболее целесообразные схемы планировки уличной структуры городов<sup>1</sup>.

Эти исследования показывают также, что при небольших размерах территории городов, но большой густоте движения и сравнительно малых расстояниях передвижения пассажиров (1—2 км) наиболее рациональной схемой планировки городов и их транспортных сетей является прямоугольно-диагональная.

Для крупных городов при больших расстояниях передвижения (более 3 км) наиболее целесообразными являются прямоугольная и радиально-кольцевая схемы планировки, но с прокладкой диагональных сечений и секущих хорд в наиболее загруженных транспортных артериях города и по возможности с прямоугольной сеткой внутри города.

<sup>1</sup> А. М. Я к ш и н. Планировка транспортных сетей. Государственное архитектурное издательство, 1946.



При порайонном планировании территории города может быть применена любая из схем планировки в зависимости от местных условий и характера развития города.

Транспортные сети крупных городов развиваются с ростом городов, появлением и усовершенствованием наземного механического транспорта (трамвай, автобус, троллейбус, легковой автотранспорт и др.), переходя от простейших линейных схем уличной структуры — однолучевых, двухлучевых, трёхлучевых и многолучевых — к схемам с двойными и тройными линиями транспортной связи.

Однако значительная разветвлённость сетей массового городского транспорта, потребность в развитии беспересадочных сообщений, поддержание удобной для пассажиров частоты сообщения на отдельных маршрутах приводят к сосредоточению движения в центральных районах крупных городов, исчерпанию пропускной способности остановок и транспортных узлов. Поэтому дальнейший этап развития транспортных сетей большого города при любой из схем планировки вызывает необходимость сооружения сетей внеуличного транспорта — метрополитена.

Развитие сетей внеуличного транспорта в больших городах до некоторой степени устраняет недостатки планировки городов по радиальной, радиально-кольцевой и чисто прямоугольной схемам.

В условиях планировки больших городов и развития их транспортных сетей особое значение приобретает планировка пригородной территории, связанной с городом.

Характер связи отдельных элементов пригородной зоны (промышленные районы, лесопарки, санитарно-защитные зоны и др.) с городом показан на фиг. 2.

В пригородной зоне больших городов расселяется постоянное население, живущее там в течение круглого года (занятое в промышленности, на транспорте и в учреждениях самой пригородной зоны, связанное в трудовом отношении с предприятиями и учреждениями города, занятое в пригородном сельском хозяйстве), и сезонное население, проживающее там временно, преимущественно в летний период.

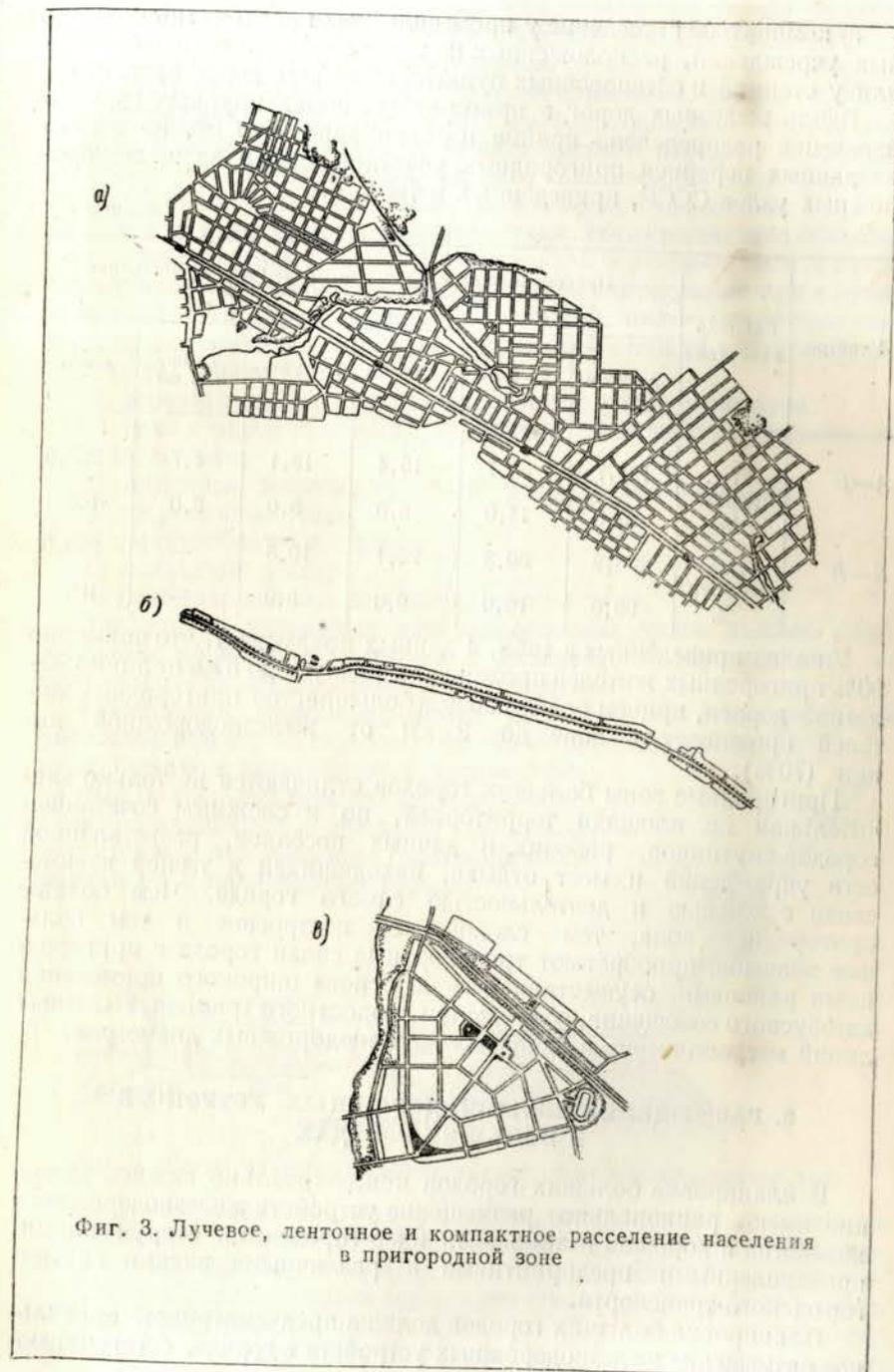
Население пригородной зоны как постоянное, так и сезонное связано с городом повседневной трудовой и культурной жизнью, вследствие чего большой город совместно со своими пригородами представляет единое целое.

Расселение в пригородных зонах больших городов населения имеет различные формы, зависящие от ряда факторов.

Из всего многообразия существующих видов расселения населения в пригородных зонах можно выделить три основных:

1) лучевое расселение вдоль транспортных магистралей, иногда шириной до нескольких километров (фиг. 3, а);

2) ленточное расселение вдоль авто-гужевых дорог, выраженное однорядными линиями застройки по сторонам этих дорог (фиг. 3, б);



Фиг. 3. Лучевое, ленточное и компактное расселение населения в пригородной зоне

3) компактное расселение у промышленных предприятий и крупных учреждений, расположенных на территории пригородной зоны или у станций и остановочных пунктов железных дорог (фиг. 3, в).

Вдоль железных дорог в пригородных зонах крупных городов население распределено крайне неравномерно, что можно видеть из данных переписи пригородных участков одного из железнодорожных узлов СССР, приведённых в табл. 4.

Таблица 4

Участок	Единица измерения	Пригородное население, проживающее на расстоянии от железнодорожной линии					всего
		до 2 км	2—5 км	5—10 км	10—25 км	свыше 25 км	
А—Б	тыс. человек	192,7	36,7	15,4	13,1	4,7	262,6
	%	73,0	14,0	6,0	5,0	2,0	100
Б—В	тыс. человек	206,8	50,3	26,1	10,3	—	299,5
	%	69,0	19,0	9,0	3,0	—	100

Анализ приведённых в табл. 4 данных показывает, что примерно 90% пригородных жителей проживает в радиусе до 5 км от линии железной дороги, причём подавляющее большинство пригородных жителей проживает в зоне до 2 км от железнодорожной линии (70%).

Пригородные зоны больших городов отличаются не только значительной по площади территорией, но и сложным сочетанием городов-спутников, рабочих и дачных посёлков, разветвлённой сети учреждений и мест отдыха, находящихся в тесной взаимосвязи с жизнью и деятельностью самого города. Чем больше пригородная зона, тем сложнее её построение и тем большее значение приобретают транспортные связи города с пригородными районами, осуществляемые на основе широкого применения автобусного сообщения, сооружения скоростного трамвая, вылетных линий метрополитена и сквозных железнодорожных диаметров.

### 8. РАЗМЕЩЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УСТРОЙСТВ В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

В планировке больших городов исключительно важное значение имеют рациональное размещение устройств железнодорожного хозяйства и хорошая взаимосвязь их с городскими сооружениями, промышленными предприятиями и различными видами внутригородского транспорта.

Планировка больших городов должна предусматривать правильное размещение железнодорожных устройств в городе, обеспечиваю-

щее достижение наибольшей быстроты сообщения между различными пунктами, требующими транспортной связи, и создание наибольших удобств для жителей города.

Железнодорожный узел является сложным комплексом устройств и сооружений, обеспечивающих расформирование, формирование и пропуск грузовых и пассажирских поездов, погрузку-выгрузку грузов, посадку и высадку пассажиров, экипировку и отстой пассажирских составов, оканчивающих движение в узле.

Как известно, железнодорожные узлы, обслуживающие большие города или крупные промышленные центры и устраиваемые в пунктах слияния нескольких железнодорожных направлений или в пунктах совместной работы нескольких станций, имеют различные схемы, определяемые взаимным расположением станций и соединительных путей между ними.

К основным схемам железнодорожных узлов относятся:

- 1) узлы с одной станцией с развязкой подходов по направлениям или по линиям;
- 2) линейные железнодорожные узлы (диаметральные);
- 3) треугольные узлы;
- 4) крестообразные узлы;
- 5) кольцевые узлы;
- 6) комбинированные железнодорожные узлы.

Каждый из указанных железнодорожных узлов должен определённым образом увязываться с планировкой города, чтобы не препятствовать дальнейшему его развитию.

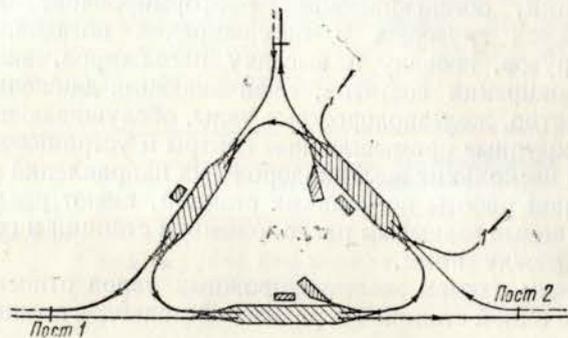
Простейший железнодорожный узел с одной станцией при расположении его на окраине обычно не препятствует развитию города. Однако в дальнейшем, с ростом города узел и связывающие его подходы постепенно оказываются в пределах городской территории, что вызывает необходимость увязки их с планировкой города.



Фиг. 4. Схема линейного (диаметрального) железнодорожного узла

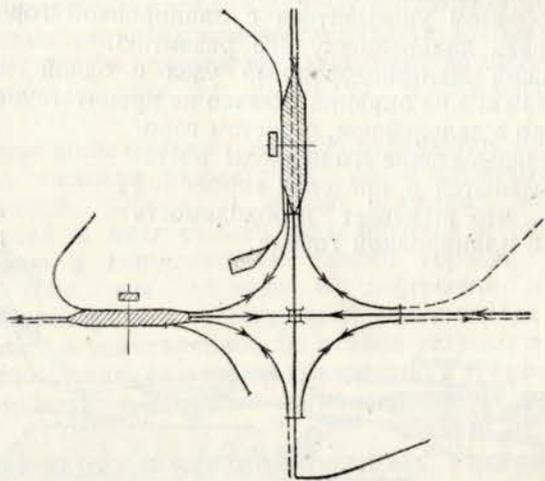
Линейные железнодорожные узлы, получившие в основном применение в стеснённых топографических условиях (при расположении узла в долине реки, наличии больших мостов и др.), при компактной планировке города пересекают его и образуют как бы сквозной железнодорожный диаметр (фиг. 4). Линейные железнодорожные узлы получают большую пропускную и перерабатывающую

способность за счёт укладки соединительных ветвей в одном или двух концах узла для поворота поездопотоков на подходах к узлу. Участок железнодорожной линии в пределах города может быть использован для внутригородского и пригородного сообщения.



Фиг. 5. Схема треугольного железнодорожного узла

Расположение треугольных (фиг. 5) и крестообразных (фиг. 6) железнодорожных узлов со всеми их соединительными ветвями в плане города затрудняет развитие как города, так и самого железнодорожного узла.



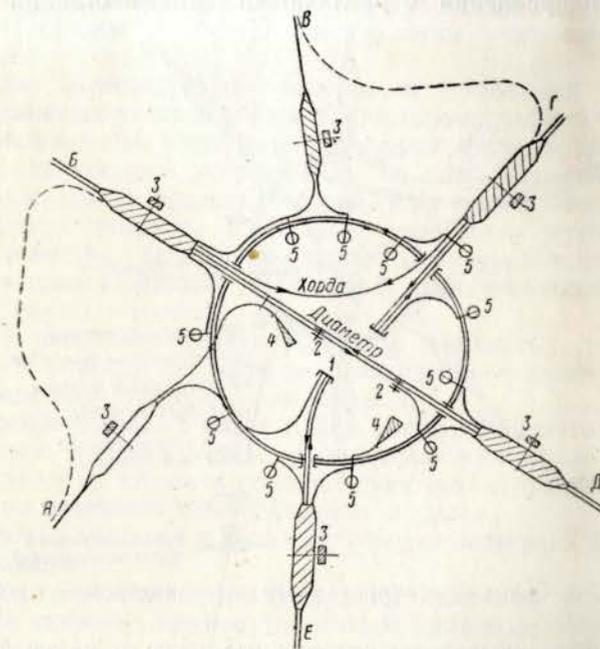
Фиг. 6. Схема крестообразного железнодорожного узла

Отнесение же железнодорожного узла за пределы города связано с удлинением пробега поездов в узле и ухудшением обслуживания пассажиров в больших городах.

Для крупных железнодорожных узлов с большим числом прилегающих железнодорожных направлений наиболее характерны

ми являются кольцевая и комбинированная схемы железнодорожного узла.

Кольцевая схема железнодорожного узла обычно образуется из сочетания простых узлов—линейных, треугольных и крестообразных—с окружной железнодорожной линией. Сортировочные станции в узлах кольцевой схемы обычно располагаются на подходах к окружной железной дороге, что позволяет транзитный поток направлять по окружной дороге и разгружать, следовательно, узел (фиг. 7).



Фиг. 7. Схема кольцевого железнодорожного узла:

1—тупиковые вокзалы; 2—проходные вокзалы на диаметре; 3—сортировочные станции; 4—грузовые дворы; 5—промежуточные станции и посты

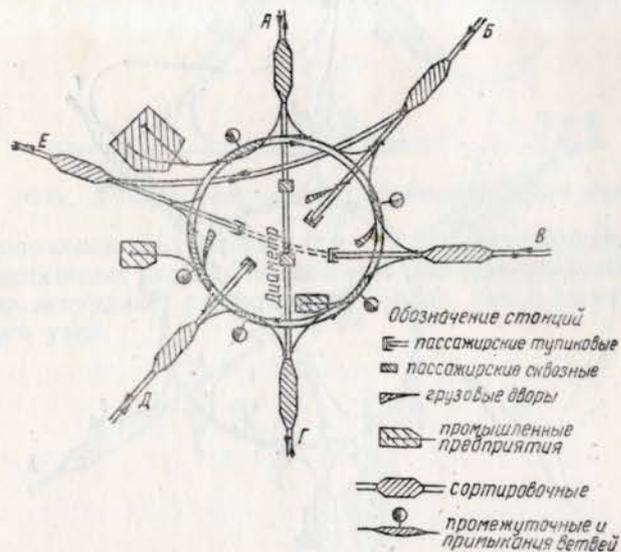
Большая манёвренность железнодорожного узла по кольцевой схеме достигается путём устройства диаметральных и хордовых линий в узле и выходов с них на окружную линию.

Однако планировка городов при кольцевой схеме железнодорожного узла встречает определённые затруднения. Так, если диаметр окружной железной дороги небольшой, то железная дорога со всеми соединительными ветвями вклинивается в город, что ограничивает дальнейшее развитие его в пределах кольца. В этом случае дальнейшее развитие города происходит уже за пределами кольца железной дороги. Когда же диаметр окружной дороги доста-

точно большой, то город получает значительную территорию для своего развития.

Железнодорожные узлы по мере развития их устройств (сортировочных станций, технических станций и др.) и примыкания к ним новых железнодорожных направлений получают более сложные формы, что оказывает в свою очередь существенное влияние на общую планировку и развитие больших городов.

Наиболее сложной схемой железнодорожного узла является комбинированная, объединяющая большое количество железнодорожных направлений с различными типами станций (фиг. 8).



Фиг. 8. Схема комбинированного железнодорожного узла

Комбинированные железнодорожные узлы в дальнейшем развитии получают очень сложную форму, иногда складывающуюся из сочетания нескольких окружных железных дорог и диаметров, соединяющих железнодорожные направления, примыкающие к узлу.

При планировке городов необходимо учитывать, что железнодорожные сооружения и устройства крупных узлов не все в одинаковой степени связаны с жизнью и деятельностью городов.

Технические устройства железнодорожного транспорта — сортировочные станции, технические пассажирские станции, локомотивные и вагонные депо, железнодорожные склады и др., не связанные с обслуживанием населения, — должны постепенно выноситься за черту города.

За годы пятилеток в ряде крупных городов Советского Союза транзитное грузовое движение вынесено на железнодорожные линии, сооруженные в обход городов. Также за пределами города со-

оружены сортировочные и технические пассажирские станции, что наряду с улучшением работы самих железнодорожных узлов, увеличением их пропускной и перерабатывающей способности позволило значительно улучшить планировку и дальнейшее развитие городов.

Однако такие элементы железнодорожного узла, как пассажирские станции и вокзалы, грузовые станции общего пользования, участки железных дорог, обслуживающие внутригородское и пригородное движение, подходы к грузовым и пассажирским станциям и соединительные ветви между станциями, неразрывно связаны с городом и, безусловно, должны учитываться в его планировке.

Наиболее целесообразное размещение указанных элементов железнодорожных узлов в общем плане города должно предусматривать максимальное сокращение городской территории, занимаемой железнодорожными устройствами, за счёт правильного расположения вокзалов в пределах города, электрификации пригородного и внутригородского сообщения, устройства путепроводных развязок в местах пересечения железнодорожных линий с городскими проездами и улицами, перекладки части наземных железнодорожных линий в тоннели.

Из всех железнодорожных устройств наиболее тесно связаны с планировкой города пассажирские станции (перронные пути, почтовые и багажные устройства) и вокзалы.

Размещение вокзала в плане города зависит от целого ряда местных факторов, а именно: схемы железнодорожного узла, конфигурации территории города и его планировочной структуры, а также организации пассажирского движения в узле.

Размещение вокзалов в больших городах возможно по трём основным схемам:

1) головные станции отдельных дорог являются тупиковыми и взаимно не связаны; прямое транзитное движение отсутствует, а передача транзитных составов с одной станции на другую производится маневровым порядком (фиг. 9, а).

При указанном размещении вокзалов в плане города транзитные пассажиры вынуждены переезжать с одного вокзала на другой, пользуясь городским транспортом;

2) головная станция — общая для всех дорог узла (центральный вокзал), проходного или тупикового типа (фиг. 9, б).

Такое расположение вокзала в плане большого города вызывает при значительных пассажиропотоках огромное сосредоточение пассажиров в определённом пункте города, перегружает транспортные и уличные сети и требует довольно значительной территории для размещения пассажирской станции;

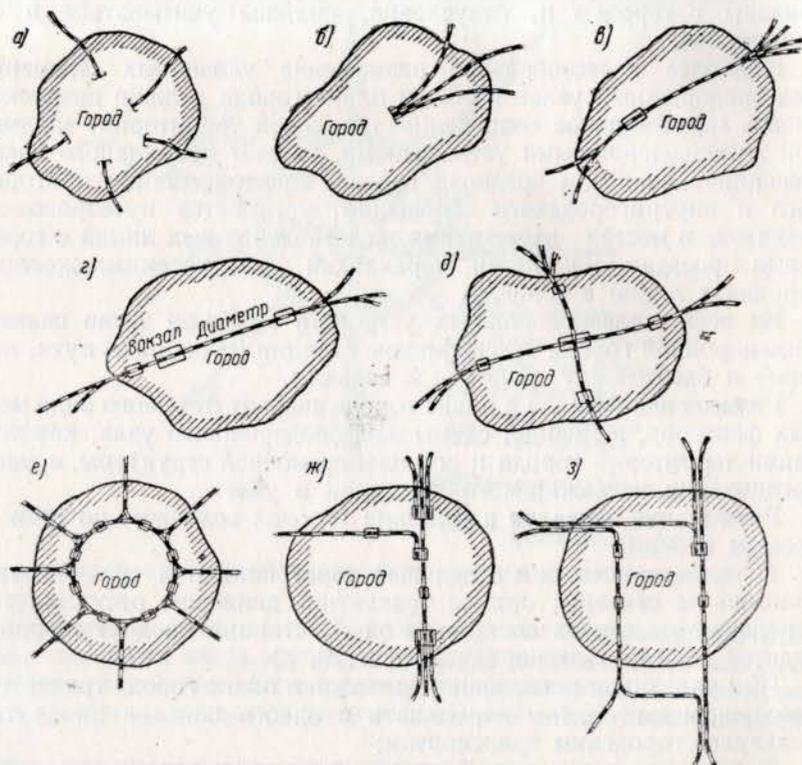
3) головная станция и ряд проходных вокзалов расположены на диаметре (фиг. 9, в, г).

Стремление приблизить вокзалы к центру города, обеспечить транзитное сообщение в узле и перейти к более гибкой системе про-

ходных вокзалов приводит к схеме диаметра с устройством на нём одного центрального или нескольких проходных вокзалов.

Кроме того, возможны ещё следующие схемы размещения пассажирских устройств при развитии узлов по системе диаметров, полудиаметров и колец:

1) схема при двух перекрещивающихся железнодорожных диаметрах с рядом станций на них в пределах городской территории, с центральным вокзалом пересадки и техническими станциями по концам (фиг. 9, д);



Фиг. 9. Схемы размещения железнодорожных вокзалов в плане города

- 2) схема кольцевых диаметров (фиг. 9, е);
- 3) схема одного диаметра и одного полудиаметра (фиг. 9, ж);
- 4) схема двух диаметров и двух полудиаметров (фиг. 9, з).

Выбор той или иной схемы размещения основных пассажирских устройств в крупных железнодорожных узлах зависит от числа примыкающих к городу магистральных линий, размеров территории города, количества жителей в нём, густоты дальнего и пригородного пассажиропотока, а также размеров городского пассажиро-

потока в районах, обслуживаемых сквозными железнодорожными диаметрами.

Для наиболее удобного обслуживания города железнодорожным транспортом, достижения максимальной беспересадочности сообщения пассажиров между любыми пунктами города и разгрузки тупиковых пассажирских станций целесообразно устройство проходных вокзалов и приближение пассажирских станций к густо населённым районам города.

Осуществление указанных принципов расположения вокзалов в больших городах определяет целесообразность сооружения сквозных железнодорожных диаметров.

Сооружение сквозных железнодорожных диаметров в больших городах позволяет рассредоточить вокзалы на городской территории и организовать беспересадочное сообщение пассажиров между центральными районами города и примыкающими железнодорожными линиями.

## Раздел II

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

#### 1. ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

Значительные расстояния в больших городах между жилыми районами и пунктами приложения труда, учебными заведениями, местами отдыха, музеями, театрами, стадионами, вокзалами и водными пристанями обусловили необходимость широкого применения различных видов механизированного транспорта и разработки глубоко продуманной системы организации массовых пассажирских перевозок.

Основной задачей организации пассажирских перевозок в городах является выполнение необходимого объема перевозок с максимальной быстротой, удобствами и безопасностью при наименьшей себестоимости перевозок.

Решающее значение для пассажира, совершающего большое количество поездок, имеет затрата времени на каждую поездку, что обуславливает ряд требований к выбору видов транспорта, скорости сообщения, густоте транспортной сети, организации беспересадочного сообщения, регулярности движения и др.

Важнейшим фактором, определяющим объем пассажирских перевозок в целом по городу, а также на каждом направлении в отдельности, является подвижность населения, т. е. количество поездок, приходящихся на одного жителя в год.

Как известно, подвижность определяется социально-экономической структурой населения, размерами территории города, взаимным расположением промышленных предприятий и мест жилья, торговых учреждений, конфигурацией транспортной сети, скоростью движения различных видов транспорта, удобствами проезда, регулярностью движения и др.

В условиях социалистического хозяйства рациональная планировка города и равномерное распределение по всей его территории жилых районов, учреждений и культурно-бытовых предприятий обеспечивают экономию времени жителей при пользовании транспортом и, естественно, несколько сокращают число поездок.

В перспективе в связи с дальнейшим подъёмом всего народного хозяйства, повышением материального благосостояния и куль-

турного уровня населения и увеличением удельного веса наиболее подвижной группы — рабочих и служащих — должно значительно возрасти число поездок, что будет также способствовать повышению подвижности всего населения.

Определение объема как городских, так и пригородных пассажиропотоков на перспективу производится на основе экономического анализа, предусматривающего разбивку населения на специальные категории с учётом различных факторов, связанных с планировкой города и конфигурацией его транспортной сети, а также путём установления характера расселения населения города на перспективу с распределением его по отдельным районам.

К основным группам населения, по которым устанавливается коэффициент подвижности городского и пригородного населения больших городов, относятся: занятые на производстве рабочие и служащие, обслуживающий персонал различных предприятий, учащиеся, пенсионеры и др.

Для каждой из этих групп населения устанавливается число поездок по основным категориям: трудовые поездки, культурно-бытовые и др.

При этом объём пассажиропотоков в больших городах устанавливается отдельно для постоянного контингента — городских жителей — и отдельно для жителей пригородов, связанных жизненной деятельностью с городом.

Объём перевозок, совершаемых городскими жителями, может быть определён по следующей формуле:

$$P_1 = l_1 q_1 \kappa_1 + l_2 q_2 \kappa_2 + \dots + l_n q_n \kappa_n \text{ пасс/год}, \quad (1)$$

где  $P_1$  — общий объём внутригородских пассажирских перевозок в год;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  — численность каждой социальной группы населения;

$q_1, q_2, \dots, q_n$  — коэффициенты, устанавливающие удельный вес жителей, пользующихся городским транспортом;

$\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_n$  — годовой коэффициент подвижности жителей данной группы.

Исходя из общего объёма внутригородских пассажирских перевозок устанавливается коэффициент подвижности для жителей всего города по формуле

$$\kappa = \frac{P_1}{E}, \quad (2)$$

где  $E$  — общая расчётная численность населения города (постоянное население).

Объём перевозок, совершаемых жителями пригородов, определяется по формуле

$$P_2 = P_{np} \kappa_{np}, \quad (3)$$

где  $P_{пр}$  — общее годовое отправление или прибытие пригородных пассажиров (считая, что по железнодорожным узлам годовое отправление равно годовому прибытию);  
 $K_{пр}$  — среднее число поездок в сутки, совершаемых пригородным пассажиром.

Кроме того, на внутригородские перевозки значительное влияние оказывают пассажиры дальнего и местного сообщения, объём перевозок которых внутри города обычно учитывается по формуле

$$P_3 = P_d K_{ср},$$

где  $P_d$  — общее годовое отправление или прибытие дальних и местных пассажиров;

$K_{ср}$  — среднее число поездок, совершаемых дальним или местным пассажиром за время пребывания его в городе.

В соответствии с этим общий объём городских перевозок определяется как сумма

$$P = P_1 + P_2 + P_3. \quad (4)$$

При определении размеров пассажиропотока необходимо учитывать также сезонную и месячную неравномерность пригородного движения.

Как известно, сезонная неравномерность в пригородном движении объясняется тем, что поездки городского населения приходятся в основном на летние месяцы, тогда как поездки постоянного пригородного населения распределяются почти равномерно по месяцам года.

Кроме того, в пригородном движении в будни обычно наблюдается два резко выраженных максимума движения — утренний период (в 7—9 час.), когда поток пригородных пассажиров составляет до 15% суточного, и вечерний, более рассредоточенный, достигающий 10—12% суточного потока пассажиров.

Наложение пригородных пассажиропотоков на городские в интенсивные часы определяет потребность города в средствах массового перемещения по каждому из возможных направлений сообщения внутри города и особенно в направлениях от железнодорожных вокзалов, водных пристаней и др.

До появления в городах механического транспорта перемещение пассажиров ограничивалось сравнительно небольшими расстояниями и вместе с тем размеры пассажиропотоков были сравнительно невелики.

С изобретением электрической тяги широкое развитие получают трамвай и метрополитен, позволившие значительно расширить перемещения жителей внутри города, а следовательно, и способствовавшие росту городов за счёт присоединения новых территорий.

До Великой Октябрьской социалистической революции трамвай являлся в России единственным видом электрической тяги,

так как на магистральных и пригородных железных дорогах применялась исключительно паровая тяга.

Широкое развитие электрическая тяга, в том числе и на городском транспорте, получила в нашей стране только после Великой Октябрьской социалистической революции.

В больших городах наряду с широким развитием электрического трамвая получает применение также троллейбус. В 1941 г. электрический трамвай имелся в 74 городах, а длина трамвайных линий (одиночного пути) составляла 4 220 км.

За период 1946—1950 гг. трамвайное сообщение было организовано ещё в 8 крупных городах и троллейбусное сообщение в 20 крупных и средних городах.

Помимо развития электрического транспорта, широкое применение для обслуживания транспортных нужд городов получили также безрельсовое автобусное сообщение и легковой автотранспорт.

В перспективе для массовой перевозки пассажиров в больших городах должен получить применение электробус, обладающий большой манёвренностью и независимостью от воздушной контактной сети, т. е. совмещающий преимущества автобуса и троллейбуса.

В больших городах наряду с развитием всех видов массового наземного городского транспорта всё более широкое развитие получает внеуличное сообщение (метрополитен), позволяющее создать большую частоту движения поездов с высокими скоростями и обеспечивающее максимальную пропускную и провозную способность линий.

Скорость сообщения различных видов внутригородского транспорта зависит от типа подвижного состава и его оборудования, профиля и состояния пути, расстояния между остановочными пунктами, а также комплекса различных факторов, связанных с обеспечением безопасности движения.

Для условий уличного городского транспорта можно исходить из значений скоростей различных видов городского транспорта, приведённых в табл. 5.

На линиях метрополитена при расстояниях между остановками от 700 до 1 500 м реализуются ходовые скорости порядка 55—60 км/час и скорости сообщения — 35—40 км/час.

Безопасность движения на городском транспорте достигается правильной планировкой транспортной сети, автоматизацией различных устройств, регулирующих движение, наличием и подготовкой квалифицированных кадров, обслуживающих городской транспорт, организацией хорошей регулировки уличного движения, устройством пересечений в разных уровнях и др.

Наилучшее обеспечение удобств для пассажиров достигается постройкой комфортабельного подвижного состава, хорошей планировкой платформ для посадки и высадки, устройством переходов,

Таблица 5

Вид транспорта	Скорость в км/час	
	среднеходо- вая	сообщения
Трамвай без прицепа . . . . .	20—25	16—18
Трамвай с прицепом . . . . .	18—20	14—16
Загородный быстроходный трамвай . . . . .	25—30	20—25
Автобус городских линий . . . . .	25—30	17—18
Автобус загородных линий . . . . .	30—35	25—30
Троллейбус . . . . .	20—24	18—20
Автотранспорт городских линий . . . . .	35—40	25—30

разделительных коридоров и организацией рациональных маршрутов сообщения.

Одним из решающих факторов при определении целесообразности применения того или иного вида массового транспорта в больших городах является пропускная и провозная способность данного вида транспорта.

Под пропускной способностью городского транспорта принято понимать число поездов или экипажей, которое может быть пропущено в одном направлении в единицу времени (в час или сутки) по условиям безопасности движения.

При выделении для каждого направления движения отдельной ленты пропускная способность каждой ленты движения рассматриваемого вида транспорта может быть определена по следующей формуле:

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{\frac{l}{v} + t_p + \frac{v}{2b}} = \frac{3600 v}{l + t_p v + \frac{v^2}{2b}}, \quad (5)$$

где  $N_{\max}^{\text{час}}$  — пропускная способность каждой ленты в экипажах или составах в час;

$l$  — длина состава или экипажа в м;

$v$  — скорость движения в м/сек;

$t_p$  — время на восприятие сигнала водителем и приведение тормозов экипажа или состава в действие в секундах;

$b$  — тормозное замедление в м/сек<sup>2</sup>.

Таким образом, величина  $\frac{v^2}{2b}$  определяет тормозное расстояние между экипажами в метрах, а знаменатель формулы (5)

$\frac{l}{v} + t_p + \frac{v}{2b}$  — минимальный интервал времени между движущимися в одном направлении экипажами.

Остановки в пути или на перекрестках, на промежуточных платформах, перед занятым переездом и в других случаях замедляют движение и в соответствии с потерей времени снижают пропускную способность, т. е.

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600 v}{l + t_p v + \frac{v^2}{2b} + t_{cm}}, \quad (5a)$$

где  $t_{cm}$  — продолжительность стоянки рассматриваемого вида городского транспорта в секундах.

Провозная способность городского транспорта (число пассажиров в одном направлении в единицу времени) зависит от его пропускной способности и населённости каждой поездной единицы или экипажа.

Показатели пропускной и провозной способности различных видов городского транспорта для современных типов подвижного состава и систем организации движения приведены в табл. 6\*.

Таблица 6

Вид транспорта и состав поезда	Нормальная вместимость поезда			Число поездов в час в одном на- правле- нии	Провозная способ- ность (число пассажи- ров) в час
	сидящих пассажи- ров	стоящих пассажи- ров	всего пасса- жи- ров		
Трамвай: поезд из одного четырёх- осного вагона МТБ-82 (постройки 1948 г.) . . .	42	45	87	70	6 090
поезд из двух четырёхос- ных вагонов (моторный вагон Коломенского завода и прицепной со средней дверью) . . .	65	73	138	60	8 280
поезд из двух четырёх- осных вагонов (ленин- градского типа) . . .	—	—	180	60	10 800
Троллейбус ЯТБ-3 . . . . .	72	8	80	60	4 800
Автобус ЗИС-154 . . . . .	36	24	60	80	4 800
Метрополитен: поезд из 6 вагонов . . .	312	708	1 020	34	34 680
поезд из 8 вагонов <sup>1</sup> . . .	416	944	1 360	34	46 240

<sup>1</sup> В соответствии с современным типом моторных вагонов метрополитена.

\* Справочник по жилищно-коммунальному хозяйству, т. II. Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1952, стр. 7.

Практически можно считать, что городские магистрали при двух лентах автомобильного движения позволяют реализовать провозную способность порядка 1 200—1 500 пассажиров в час, при одной ленте автобусного или троллейбусного движения — 4 000—4 500 пассажиров в час.

Провозная способность трамвайной линии при составах из двух четырёхосных вагонов достигает 8 000 и максимально 10 800 пассажиров в час.

Провозная способность линий метрополитена при составах из шести вагонов (три секции) составляет около 35 000 пассажиров в час и при увеличении состава до 8 вагонов (четыре секции) достигает 46 000 пассажиров в час.

Себестоимость перевозок на городском транспорте определяется эксплуатационными расходами и необходимыми капиталовложениями для рассматриваемого вида транспорта.

Вполне понятно, что наибольшие капиталовложения связаны с устройством метрополитена, затем с сооружением трамвайных линий, так как эти виды городского транспорта требуют сооружения специальной трассы, тяговых подстанций, контактной сети или укладки третьего рельса и др.

Выбор способа транспортного обслуживания города определяется объёмом внутригородских и пригородных пассажирских потоков, мощностью их по отдельным направлениям, дальностью поездки, размером пропускной способности улиц, провозной способностью и скоростью массового городского транспорта, а также экономической целесообразностью применения того или иного вида транспорта.

Так, маломощные пассажирские потоки могут обслуживаться автобусом или троллейбусом как на самостоятельных линиях, так и на линиях подвоза пассажиров к трамваю, метрополитену и железным дорогам. Кроме того, автобусное сообщение может быть применено на направлениях, где прокладка трамвайной линии по техническим условиям затруднена (крутые уклоны, узость улиц, малые радиусы поворотов и др.).

Средние по мощности потоки могут быть обслужены трамвайной линией как на основных направлениях, так и на направлениях подвоза пассажиров к станциям метрополитена и вокзалам железных дорог.

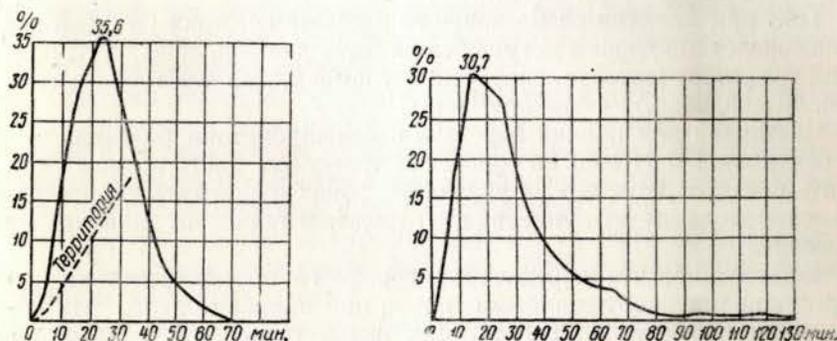
Мощные установившиеся потоки пассажиров с повышенной средней дальностью перевозки (до 5—6 км и более) целесообразно передавать на линии метрополитена.

Возможна и целесообразна также организация параллельных транспортных сетей, работающих с различными скоростями сообщения и с различными расстояниями между остановками. Например, может быть сооружена линия скоростного трамвая с расстояниями между остановками 1 000 м и параллельно с ней организовано автобусное сообщение с расстояниями между остановками порядка 250—300 м.

Такая координация возможна также между метрополитеном, с одной стороны, и трамваем и автобусом, — с другой.

При незначительном потоке дальних пассажиров и густом потоке пассажиров на короткие расстояния целесообразна организация экспрессного быстроходного автобусного сообщения с редкими остановками (через 1,0—1,5 км) и с параллельным обращением трамвая обыкновенного типа с расстояниями между остановками порядка 300—400 м.

Распределение пассажиропотоков больших городов по отдельным видам транспорта может быть произведено с помощью построения изохронограмм, т. е. кривых равного времени, считая от рас-



Фиг. 10. Построение изохронограмм для больших городов

чётных пунктов тяготения, нанесённых на план города, с показанием на нём размещения населения по территории города (фиг. 10).

Построение изохронограмм позволяет произвести подсчёт населения в каждой зоне времени, определить необходимую затрату времени для поездок, а также установить распределение пассажиропотоков по отдельным видам транспорта с учётом мощности пассажиропотоков и провозной способности каждого вида транспорта.

Анализ изохронограмм, построенных для больших городов, показывает, что примерно 90% всего населения вписывается в 50-минутную изохрону<sup>1</sup>.

## 2. ПРИГОРОДНОЕ ДВИЖЕНИЕ В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

В больших городах наряду с внутригородскими передвижениями огромное значение имеют передвижения жителей между городом и тяготеющими к нему пригородами.

<sup>1</sup> А. М. Я к ш и н. Планировка транспортных сетей. Государственное архитектурное издательство, 1946.

Обеспечение пригородных пассажиров удобным, быстроходным и беспересадочным сообщением с важнейшими районами города представляет сложную для решения транспортную проблему.

Пригородные участки по существу являются органическим развитием внутригородских средств сообщения и совместно с ними образуют единый комплекс транспортных средств города.

Пригородное движение в больших городах может быть организовано путём:

а) использования железнодорожного транспорта в качестве основного вида транспорта;

б) комбинированной работы железных дорог и различных видов внутригородского транспорта.

Так, при наличии особо мощного пассажиропотока на ближних зонах железные дороги могут обслуживать дальние зоны, а городской транспорт (автобус, скоростной трамвай, вылетные линии метрополитена и др.) — ближние зоны.

Частичная или полная передача пассажиропотока ближних зон (в основном I и II зон) на городской транспорт даёт возможность снять поезда-«тихоходы» на указанных зонах и заменить их поездами-«сорокоходами» до пунктов, где городской транспорт заканчивает движение.

Естественно, что передача пригородного пассажиропотока на городской транспорт возможна только при наличии одного или нескольких параллельно работающих видов транспорта с затратой времени на проезд, не большей, чем по железной дороге.

Выбор способа обслуживания пригородных участков зависит от мощности пассажиропотока, характера его распределения в пределах пригородного участка, схемы железнодорожного узла, а также от степени развития параллельных видов внутригородского транспорта и взаимосвязи их с пригородными участками.

Основными принципами рациональной организации пригородного движения в больших городах является максимальное сокращение числа пересадок, наименьшая затрата времени на передвижение и обеспечение максимальных удобств для пассажиров.

Пересадка пригородных пассажиров при пользовании городскими видами транспорта создаёт:

перегрузку городских видов транспорта пригородными пассажирами, особенно в утренние и вечерние часы;

массовое скопление пригородных пассажиров у остановочных пунктов, пунктов перехода и на площадях, что вносит осложнения в работу городского транспорта;

сложность работы тупиковых станций;

дополнительную затрату времени на поездки пригородными пассажирами.

Сокращение числа пересадок пригородных пассажиров может быть достигнуто:

обслуживанием пригородных районов различными видами внутригородского транспорта (автобусное или троллейбусное сооб-

щение, линии скоростного трамвая, вылетные линии метрополитена); устройством глубоких вводов или сквозных железнодорожных диаметров и совмещением, следовательно, пригородного и внутригородского движения на одних и тех же линиях.

Условиям организации массовых перевозок пригородных пассажиров лучше всего отвечает сооружение вылетных линий метрополитена и устройство глубоких вводов или сквозных железнодорожных диаметров.

В больших городах, где уже имеются линии метрополитена или намечается в перспективе их сооружение, транспортная связь центра города с ближними зонами пригородных участков может быть осуществлена сооружением вылетных линий метрополитена с выводом их за пределы городской черты на 20—25 км.

Вылетные линии метрополитена могут трассироваться наземным и подземным способом.

Выпуск линий метрополитена на поверхность земли связан с затруднениями технико-эксплуатационного характера, вытекающими из особенностей работы линий метрополитена и наземных линий (различная система токоснабжения, атмосферные влияния на моторвагонный подвижной состав и др.).

Вылетные линии метрополитена могут быть проложены:

а) на самостоятельном полотне параллельно пригородным линиям железных дорог;

б) в секторах между железными дорогами.

Уменьшение пассажиропотока в пределах I и II зон пригородного участка железной дороги за счёт передачи его на вылетную линию метрополитена, проложенную параллельно пригородному участку, значительно повышает пропускную способность этого участка и улучшает обслуживание пригородных пассажиров.

Однако сооружение вылетных линий метрополитена не решает в полном объёме проблемы беспересадочного сообщения пригородных пассажиров, так как беспересадочность достигается не для всех пассажиров пригородного участка, а только для части пассажиров, живущих в пределах трассы вылетной линии метрополитена. Для пассажиров, живущих за пределами вылетной линии метрополитена, число пересадок не уменьшается, а только переносится с тупикового вокзала на подход к вылетной линии.

Устройство вылетной линии метрополитена требует также больших капиталовложений и фактически превращает её в обычную пригородную линию. Вместе с тем вылетная линия не устраняет необходимости развития тупиковой станции, хотя и разгружает её.

Таким образом, сооружение вылетной линии метрополитена для обслуживания пригородного пассажиропотока с выходом за пределы городской черты на протяжении I и II зон пригородного участка позволяет разгрузить тупиковые станции, но не обеспечивает полной беспересадочности сообщения, особенно для пассажиров

дальних зон, и в то же время сопряжено с большими капиталовложениями.

Выпуск поездов метрополитена на наземные пути пригородных участков равносильно превращению линии метрополитена в глубокий ввод и требует решения тех же вопросов технико-эксплуатационного характера, что и при сооружении железнодорожных диаметров (система токосъема, двойной режим работы электроподвижного состава, изменение конструкции и габарита вагонов метрополитена и др.).

Между тем вагоны метрополитена по своей конструкции и габариту не приспособлены к работе на наземных линиях пригородных участков.

Весь габарит приближения строений пригородных участков рассчитан на вагон габарита 2-В; пропуск же вагонов более узкого габарита (шириной 2,7 м) вызовет необходимость устройства особых платформ для поездов метрополитена или оборудования вагонов убирающимися ступеньками специальной конструкции.

Кроме того, необходимо учитывать, что движение пригородных поездов осуществляется по непараллельному графику с нанесением поездов различных скоростей («тихоходов» и «сороходов») с интервалами между поездами 4—6 мин., тогда как на линиях метрополитена применяется параллельный график движения поездов с остановками на каждом остановочном пункте и интервалами между поездами в 1,5—2 мин.

В отношении сооружения вылетных линий метрополитена в секторах между железными дорогами необходимо отметить, что исследование условий расселения пригородного населения в больших городах показывает, что район тяготения пригородного населения к железнодорожной линии определяется расстоянием не более 5 км по обе стороны от линии, где проживает до 80—90% всего пригородного населения.

Остальные территории в секторах между железнодорожными магистралями обычно заселены очень слабо.

Поэтому в первоначальный период освоения указанных территорий размеры пригородного пассажиропотока весьма незначительны и с ними вполне может справиться безрельсовый вид транспорта — автобус. По мере роста пассажиропотоков в секторах между железными дорогами они могут быть освоены комбинированными средствами внутригородского транспорта — автобусом, троллейбусом и впоследствии скоростным трамваем.

Учитывая, что строительная стоимость сооружения линии скоростного трамвая в 2—3 раза ниже стоимости наземной линии метрополитена и в 3—4 раза ниже стоимости подземной линии метрополитена (мелкого заложения), обслуживание транспортной связи города и его пригородов скоростным трамваем является в данном случае более целесообразным, чем сооружение вылетной линии метрополитена.

### 3. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ДИАМЕТРЫ В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

Наиболее целесообразное решение проблемы совмещения пригородного и внутригородского движения в больших городах достигается сооружением сквозных железнодорожных диаметров.

Под диаметром подразумевается железная дорога внеуличного типа, диаметрально проходящая через центральные районы города и соединяющая пригородные участки магистральных железных дорог противоположных направлений.

Направление трассы железнодорожного диаметра в пределах города устанавливается на основе детальных технико-экономических обследований районов города и выявления перспективных пассажиропотоков, тяготеющих к данной линии.

Сооружение сквозных железнодорожных диаметров в больших городах позволяет:

а) превратить тупиковые станции в сквозные, благодаря чему увеличивается их пропускная способность;

б) обеспечить доставку пригородных пассажиров в центральные районы города без пересадки на городские виды транспорта;

в) использовать пригородные поезда в пределах городской трассы железнодорожного диаметра для перевозки городских пассажиров, благодаря чему достигается известная разгрузка городского транспорта;

г) рассредоточить потоки пригородных пассажиров по районам города, особенно в утренние и вечерние часы наиболее интенсивного движения;

д) значительно сократить затраты времени на проезд пригородных пассажиров в центр города и обратно;

е) улучшить связь между пригородными участками, расположенными в противоположных районах города;

ж) широко применить колебательное (маятниковое) движение пригородных поездов между примыкающими к городу пригородными участками, что сокращает также потребность в подвижном составе;

з) сократить потребность в городских видах транспорта и необходимых для их эксплуатации сооружениях (трамвайные пути, контактная сеть, подстанции, депо, гаражи и др.);

и) устранить необходимость развития головных станций в черте города для обслуживания пригородного движения, так как при наличии диаметра и организации маятникового движения все технические операции с пригородными поездами могут быть вынесены на зонные станции.

Железнодорожные диаметры, прокладываемые в тоннелях через центральные районы и наиболее загруженные транспортные артерии города, имеющие удобные пересадочные станции в местах пересечения с линиями метрополитена, обеспечивают более удобное сооб-

щение для пригородных пассажиров в то же время позволяют разгрузить тупиковые станции от излишних поездов и привокзальные площади от значительной части пассажиров.

Организация движения поездов на железнодорожных диаметрах при большой частоте и высоких скоростях сообщения полностью отвечает также интересам городских пассажиров и по существу превращает диаметр в пределах города в самостоятельную линию метрополитена.

Сооружение железнодорожных диаметров, совмещающих обслуживание как пригородных, так и внутригородских пассажиров и обеспечивающих отклонение на диаметр большей части пригородного пассажиропотока, позволяет устранить излишнюю потерю времени пригородными пассажирами на пересадки и значительно улучшить работу городских средств сообщения.

Размер максимального пассажиропотока в интенсивные часы на железнодорожном диаметре определяется сложением двух потоков: пригородного, отклоняемого на диаметр ( $P_{пр}$ ), и городского, тяготеющего к диаметру, т. е.:

$$P_{час}^{диам} = \frac{\alpha P_{пр} \varphi_m}{2 \cdot 365} \psi_{пр} + \frac{E_{диам} K_{диам}}{2 \cdot 365} \psi_{гор}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий долю пригородного пассажиропотока, отклоняемого на железнодорожный диаметр;

$\varphi_m$  — коэффициент суточной неравномерности в пригородном движении;

$\psi_{пр}$  — процент пригородных пассажиров, приходящийся на час максимального движения;

$E_{диам}$  — количество городского населения, обслуживаемого железнодорожным диаметром;

$K_{диам}$  — годовой коэффициент мобильности городского населения, обслуживаемого железнодорожным диаметром;

$\psi_{гор}$  — процент городских пассажиров диаметра, приходящийся на час максимального движения.

Для оценки результатов, достигаемых при сооружении железнодорожного диаметра, необходимо определить ускорение доставки пассажиров при беспересадочном следовании их к пунктам назначения по сравнению с комбинированной поездкой, связанной с пересадкой на городской транспорт у тупиковой станции, и установить потребный объём капиталовложений для сооружения железнодорожного диаметра.

#### А. Экономия времени пригородными пассажирами, достигаемая при сооружении железнодорожного диаметра

Затрата времени пригородным пассажиром на комбинированную поездку при отсутствии железнодорожного диаметра включает:

1. Время нахождения пассажира в поезде от пункта возможного примыкания железнодорожного диаметра к пригородной линии до тупиковой станции или до пересадочной станции с пригородной линии на городской транспорт. Указанный элемент времени может быть определен по следующей формуле:

$$t_1 = \frac{60 l_0}{v_{уч}} \text{ мин.}, \quad (7)$$

где  $l_0$  — расстояние от пункта возможного примыкания железнодорожного диаметра до тупиковой станции в км;  
 $v_{уч}$  — средняя участковая скорость пригородного поезда в пределах остановочной зоны в км/час.

2. Время на выход пассажира из тупиковой или пересадочной станции на привокзальную площадь. Указанная затрата времени пригородным пассажиром может быть определена по формуле

$$t_2 = t_{вых} + \left( \frac{0,5 l_n}{v_{пеш}} + \frac{l_{ост}}{v_{пеш}} \right) \frac{1}{60} \text{ мин.}, \quad (8)$$

где  $t_{вых}$  — время на выход пассажира из вагона в мин.;

$l_n$  — длина поезда в м;

$v_{пеш}$  — скорость передвижения пешехода (обычно принимается равной 1,0 — 1,4 м/сек);

$l_{ост}$  — расстояние от платформы до привокзальной площади в м.

3. Время на переход пассажира от привокзальной площади до остановочного пункта городского транспорта. Данный элемент времени может быть определен по формуле

$$t_3 = \frac{60 l_3}{v_{пеш}} \text{ мин.}, \quad (9)$$

где  $l_3$  — расстояние от привокзальной площади до остановочного пункта городского транспорта в м.

4. Время на спуск пассажира на платформу и переход вдоль платформы при пользовании метрополитеном. При мелком заложении тоннеля требуется спуск пассажира на глубину 10—12 м от поверхности земли.

Такой спуск осуществляется обычно двумя приемами: с поверхности земли до распределительного коридора несколькими маршами обыкновенных лестниц примерно на среднюю глубину спуска и затем такими же лестницами от распределительного зала спуск на платформу.

При высоте ступенек, принимаемой обычно равной  $b=15$  см, это требует устройства  $n=60-62$  ступенек, или 6 маршей по 10-11 ступенек.

Время спуска по таким лестницам определяется из расчёта  $t_c = 0,75$  сек. на каждую ступеньку и около  $t_k = 1$  мин. на переход по коридорам и платформе.

Таким образом, время, потребное пассажиру на спуск при мелком заложении, составит

$$t_4 = \frac{nt_c}{60} + t_k \text{ мин.} \quad (10)$$

При глубоком заложении спуск пассажира на платформы подземных станций на глубину до 60 м от поверхности земли осуществляется двумя приёмами. С поверхности земли проектируются спуск обыкновенными лестницами в распределительные коридоры, расположенные ниже уровня подземного хозяйства улиц; дальнейший спуск осуществляется подвижными лестницами (эскалаторами) на глубину, определяемую по формуле

$$h_1 = h - a, \quad (11)$$

где  $h_1$  — глубина спуска эскалатором в м;

$h$  — общая глубина заложения подземной станции в м;

$a$  — высота маршевых лестниц в м.

Затрата времени на спуск пассажира на платформу станции глубокого заложения и проход вдоль платформы составит

$$t_4 = \left( \frac{h - h_1}{v_{пеш}} + \frac{h - a}{v_{эск}} \right) \frac{1}{60} + t_k \text{ мин.}, \quad (12)$$

где  $a$  — высота ступенек маршевых лестниц в м;

$v_{эск}$  — скорость движения эскалатора в м/сек.

5. Время ожидания пассажиром экипажа городского транспорта или поезда метрополитена. Время ожидания экипажа городского транспорта или поезда метрополитена может быть принято равным половине среднего интервала между экипажами или поездами метрополитена, т. е.

$$t_5 = \frac{I_{\min}}{2} \text{ мин.}, \quad (13)$$

где  $I_{\min}$  — расчётный интервал между экипажами или поездами метрополитена в минутах.

6. Время на проезд пассажира на городском транспорте или в поезде метрополитена до пункта назначения:

$$t_6 = \frac{60 l_{cp}}{v_{уч}} \text{ мин.}, \quad (14)$$

где  $l_{cp}$  — средняя дальность поездки пригородного пассажира в км,  $v_{уч}$  — участковая скорость движения поезда в км/час.

7. Время на переход пассажира вдоль платформы и подъём на поверхность земли при пользовании метрополитеном. Указанный элемент затраты времени устанавливается аналогично затрате времени на спуск на станции мелкого или глубокого заложения (с учётом того, что при подъёме по лестницам потребное время на каждую ступеньку составляет не 0,75, а 1,25 сек.), т. е.:

$$t_7 = \left( \frac{h - h_1}{v_{пеш}} + \frac{h - a}{v_{эск}} \right) \frac{1}{60} + t_k \text{ мин.} \quad (15)$$

Общее время поездки пригородного пассажира, считая от пункта возможного примыкания подземного железнодорожного диаметра к путям пригородного участка, определяется как сумма перечисленных выше составных элементов затраты времени, т. е.

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7. \quad (16)$$

При сооружении подземного железнодорожного диаметра общая затрата времени на передвижение пригородного пассажира от пункта примыкания железнодорожного диаметра к пригородной линии до пересадки на городской транспорт с учётом дополнительной затраты времени на ожидание поезда, отклоняемого на железнодорожный диаметр, составит

$$T_{\partial} = t_6^{\partial} + t_7^{\partial} + \Delta t_{ож} \text{ мин.},$$

где  $\Delta t_{ож} = \frac{I_{\min}^{\partial}}{2} - \frac{I_{\min}}{2}$  — дополнительное время ожидания пригородным пассажиром поезда, отклоняемого на железнодорожный диаметр.

Таким образом, если принять  $t_7^{\partial} = t_7^{\mu}$ , то получим, что пригородный пассажир при каждой поездке и пользовании сквозным железнодорожным диаметром будет экономить время, равное

$$t_{эск} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 - (t_6^{\partial} - t_6^{\mu}) - \Delta t_{ож} \text{ мин.} \quad (17)$$

Расчёт указанных элементов затраты времени пригородным пассажиром на передвижение позволяет построить график общего баланса времени пригородного пассажира при пользовании им различными видами городского транспорта и при сооружении сквозного железнодорожного диаметра.

Построение указанного графика может быть произведено на основе формулы

$$T = A + \frac{60 l_{cp}}{v_{уч}} \text{ мин.}, \quad (18)$$

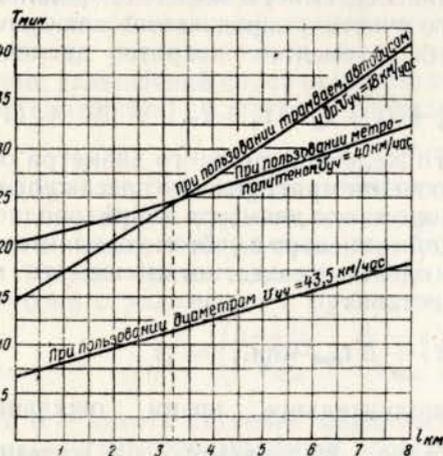
где  $T$  — общий баланс времени на передвижение пригородного пассажира в одном направлении в минутах;

$A$  — дополнительная затрата времени в минутах на ожидание пригородным пассажиром поезда, отклоняемого на железнодорожный диаметр; при отсутствии диаметра — на проезд до тупиковой станции, подход к остановке и ожидание поезда метрополитена или экипажа городского транспорта и переходы на станциях;

$l_{cp}$  — средняя дальность поездки пригородного пассажира в границах городской черты в км;

$v_{уч}$  — участковая скорость движения городского транспорта в км/час.

Дополнительное время ожидания пригородным пассажиром поезда, отклоняемого на железнодорожный диаметр, может быть



Фиг. 11. Сравнительный график общего баланса времени пригородного пассажира при комбинированной поездке различными видами городского транспорта и при сооружении железнодорожного диаметра

на остановке городского транспорта, ожидание экипажа городского транспорта и др., могут быть определены по вышеприведённым формулам.

На фиг. 11 приведён график общего баланса времени пригородного пассажира при комбинированной поездке различными видами городского транспорта и при сооружении железнодорожного диаметра.

Общая годовая экономия времени от сооружения сквозного железнодорожного диаметра только пригородными пассажирами определится по следующей формуле:

$$\sum T_{эк} = 365 \sum P_{сут} \frac{2t_{эк}}{60} \text{ час.}, \quad (19)$$

где  $\sum T_{эк}$  — общая годовая экономия времени пригородными пассажирами в часах;

$\sum P_{сут}$  — среднесуточный пригородный пассажиропоток, отклоняемый на железнодорожный диаметр.

Из приведённого графика (фиг. 11) видно, что при сооружении железнодорожного диаметра пригородный пассажир экономит до 40% времени, затрачиваемого им при комбинированной поездке до тупикового вокзала и использовании других видов городского транспорта.

Кроме того, график показывает, что при комбинированной поездке пригородного пассажира на короткие расстояния более выгодным является пользование трамваем, автобусом, троллейбусом, чем метрополитеном.

При поездках свыше 3 км более выгодным становится пользование метрополитеном.

Использование же городскими пассажирами подземного железнодорожного диаметра как обычной линии метрополитена ещё более повышает эффективность сооружения железнодорожного диаметра.

## Б. Потребные капиталовложения для сооружения сквозного железнодорожного диаметра

Капитальные затраты, необходимые для сооружения железнодорожного диаметра тоннельного типа и остановочных пунктов на нём, могут быть определены по следующей формуле:

$$\sum K = K_d l_d + K_{об} l_d + K_{ост} n_{ост} + K_{застр} \text{ руб.}, \quad (20)$$

где  $\sum K$  — общая стоимость сооружения подземного железнодорожного диаметра;

$K_d$  — стоимость 1 км сооружения диаметра;

$l_d$  — протяжённость диаметра в км;

$K_{об}$  — стоимость оборудования 1 км тоннеля (верхнее строение пути, связь и СЦБ, кабельная проводка, третий рельс или контактная сеть, вентиляция);

$K_{ост}$  — стоимость сооружения подземной станции или остановочного пункта;

$n_{ост}$  — число станций или остановочных пунктов;

$K_{застр}$  — общая стоимость сносимых городских сооружений.

При установлении потребных капиталовложений для сооружения сквозного железнодорожного диаметра необходимо учитывать также, что при этом будут высвобождены известные капиталовложения на развитие других видов городского транспорта в районах, тяготеющих к диаметру, и на развитие тупиковых станций в пределах городской черты.

Кроме того, следует учитывать некоторое сокращение капиталовложений в подвижной состав ( $\kappa_1$ ), обусловленное применением маятникового движения.

Если обозначить капиталовложения, требующиеся для развития других видов городского транспорта (скоростной трамвай, автобус, троллейбус, метрополитен) при отсутствии железнодорожного диаметра, через  $\kappa_2$  и для развития тупиковых станций в пределах городской черты через  $\kappa_3$ , то расчётная стоимость сооружения сквозного железнодорожного диаметра должна приниматься равной

$$\sum \kappa' = \sum \kappa - (\kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3) \text{ руб.} \quad (20a)$$

### Раздел III

## ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

Эксплуатационно-техническая характеристика железнодорожного диаметра определяется в основном трассой линии и её продольным профилем, схемой развязок диаметра с наземными пригородными линиями, габаритом тоннелей и путевым развитием тоннельных станций.

Указанные элементы технической вооружённости определяют конструкцию и в значительной степени пропускную способность и условия эксплуатации железнодорожных диаметров.

### 1. НАПРАВЛЕНИЕ И ТРАССА ЛИНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

Выбор направления и трассы железнодорожного диаметра в пределах города определяется в основном направлением и мощностью пассажиропотоков.

Трасса железнодорожного диаметра выбирается в соответствии с генеральным планом развития города, схемой сети городского транспорта и наилучшими условиями сопряжения диаметра с магистральными линиями железных дорог; при этом учитывается большой комплекс геотехнических и гидрогеологических факторов, влияющих на трассу железнодорожного диаметра.

Анализ данных проектирования и сооружения городских подземных железных дорог (диаметр, метрополитен) показывает, что проектирование конструкции тоннелей (поперечного сечения) и продольного профиля трассы значительно отличается от проектирования горных железнодорожных тоннелей.

В городских условиях необходимо учитывать залегающую у поверхности земли сложную сеть подземных сооружений городского хозяйства (канализация, водопровод, газопровод, телеграфные, телефонные и другие кабели), застроенность территории домами и искусственными сооружениями, габариты проезжей части улиц и размеры уличного движения.

Разнообразие городских и геологических условий, а также большой комплекс тоннельных сооружений обусловили применение специальных методов тоннельных работ, существенно влияющих на конструкцию тоннелей (поперечное сечение), тип подземной дороги и её продольный профиль.

Как известно, по методам производства тоннельных работ в городских условиях различают:

систему глубокого заложения, когда все тоннели и станции располагаются на глубине от 10 м и более преимущественно в устойчивых породах грунтов;

систему мелкого заложения, когда тоннели и станции располагаются на глубине до 10 м, и открытую систему работ с устройством тоннелей в открытом котловане.

При сооружении тоннелей глубокого заложения применяется щитовой метод проходки тоннелей с широкой механизацией всех трудоёмких процессов.

Продольный профиль трассы подземной железнодорожной линии определяется в основном глубиной заложения линии.

При мелком заложении тоннели подземной линии прокладываются возможно ближе к поверхности земли, и профиль их в каждом отдельном случае устанавливается с учётом пропуска сооружений подземного хозяйства.

Прокладка тоннелей мелкого заложения требует:

а) при открытом способе — раскрытия мостовой, перекладки трамвайных линий, создания обходных направлений и пр., что связано во время производства работ со снижением пропускной способности транспортной сети;

б) при открытом и закрытом способах — переустройства или перекладки существующих подземных сетей, находящихся на глубине от 0,5 до 2,0 м (канализация, водостоки, водопровод, газ, телефон, кабели слабых и сильных токов и др.), а также укрепления фундаментов домов.

Кроме того, движение поездов при мелком заложении вблизи поверхности земли создаёт шум, неприятный для жителей домов, под которыми проходит трасса подземной железнодорожной линии.

План и продольный профиль трассы подземной железнодорожной линии мелкого заложения с эксплуатационной точки зрения получается несколько худшим, чем при глубоком заложении.

Глубокое заложение трассы подземной железнодорожной линии (метрополитена или железнодорожного диаметра) позволяет:

выполнять постройку тоннелей без раскрытия городских проездов, покрытых в большинстве усовершенствованными мостовыми, и без связанного с этим нарушения движения на главных артериях города, где прокладывается трасса диаметра;

устранять необходимость массового переустройства сложного городского подземного хозяйства с сетью многочисленных трубопроводов, кабелей и др., обслуживающих коммунальные потреб-

ности населения и средства связи, а также проведения сложных технических мероприятий по укреплению фундаментов зданий и сооружений; необходимость в переустройстве существующих городских подземных сооружений и сетей может возникнуть лишь в местах закладки шахт для осуществления работ, связанных с проходкой тоннеля;

осуществлять проектирование трассы тоннеля глубокого заложения кратчайшим направлением и с наиболее рациональным планом и профилем в отношении условий эксплуатации;

обеспечить частичное расположение тоннелей в водонепроницаемых грунтах;

осуществлять работы по сооружению тоннелей при любых сезонных и температурных условиях;

использовать тоннели глубокого заложения для оборонных целей.

Однако наряду с указанными преимуществами глубокое заложение тоннелей подземных железных дорог имеет также ряд отрицательных моментов, к которым прежде всего относятся:

трудности преодоления грунтовых вод при прокладке тоннелей в водоносных грунтах;

оборудование всех станций мощными подъёмными приспособлениями для быстрого подъёма и спуска пассажиров.

Перемещение пассажиров в вертикальном направлении отнимает столько времени, что они нередко избегают пользоваться подземным видом транспорта для проезда на малые расстояния.

Выбор глубины заложения трассы подземной железной дороги, а следовательно, плана и продольного профиля её должен решаться в каждом отдельном случае на основе технико-экономического сравнения вариантов сооружения трассы подземной линии.

В условиях трассирования подземных железнодорожных линий величина уклона путей принимается не менее 3‰ для обеспечения отвода подземных грунтовых вод.

С эксплуатационной точки зрения, подземные станции целесообразнее располагать на «горбе», что улучшает условия торможения при подходе к станции и обеспечивает большее ускорение поезда при разгоне.

Опыт сооружения лучшего в мире Московского метрополитена показывает, что трассировка линий и проектирование продольного профиля по более жёстким техническим условиям определяют значительно лучшие и более безопасные условия эксплуатации линий метрополитена по сравнению с зарубежными.

Так, например, на парижском метрополитене, где допущены уклоны до 45‰ и радиус кривых в плане до 40 м, при движении поездов наблюдаются сильные броски пассажиров в стороны; в метрополитенах Берлина и Лондона, где значительное количество станций трассировано на кривых, при остановках поездов у дверей между полом вагона и платформой образуется большая щель,

представляющая опасность для пассажиров, и, кроме того, при отправлении поезда со станции дежурный по станции не видит всех дверей состава.

Отличительной особенностью продольного профиля железнодорожного диаметра (по сравнению с профилем метрополитена) является наличие переходных участков от тоннельного залегания линии к наземному. Под переходными участками в данном случае понимаются участки перехода подземной трассы железнодорожного диаметра (глубокого или мелкого заложения) к наземным путям пригородных участков.

Протяжение таких переходных участков определяется глубиной заложения трассы диаметра, величиной заданного уклона, а также условиями примыкания диаметра к наземным путям пригородных участков.

По условиям примыкания к наземным путям, при известной глубине заложения тоннеля диаметра, необходимая длина переходного участка устанавливается с учётом применения различных уклонов в пределах, допускаемых техническими условиями проектирования подземных железнодорожных линий.

Профиль переходных участков имеет особо важное значение для поездов, следующих с пригородных участков на подземный железнодорожный диаметр, так как в этом случае величина уклона влияет на длину тормозного пути, которая в свою очередь влияет на пропускную способность диаметра.

## 2. СХЕМЫ РАЗВЯЗОК ПОДЗЕМНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДИАМЕТРА С НАЗЕМНЫМИ ЛИНИЯМИ

При проектировании и строительстве крупных железнодорожных узлов, к которым примыкает большое количество железнодорожных направлений, вопрос устройства их развязок приобретает особенно важное значение.

Как известно, пересечения сходящихся к узлу линий могут быть осуществлены:

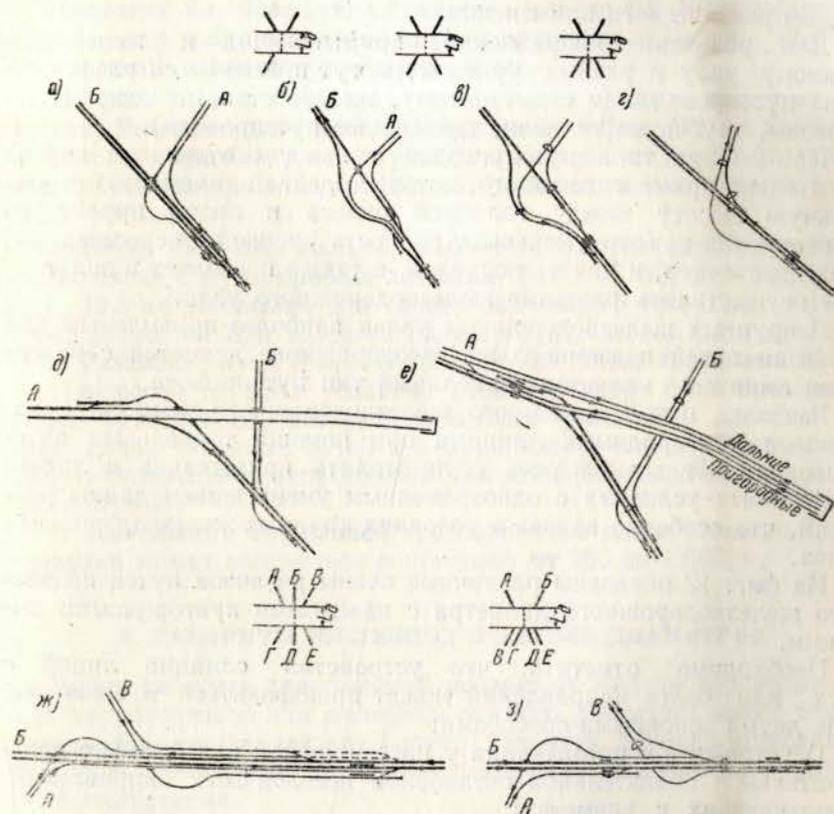
- а) в одном уровне;
- б) в одном уровне с устройством шлюза;
- в) в разных уровнях с устройством путепроводных развязок.

При сооружении подземных железнодорожных диаметров в крупных городах с сильно развитым, уже сложившимся железнодорожным узлом (сортировочными станциями, пассажирскими парками, техническими станциями, путепроводными развязками и др.) примыкание путей железнодорожного диаметра к наземным путям пригородных участков связано с большими трудностями. При этом необходимо отметить, что пересечение путей железнодорожного диаметра с наземными путями на перегоне как по условиям пропускной способности, так и по условиям безопасности движения совершенно исключается.

Поэтому в дальнейшем рассматриваются развязки путей железнодорожного диаметра и наземных пригородных участков только в разных уровнях, т. е. с устройством путепроводов.

Схемы возможных развязок путей подземного железнодорожного диаметра с наземными линиями могут быть осуществлены по следующим вариантам:

а) на железнодорожный диаметр выводятся пригородные поезда с двух направлений (фиг. 12, а, б, в, г, д, е);



Фиг. 12. Схемы возможных развязок подземного железнодорожного диаметра с наземными пригородными линиями

б) на железнодорожный диаметр выводятся пригородные поезда с трёх направлений (фиг. 12, ж, з);

в) на железнодорожный диаметр выводятся пригородные поезда с четырёх и более направлений.

При этом следует учитывать, что линии, имеющие выход на железнодорожный диаметр, могут быть двухпутными, трёхпутными и четырёхпутными.

Наиболее реальными вариантами являются развязки, обеспечивающие вывод на диаметр пригородных поездов с двух направлений; при выводе на диаметр пригородного движения с трёх направлений крайне осложняется регулировка движения и, кроме того, частота движения различных зон пригородных линий при этом будет недостаточной.

Вывод на железнодорожный диаметр четырёх и более линий может рассматриваться только как теоретический вариант, не имеющих практического применения.

Для развязки направлений, примыкающих к железнодорожному узлу в разных уровнях, могут применяться различные типы путепроводов (с ездой по низу, железобетонные косые путепроводы, трубчатые тоннели, тоннельные путепроводы).

При выборе типа путепроводов в каждом отдельном случае желательно применение такого, который даёт минимальную строительную высоту между головкой рельса и низом пролётного строения, так как это уменьшает разность уровней в пересечениях, а следовательно, и длины подходов, а также позволяет в дальнейшем осуществлять развитие железнодорожного узла.

В крупных железнодорожных узлах наиболее приемлемым для развязки путей подземного железнодорожного диаметра с наземными линиями является тоннельный тип путепровода.

Развязка путей подземного железнодорожного диаметра с наземными пригородными линиями при помощи тоннельных путепроводов даёт возможность осуществлять примыкание в любых профильных условиях с одновременным уменьшением длины развязки, что особенно важно в условиях крупных железнодорожных узлов.

На фиг. 12 показаны различные схемы развязок путей подземного железнодорожного диаметра с наземными пригородными линиями.

Необходимо отметить, что устройство слияния линий с двух или более направлений может производиться в свою очередь двумя основными способами:

1) устройством примыкания у пассажирской платформы с предварительной обязательной остановкой поездов всех направлений, примыкающих к диаметру;

2) устройством примыкания непосредственно на перегоне с ограждающими устройствами.

Слияние путей подземного диаметра с наземными пригородными линиями на перегоне при больших скоростях движения недопустимо по условиям безопасности движения.

Поэтому развязка путей подземного диаметра с наземными пригородными линиями должна осуществляться в основном по первому варианту примыкания, предусматривающему остановку поездов у платформы перед входом на диаметр.

Из рассмотрения указанных выше схем видно, что развязка примыканий по схеме фиг. 12, а требует наиболее крупных устройств,

т. е. дополнительной укладки двух путей, сооружения двух или трёх платформ, а в случае наземной развязки — переходных мостиков для пассажиров.

Устройство подземных слияний наиболее сложно по схемам фиг. 12, а и в, так как в этих случаях требуется четырёхпутная станция. Наиболее просто осуществляется развязка по схемам фиг. 12, б и г, так как в этом случае требуется устройство трёхпутной станции.

Несмотря на большую сложность вывода на железнодорожный диаметр трёх направлений схемы примыканий по фиг. 12, б и г могут иметь практическое применение.

На фиг. 12, ж и з показаны два варианта решения поставленной задачи. Развязка по схеме, приведённой на фиг. 12, ж, наиболее безопасна и удобна в эксплуатации, но крайне дорога в строительном отношении и может быть осуществлена лишь на поверхности земли.

Особенно больших капиталовложений требует вариант развязки по схеме с пунктирными линиями (фиг. 12, ж); вариант схемы фиг. 12, з менее сложен для осуществления, но при этом регулировка движения при входе на диаметр будет весьма затруднительной. Развязка линии В может быть осуществлена и под землёй.

При особо трудных условиях развязки могут быть применены косые путепроводы, которые позволяют уменьшить площадь отвода, длину отводных путей и в большинстве случаев удешевляют общую стоимость путепроводной развязки (особенно при большом числе путей).

В зависимости от условий трассирования длина путепроводной развязки может изменяться в пределах от 250 до 1 600 м.

### 3. ГАБАРИТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

Выбор габарита для тоннелей подземных железнодорожных линий (метрополитена или железнодорожного диаметра) имеет первостепенное значение, так как размер диаметра тоннеля определяет стоимость его сооружений, провозную способность линии и характер её эксплуатации.

Эксплуатационные требования к выбору габарита тоннеля определяются назначением линии, габаритом подвижного состава, подлежащего пропуску в тоннеле, габаритом приближения строений и оборудования в тоннеле и системой токосъёма (верхний контактный провод или третий контактный рельс).

Как известно, на электрифицированных железных дорогах СССР обращаются вагоны моторвагонного подвижного состава, построенные по габариту 2-В с шириной вагона 3 600 мм (3 480 мм).

Для обеспечения пропуска подвижного состава, имеющего габарит 2-В, применяется габарит приближения строений 2-С (§ 6 ПТЭ).

Для выбора габаритов тоннеля и приближения оборудования в тоннеле устанавливается предельное очертание вагона во время его перемещения, т. е. необходимый эксплуатационный габарит подвижного состава.

При проектировании тоннелей подземных железнодорожных линий (метрополитенов, железнодорожных диаметров и глубоких вводов) определение точных величин отклонения вагона от оси пути во время движения по прямому участку и по кривым имеет очень большое значение; указанные величины позволяют установить точные размеры габарита тоннеля и размеры габарита приближения оборудования (т. е. линии, за которые не должны выступать стены тоннеля, платформы, колонны, а также оборудование в тоннеле — сигналы, шкафы СЦБ, арматура освещения, кабельные проводки и др.) с учётом возможности безопасного нахождения обслуживающего персонала при движении поездов.

При выборе габарита для тоннельных участков внутригородских железных дорог необходимо учитывать следующие возможные варианты их использования:

1) пропуск поездов метрополитена для обслуживания внутригородских перевозок без выпуска таких поездов на пригородные участки, в соответствии с чем габарит тоннелей рассчитывается на пропуск подвижного состава метрополитена, т. е. более узкого габарита;

2) пропуск моторвагонных пригородных поездов, имеющих назначение обслуживать как пригородных, так и городских пассажиров, в соответствии с чем габарит тоннелей рассчитывается на пропуск пригородного пассажирского подвижного состава;

3) пропуск наравне с пригородными поездами также дальних и местных пассажирских поездов, в соответствии с чем габарит тоннелей рассчитывается на пропуск любого пассажирского состава дорог СССР;

4) пропуск любого подвижного состава железных дорог как грузового, так и пассажирского, в соответствии с чем и должен быть выбран габарит тоннелей подземных железных дорог.

Габариты приближения строений на тоннельных станциях отличаются от габарита приближения строений тоннелей в связи с наличием станционных платформ, колонн и различного станционного оборудования.

Разрыв между строительным габаритом тоннеля и габаритом подвижного состава определяется коэффициентом заполнения сечения тоннеля подвижным составом по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{4bh}{\pi D^2}, \quad (21)$$

где  $\lambda$  — коэффициент заполнения сечения тоннеля;  
 $b$  — ширина вагона в м;

$h$  — высота вагона в м;

$D$  — внутренний диаметр тоннеля в м.

Сооружение тоннелей подземных железнодорожных линий, обеспечивающих пропуск подвижного состава габаритом 1-В и 2-В, связано с увеличением объёма земляных работ на перегонах и станциях, периметра перегонных и станционных тоннелей, а также общего веса металлических и железобетонных тубингов для отделки тоннелей.

Вместе с тем применение более широкого габарита для тоннелей подземных железнодорожных линий даёт следующие преимущества:

- а) ёмкость вагона при габарите 2-В увеличивается на 20%;
- б) провозная способность железнодорожных диаметров увеличивается пропорционально изменению поперечного сечения вагонов более широкого габарита, т. е. для пассажирского вагона габаритом 1-В по сравнению с вагоном метрополитена на 16,3% и для вагона габаритом 2-В (шириной 3 480 мм) — на 28,6%;
- в) уменьшается сопротивление движению поезда, сформированного из меньшего числа вагонов;
- г) обеспечивается непосредственный выход с подземной железнодорожной линии на магистральные линии железнодорожного узла.

Необходимо отметить, что применение более широкого габарита для подземных железнодорожных линий вовсе не требует соблюдения тех же норм приближения строений, как в нормальных железнодорожных габаритах, так как подземные линии имеют несколько иные условия эксплуатации, чем наземные.

При установлении габарита тоннеля подземной линии учитывается габарит подвижного состава, габарит оборудования, необходимое минимальное расстояние для прохода обслуживающего персонала, а также расстояние для размещения пантографа в верхней части тоннеля.

Сооружение подземных железнодорожных диаметров по единым габаритам с наземными пригородными линиями, т. е. по габариту СТ-1 (однопутные тоннели) и СТ-2 (двухпутные тоннели), обеспечивает беспрепятственный пропуск всего подвижного состава железных дорог СССР, повышает провозную способность железнодорожных диаметров примерно на 20% и создаёт нормальные условия для их эксплуатации.

#### 4. ТОННЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

Станции подземных железнодорожных линий (метрополитен, железнодорожный диаметр) обычно располагаются в пунктах массовой посадки и высадки пассажиров и пересечений линий железнодорожного диаметра с существующими и проектируемыми линиями метрополитена.

Сооружение станций в подземных условиях, особенно при глубоком заложении, требует разработки тоннелей крупных профилей, закладываемых преимущественно в устойчивых породах грунтов.

Конструкции станций подземных железнодорожных линий определяются в основном глубиной их заложения.

Для станций мелкого заложения характерной является прямоугольная конструкция, состоящая из бетонных стен и плоского железобетонного перекрытия.

Для уменьшения пролёта перекрытия обычно устанавливается один или два продольных ряда колонн.

Станции глубокого заложения сооружаются следующих конструкций:

а) односводчатые — с перекрытием пролёта всей станции одним сводом, опирающимся на грунт непосредственно или через стены (фиг. 13, а). Односводчатые станции могут быть как островного типа, так и с боковым расположением платформ;

б) двухсводчатые — пролёт станции состоит из двух самостоятельных тоннелей, соединённых между собой проходами. Двухсводчатые станции могут быть как островного типа, так и с боковым расположением платформ. Отсутствие у двухсводчатых станций средней распределительной платформы делает её мало пригодной в подземных условиях (фиг. 13, б);

в) трёхсводчатые станции, состоящие из трёх самостоятельных тоннелей.

Трёхсводчатая станция с тремя параллельными тоннелями замкнутого сечения, связанными между собой проходами (пилонная станция), представлена на фиг. 13, в.

На трёхсводчатых станциях пилонного типа два боковых тоннеля служат для размещения путей и посадочных платформ, а средний тоннель — для распределительного зала.

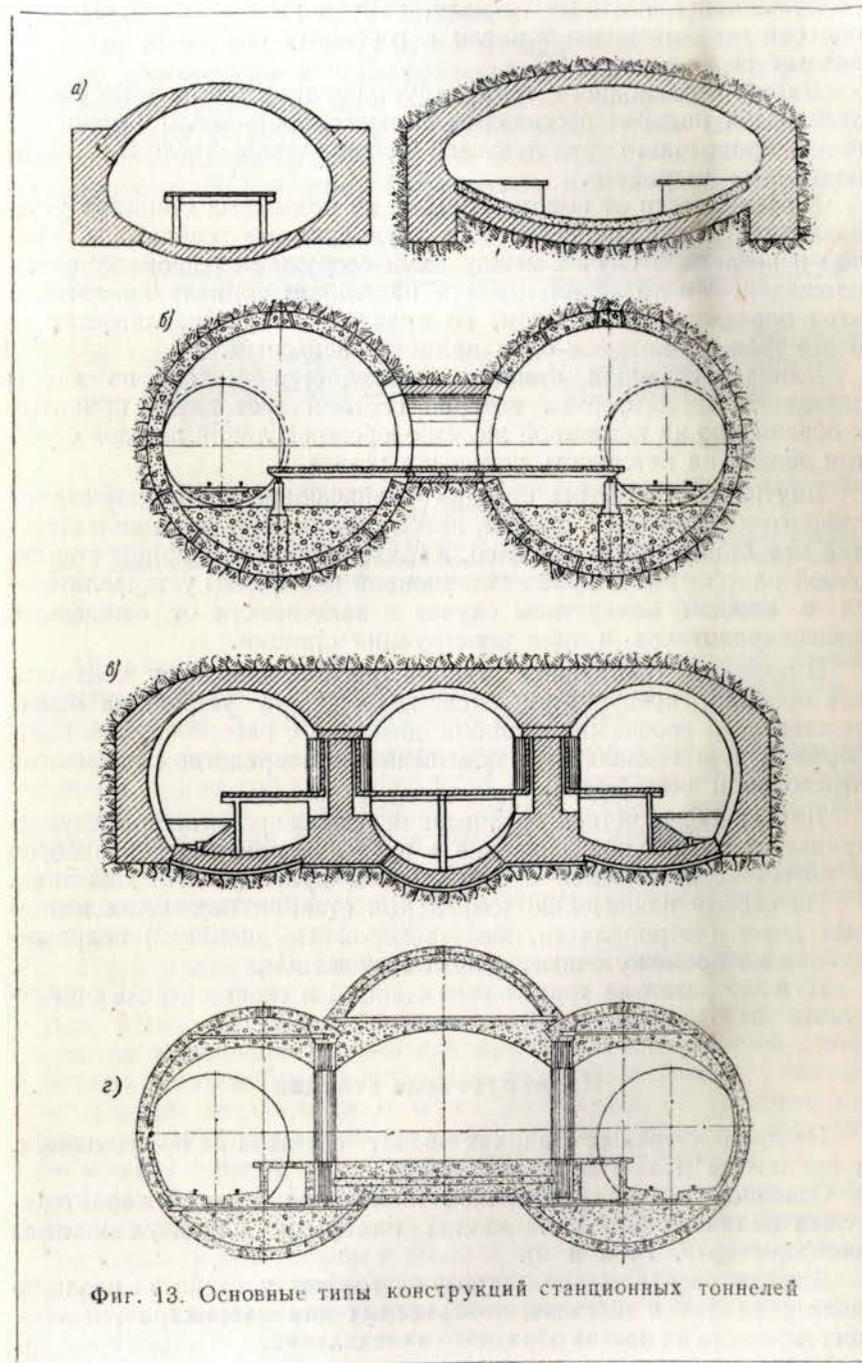
Трёхсводчатые станции с двумя боковыми тоннелями незамкнутого очертания и средним сводом, опирающимся на общие или отдельные внутренние опоры в виде колонн (колонная станция), приведены на фиг. 13, г.

Боковые платформы и распределительный зал на станции колонного типа объединены в одно целое.

Число проходов между боковыми и распределительным залами устанавливается в каждом конкретном случае расчётами в зависимости от ожидаемого пассажирооборота станции.

В СССР наибольшее распространение получили конструкции трёхсводчатых станций, выполняемых щитовым способом.

Сообщение между пассажирскими платформами подземных железнодорожных станций (подъём и спуск пассажиров) производится посредством маршевых лестниц и эскалаторов. Для размещения подъёмных устройств в условиях подземного трассирования



Фиг. 13. Основные типы конструкций станционных тоннелей

сооружаются наклонные тоннели, причём угол наклона продольной оси эскалаторного тоннеля к горизонту обычно принимается равным не более чем  $30^\circ$ .

Диаметр наклонного тоннеля устанавливается в зависимости от способа подъёма пассажиров на поверхность земли и мощности пассажиропотока, определяющего в свою очередь число и размеры подъёмных устройств.

В зависимости от высоты подъёма на подземных станциях устанавливаются одномаршевые или двухмаршевые эскалаторы, причём в последнем случае между ними сооружается промежуточная площадка. Число эскалаторов в наклонном тоннеле на каждый вход определяется расчётом, но практически устанавливается не менее трёх, из которых один является запасным.

Длина подземной станции определяется исходя из длины станционной платформы, которая соответствует длине принятых к обращению на подземной железнодорожной линии поездов с учётом запаса на неточность установки поезда.

Внутренние размеры станции назначаются в зависимости от габаритов подвижного состава, приближения оборудования и строений для станционных тоннелей, а также принятой ширины станционной платформы. Ширина станционной платформы устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от ожидаемых пассажиропотоков и типа конструкции станции.

В проектах тоннельных станций, расположенных у вокзалов, как правило, предусматривается возможность устройства непосредственного сообщения станции диаметра с пассажирскими платформами или вокзальными помещениями посредством подземных переходов и вестибюлей.

Для наиболее чёткой организации пассажиропотоков предусматривается раздельное движение в пределах подземных коридоров и наземных вестибюлей с соблюдением правопутного движения.

По своему назначению тоннельные станции подземных железных дорог (метрополитен, железнодорожные диаметры) подразделяются на промежуточные, зонные и конечные.

Путевое развитие тоннельных станций в свою очередь определяется их основным назначением.

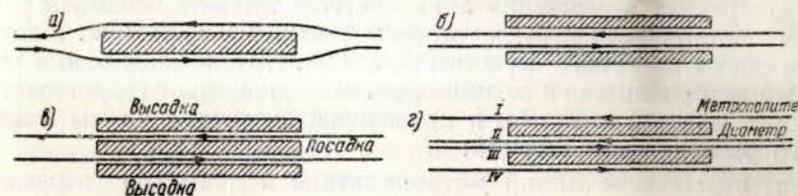
### Промежуточные станции

На промежуточных станциях оборот составов не производится, и все поезда являются проходящими.

Основной тип промежуточной тоннельной станции характеризуется наличием одной островной платформы или двух боковых платформ (фиг. 14, а и б).

Боковое расположение платформ требует устройства изолированных входов и выходов, необходимых для пассажиров, желающих пересечь на поезда обратного направления.

Островное расположение платформ хотя и сопряжено с неизбежным пересечением маршрутов входящих и выходящих пассажиров противоположных направлений, но является более удобным для всякого рода пересадок и требует минимального числа эскалаторов; при устройстве трёх эскалаторов в часы максимальных пассажиропотоков средний из них может в случае необходимости использоваться в сторону наибольшего пассажиропотока.



Фиг. 14. Схемы промежуточных станций на подземном железнодорожном диаметре:

а — с островным расположением платформ; б — с боковым расположением платформ; в — с тремя платформами; г — совмещённая станция в пунктах пересечения линий метрополитена и железнодорожного диаметра

Практика эксплуатации тоннельных промежуточных станций с островным расположением платформ выявила значительные их преимущества в эксплуатационном отношении.

Однако при островном типе станции совмещение потоков прибытия и отправления на одной и той же платформе при заполнении её пассажирами, ожидающими поездов своих зон, несколько ухудшает условия посадки и высадки пассажиров.

На станциях с большим объёмом одновременных посадочно-высадочных операций может быть применена трёхплатформенная станция с двумя путями (фиг. 14, в).

Планировка трёхплатформенной станции предусматривает разделение потоков пассажиров, садящихся и высаживающихся из поезда. Наиболее целесообразная схема организации пассажиропотоков в наземных вестибюлях при трёхплатформенной станции должна предусматривать подъём пассажиров из боковых платформ по крайним эскалаторам и спуск пассажиров на среднюю посадочную платформу двумя средними эскалаторами. При этом четыре эскалаторные ленты объединяются в одном тоннеле.

Вместе с тем сооружение трёхплатформенной станции, удобной для пассажиров в отношении устранения пересечения потоков на платформе и при посадке и высадке из вагонов, связано с увеличением объёма и усложнением тоннельных работ, а также увеличением числа эскалаторов вдвое по сравнению со станциями островного типа.

Целесообразность сооружения трёхплатформенных станций на железнодорожных диаметрах определяется:

а) возможностью изолировать посадку пассажиров от высадки их из вагонов и допустить одновременное выполнение этих операций;

б) возможностью отделить на средней, широкой, платформе пассажиров, ожидающих поезда своих зон, от пассажиров, прибывающих в пригородных поездах.

В пунктах пересечения линий метрополитена с железнодорожным диаметром могут быть устроены совмещённые станции. В зависимости от взаимного пересечения линий, глубины заложения тоннелей метрополитена и железнодорожного диаметра и гидрогеологических условий могут быть применены различные схемы взаимного расположения станций:

а) пересечение линий метрополитена и диаметра в разных уровнях в пределах станционных или перегонных тоннелей под прямым углом.

Пересечение линий метрополитена и железнодорожного диаметра в пределах станционного или перегонного тоннеля в одинаковой степени может осуществляться как при мелком, так и при глубоком заложении трассы железнодорожной линии.

Пересадка пассажиров с одной станции на другую может быть осуществлена посредством маршевых лестниц, эскалаторов и коротких коридоров.

Подъёмные устройства обеих станций (метрополитена и железнодорожного диаметра) могут быть объединены общим вестибюлем (подземным или наземным);

б) пересечение линий метрополитена и железнодорожного диаметра в одном уровне, т. е. с параллельным расположением станционных тоннелей; при этом пути железнодорожного диаметра проходят по середине, а пути метрополитена по бокам (фиг. 14, з).

В этом случае пересадка пассажиров для обратного следования осуществляется при помощи переходного мостика, переброшенного через станционные пути, и устройства соответствующих лестниц.

Применение совмещённых станций в одной плоскости целесообразно в условиях пересечения линий метрополитена и железнодорожного диаметра под острым углом и в основном применяется при мелком заложении, наличии больших городских площадей, широких магистралей или слабо застроенных внутриквартальных участков.

При глубоком заложении сооружение совмещённой станции в одной плоскости очень усложняется, так как требуется значительное раскрытие поперечного сечения станции.

Совмещённая станция в одном уровне проектируется в виде двух обычных трёхсводчатых станций, размещённых параллельно

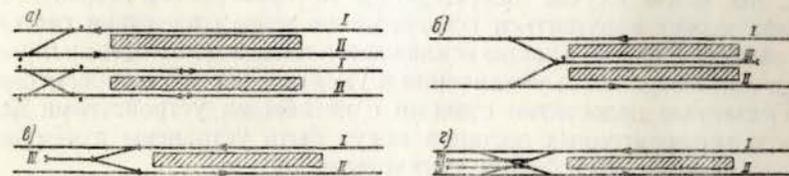
друг другу в одном уровне; при этом в поперечном сечении получается шесть станционных тоннелей.

В каждой группе из трёх тоннелей боковые тоннели служат для размещения путей и посадочных платформ, а средний — для распределительного зала.

### Зонные и конечные станции

На зонных станциях подземных железнодорожных линий часть поездов заканчивает следование, в связи с чем должен быть обеспечен отстой составов в часы неинтенсивного движения, а на конечных станциях (станциях примыкания) все поезда заканчивают движение с оборотом составов.

Обслуживание подземных железных дорог моторвагонным подвижным составом, когда для изменения направления движения



Фиг. 15. Схемы зонных и конечных станций на подземном железнодорожном диаметре:

а — с одним или двумя съездами перед платформой; б — с одним средним тупиковым путём и двумя съездами перед платформой; в — с одним тупиком у платформы; г — с двумя тупиками у платформы

требуется только переход бригады вдоль поезда, позволяет иметь на конечных и зонных станциях несложные устройства.

Основным типом конечной станции железнодорожного диаметра, на которой будут заканчивать движение поезда обоих направлений, можно считать станцию с островным расположением платформы, с дополнительными устройствами для перемены направления движения моторвагонных поездов.

Оборот составов в пределах подземного железнодорожного диаметра может осуществляться посредством:

- 1) специальной петли;
- 2) съездов, расположенных перед платформой (фиг. 15, а);
- 3) специальных тупиков, расположенных перед платформой, для оборота составов (фиг. 15, б, в и г).

Петлевые устройства на зонных и конечных станциях имеют ряд преимуществ, к которым можно отнести:

устранение перестановки моторвагонного подвижного состава с одного пути на другой, что не требует укладки стрелочных переводов,

наличия приборов и аппаратов централизации, в связи с чем уменьшаются эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием петлевых устройств;

исключение переходов поездной бригады с одного конца состава на другой, что упрощает оборот составов и позволяет иметь постоянную прикрепленную поездную бригаду;

сокращение времени оборота моторвагонного подвижного состава.

Движение по петле производится так же, как и на линии, в связи с чем оборот составов не влияет на частоту движения.

Несмотря на указанные преимущества петлевые устройства для оборота моторвагонного подвижного состава на подземных железнодорожных линиях получили очень незначительное применение. Это объясняется тем, что они осложняют дальнейшее развитие линии.

Кроме того, имеются затруднения и эксплуатационного характера, так как в случае повреждения моторвагонного подвижного состава может нарушиться всё движение из-за отсутствия отстойных запасных путей, а также исключается возможность сцепки и расцепки составов в часы увеличения и уменьшения пассажиропотока.

Указанные недостатки станции с петлевыми устройствами для оборота моторвагонных составов могут быть устранены путём дополнения петли отстойными тупиковыми путями.

Оборот моторвагонных составов посредством соответствующих съездов, расположенных перед платформой, осуществляется путём использования перронных путей в качестве оборотных (фиг. 15, а), т. е. в этом случае каждый путь зонной или конечной станции является приёмо-отправочным.

Преимущества таких станций заключаются в том, что они почти не ограничивают частоты движения, допускаемой условиями перегонов, что достигается отсутствием маневрового движения и возможностью отправить поезд от той же платформы, к которой он был принят.

Использование перронных путей зонной или конечной станции железнодорожного диаметра в качестве оборотных является наиболее простым и экономичным решением оборота моторвагонных поездов, заканчивающих движение на этих станциях, но в то же время оно менее безопасно, так как связано с пересечением маршрутов прибывающих и отправляющихся поездов. Кроме того, такая станция имеет недостатки зонной с петлевыми устройствами, так как отсутствие отстойных путей затрудняет сцепку и расцепку составов в часы изменения пассажиропотоков.

Поэтому наиболее приемлемой схемой зонной или конечной станции подземного железнодорожного диаметра можно считать станцию со специализированными станционными путями и специальными тупиковыми путями и съездами.

При этом возможны две основные схемы зонной или конечной станции:

1) с одним тупиковым путём (фиг. 15, б и в);

2) с двумя тупиковыми путями (фиг. 15, г).

Необходимо отметить также, что кроме оборотных устройств, на зонных или конечных станциях подземного железнодорожного диаметра, где имеется резкое изменение интенсивности пассажиропотока по часам суток, желательнее иметь тупики для отстоя моторвагонных секций.

На подземном железнодорожном диаметре при отсутствии тупиковых станций оборот составов для поездов, не участвующих в маятниковом движении, может производиться на станциях, оборудованных для этой цели одним или двумя тупиковыми путями с соответствующим числом съездов, как, например, показано на фиг. 15, г.

## Раздел IV

### ПРОПУСКНАЯ И ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

#### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Железнодорожные диаметры должны обеспечивать выполнение массовых пассажирских перевозок при полной безопасности движения и бесперебойной работе всех устройств.

Это предъявляет исключительно высокие требования к сооружению железнодорожных диаметров и в первую очередь к их пропускной и провозной способности, определяющей в целом техническую вооружённость и организацию эксплуатационной работы диаметров.

Если учесть ещё возможный пропуск по железнодорожным диаметрам дальних пассажирских поездов и весьма большие капиталовложения, вкладываемые в сооружение железнодорожных диаметров, то станет ясным, что определение потребной пропускной и провозной способности железнодорожных диаметров является одной из наиболее ответственных задач их проектирования.

Пропускная способность железнодорожных диаметров определяется рядом факторов, причём важнейшими из них являются:

- а) выбор устройств СЦБ;
- б) выбор типа подвижного состава и мощности тяговых двигателей;
- в) размещение отдельных пунктов;
- г) выбор типа оборотных устройств на конечных станциях;
- д) продолжительность стоянок поездов на станциях.

Пропускная способность железнодорожного диаметра определяется по самому трудному, лимитирующему элементу и поэтому комплексное развитие всех устройств, влияющих на пропускную способность диаметра, имеет первостепенное значение.

Пропускная способность каждого направления двухпутного или многопутного железнодорожного диаметра в поездах может быть определена за расчётный период времени (максимальный час работы) по формуле

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{I_{\min}},$$

где 3600 — расчётный период времени (час) в секундах;  
 $I_{\min}$  — минимальный (расчётный) интервал времени между двумя поездами попутного следования в секундах.

Минимальный интервал времени между поездами  $I_{\min}$  на железнодорожных диаметрах определяется не только условиями движения поезда по перегонам, но и условиями работы станций, с которыми связаны остановки поездов для посадки и высадки пассажиров и дополнительные потери времени на разгон и замедление.

В соответствии с этим минимальный интервал времени между двумя попутными поездами с учётом остановки поезда на станции может быть определён в секундах по следующей формуле:

$$I_{\min}^{\text{см}} = \frac{L_{\min}}{v_x} + t_a + \tau_a + t_{\text{см}} + \tau_p, \quad (22)$$

где  $L_{\min}$  — минимальное расстояние между двумя попутными поездами в м;

$v_x$  — ходовая скорость движения поездов в м/сек;

$t_a$  — время на восприятие машинистом смены показаний сигнала и на срабатывание приборов в секундах;

$\tau_a$  — дополнительная затрата времени на замедление при остановке поезда на станции в секундах;

$t_{\text{см}}$  — продолжительность стоянки поезда на станции железнодорожного диаметра в секундах;

$\tau_p$  — дополнительная затрата времени на разгон при остановке поезда на станции в секундах.

Анализ формулы (22) показывает, что пропускная способность диаметра зависит от профиля трассы диаметра, типа подвижного состава, мощности двигателя и тормозных средств, определяющих величины  $v_x$ ,  $\tau_p$  и  $\tau_a$ , а в известной степени и  $L_{\min}$  и  $t_{\text{см}}$ , типа устройств СЦБ, определяющих в основном величины  $L_{\min}$  и  $t_a$ , и условий организации движения, определяющих величину  $t_{\text{см}}$ .

При заданном типе подвижного состава и мощности электродвигателей расчёт пропускной способности производится сравнительно просто, так как режим движения поезда определяется тяговыми расчётами и на базе их устанавливаются величины  $v_x$ ,  $\tau_a$  и  $\tau_p$ .

Значительно сложнее определение пропускной способности тогда, когда возможен выбор любого элемента технического вооружения железнодорожного диаметра и параметров подвижного состава, т. е. когда режим движения поезда является неизвестным и, наоборот, требуется предварительно отыскать наиболее выгодные условия движения поезда, определить оптимальные параметры подвижного состава и наиболее целесообразные технические устройства железнодорожного диаметра.

Для решения указанных вопросов необходимо детально исследовать все элементы пропускной способности железнодорожного диаметра и установить влияние на пропускную способность основ-

ных факторов, определяющих условия движения поезда и организацию работы станций, т. е. установить влияние на пропускную способность диаметра различных устройств СЦБ, изменения пускового ускорения, тормозных средств поезда (величины коэффициента замедления), ходовой и максимальной скорости движения, длины перегона, длины состава моторвагонных поездов, продолжительности стоянки поездов на станциях, типа оборотных устройств на зонных и конечных станциях (станциях примыкания), ширины и размещения платформ на станциях и числа и скорости движения эскалаторов на тоннельных станциях железнодорожного диаметра.

## 2. ВЫБОР УСТРОЙСТВ СЦБ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ

Необходимость достижения высокой пропускной способности железнодорожных диаметров при обеспечении полной безопасности движения поездов предъявляет требования к выбору наиболее совершенных устройств СЦБ на железнодорожных диаметрах.

К числу основных устройств СЦБ, необходимых для оборудования железнодорожного диаметра, относятся:

- устройства автоблокировки;
- устройства авторегулировки;
- устройства электрической централизации;
- устройства диспетчерской централизации.

### А. Устройства автоблокировки

Как известно, при оборудовании железнодорожной линии автоблокировкой и отсутствии устройств авторегулировки минимальное расстояние между попутными поездами одинаковой скорости определяется по схеме, приведённой на фиг. 16, исходя из условия, что в тот момент, когда последняя колёсная пара первого поезда проходит изолированный стык *а*, блок-участок *АВ* освобождается от поезда.

Вследствие этого сигнал *Б*, ограждающий этот блок-участок, изменяет запрещающее показание на разрешающее.

В этот момент второй поезд, следующий по перегону без снижения скорости, должен быть не ближе полного тормозного пути  $l_m$  (собственно тормозного и предтормозного, необходимого для подготовки к торможению) от сигнала *Б*, в противном случае машинист второго поезда, подъехав преждевременно на тормозное расстояние к красному огню сигнала *Б*, вынужден будет тормозить поезд, выжидая смены запрещающего показания сигнала на разрешающее.

Такое подтормаживание перед красным сигналом будет повторяться у каждого сигнала и вызывать пульсирующее движение второго поезда.

Кроме того, второму поезду необходимо иметь некоторый запас времени для восприятия машинистом смены сигнала с запрещающего на разрешающий.

За указанный отрезок времени поезд пройдёт путь, равный величине  $l_s$ .

Таким образом, минимальное расстояние между двумя поездами попутного следования определяется по следующей формуле:

$$L_{\min} = l_s + l_m + l_{\delta\lambda} + l_n \text{ м}, \quad (23)$$

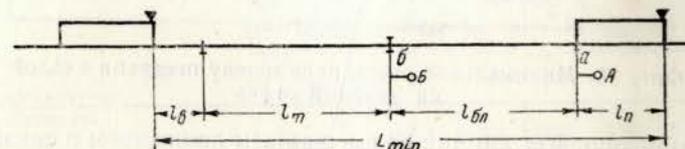
где  $L_{\min}$  — минимальное расстояние между головами двух поездов в м;

$l_s$  — расстояние, проходимое поездом за время восприятия машинистом смены показания сигнала и срабатывания приборов, в м,

$l_m$  — длина полного тормозного пути в м;

$l_{\delta\lambda}$  — длина блок-участка в м;

$l_n$  — длина поезда в м.

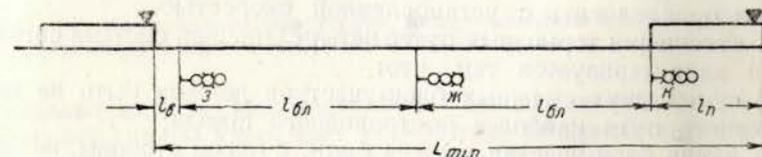


Фиг. 16. Минимальное расстояние между поездами при автоблокировке

При трёхзначной сигнализации различают две схемы размещения поездов на перегоне, а именно:

а) при условии езды на жёлтый огонь (под зелёный).

Из фиг. 17 видно, что при трёхзначной сигнализации, если принять, что  $l_{\delta\lambda} = l_m$  минимальное расстояние между голо-



Фиг. 17. Минимальное расстояние между поездами с ездой на жёлтый огонь

вами (или центрами) двух поездов определяется для условий езды на жёлтый огонь по формуле

$$L_{\min} = l_s + 2l_{\delta\lambda} + l_n \text{ м}; \quad (23a)$$

б) при условии езды на зелёный огонь.

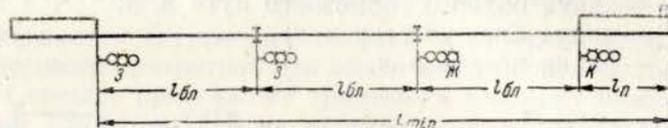
Так как езда на жёлтый огонь не позволяет реализовать возможные ходовые скорости и не обеспечивает правильного режима работы машинистов, нормальной системой сигнализации автоблокировки принято считать трёхзначную с ездой на зелёный огонь.

При трёхзначной сигнализации с ездой на зелёный огонь минимальное расстояние между поездами определится по схеме, приведённой на фиг. 18.

Имея в виду, что в данном случае отпадает необходимость в дополнительном времени для восприятия сигнала (машинист всегда имеет перед собой три свободных блок-участка), получаем, что

$$L_{\min} = 3l_{\text{бл}} + l_n. \quad (24)$$

В современных условиях двузначная сигнализация применяется, как правило, на метрополитенах, а трёхзначная — на магистральных железнодорожных линиях, оборудованных автоблокировкой.



Фиг. 18. Минимальное расстояние между поездами с ездой на зелёный огонь

На пригородных линиях со смешанным движением в связи с различием тормозных путей поездов разных скоростей возможно применение четырёхзначной и, как исключение, даже пятизначной сигнализации.

При четырёхзначной сигнализации, кроме трёх основных огней — зелёного, жёлтого и красного, — сохраняющих те же значения, что и при трёхзначной сигнализации, добавляется ещё одно показание — зелёный с жёлтым огни, указывающее на разрешение движения поезда с такой скоростью, чтобы следующий жёлтый сигнал проследовать с установленной скоростью.

В отношении тормозных путей четырёхзначная система сигнализации характеризуется тем, что:

а) сумма двух смежных блок-участков должна быть не менее тормозного пути наиболее быстрого поезда;

б) длина блок-участка должна быть, с одной стороны, не менее тормозного пути, необходимого для снижения скорости быстрого поезда до скорости, с которой разрешается проход жёлтого огня, и, с другой стороны, не менее тормозного пути, необходимого для полной остановки от скорости движения грузового поезда при проходе жёлтого огня.

Из указанного следует, что при четырёхзначной сигнализации максимальная пропускная способность реализуется в том случае, когда длина блок-участка  $l_{\text{бл}}$  равна половине тормозного пути при максимальном его значении.

В этом случае, для того чтобы обеспечить устойчивое следование поездов на зелёный огонь перегонных сигналов, получим

$$L_{\min}^{(4)} = 2,0 l_{\text{бл}} + l_n \text{ м}, \quad (25)$$

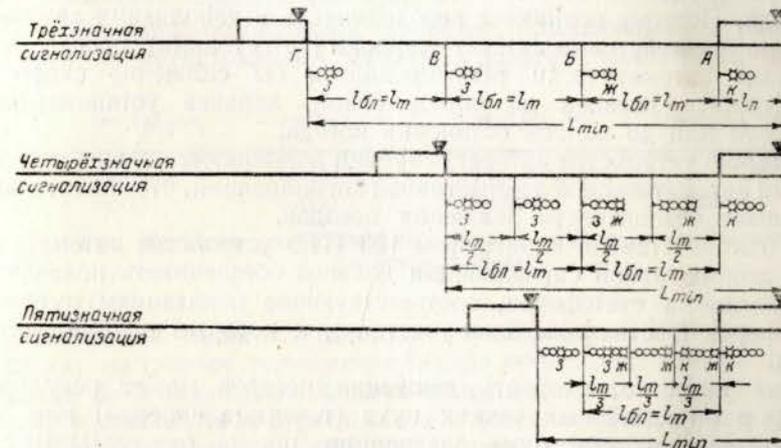
т. е. экономия по сравнению с трёхзначной сигнализацией составляет длину полного тормозного пути наиболее быстрого поезда.

При движении под зелёный (на жёлтый с зелёным) огонь перегонных сигналов минимальное расстояние между поездами определяется величиной

$$L_{\min}^{(4)} = 1,5 l_{\text{бл}} + l_n.$$

Дальнейшее увеличение пропускной способности участка может быть достигнуто путём деления каждого блок-участка на три части, т. е. применением пятизначной сигнализации.

В этом случае длина трёх смежных блок-участков должна быть не менее тормозного пути наиболее быстрого поезда.



Фиг. 19. Минимальное расстояние между поездами при трёхзначной, четырёхзначной и пятизначной сигнализации (с ездой на зелёный огонь)

Однако деление блок-участка на большое число частей (четыре и больше) сильно удорожает устройства, не давая ощутительного прироста пропускной способности.

Минимальное расстояние между поездами при переходе к четырёхзначной, пятизначной и т. д. сигнализации может быть определено исходя из фиг. 19 по формуле

$$L_{\min}^{(k)} = \left(1 + \frac{1}{k}\right) l_{\text{бл}} + l_n, \quad (26)$$

где  $k$  — число частей, на которое делится блок-участок дополнительными сигналами.

Система сигнализации на железнодорожном диаметре должна быть выбрана с учётом режима движения пригородных участков, примыкающих к диаметру.

При этом необходимо учитывать, что пропускная способность железнодорожного диаметра, оборудованного автоблокировкой с трёхзначной сигнализацией, может быть увеличена за счёт установки дополнительных сигналов на станциях между входными и выходными сигналами, аналогично тому, как производится расстановка дополнительных сигналов при четырёхзначной сигнализации.

### Б. Устройства авторегулировки

Рассмотренные выше основные схемы размещения поездов на перегоне, оборудованном автоблокировкой, при разных системах сигнализации имеют общий недостаток, так как в случае несвоевременного восприятия машинистом запрещающего показания сигнала (потеря трудоспособности и др.) не исключена возможность его проезда. Поэтому возникает необходимость в дополнении автоблокировки устройствами авторегулировки (автостопами), посредством которых автоматически регулировалось бы снижение скорости движущихся поездов до определённой, заранее установленной скорости или до полной остановки поезда.

Обычно устройства авторегулировки дополняются также устройствами автоматической локомотивной сигнализации, что значительно повышает безопасность движения поездов.

В соответствии с параграфом 153 ПТЭ устройства автоматической локомотивной сигнализации должны обеспечивать показания локомотивных светофоров, соответствующие показаниям путевых светофоров (состояниям блок-участков), к которым приближается поезд.

Как известно, скорость движения поездов может регулироваться в определённых точках пути (точечные системы) или же непрерывно на всём пути следования поезда (непрерывные системы).

В перспективе возможно применение подвижных блок-участков, принцип действия которых основан на использовании радиолокации, а также применение специальных типов блокировки.

Из точечных авторегулирующих устройств в настоящее время наибольшее применение получили автостопа механического действия и автостопа с индуктивной передачей импульсов.

Эксплуатация автостопов механического действия выявила ряд существенных недостатков (быстрый износ путевых автостопных рычагов, расстройство рамы автостопа колеблющимися частями подвижного состава, неправильные действия в наземных условиях при снеге, обледенении, коррозии и др.).

Работа индуктивно-резонансного автостопа системы ЦНИИ (лауреата Сталинской премии Танцоры) основана на индуктивной передаче воздействия с пути на локомотив, которое осуществляется при помощи индукторов — путевого, устанавливаемого на пути, и локомотивного, подвешенного на локомотиве.

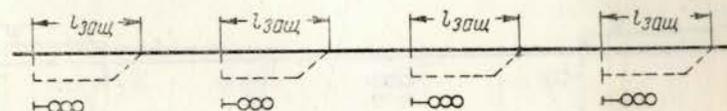
Это воздействие передаётся в момент прохода локомотивного индуктора над путевым и воспринимается на локомотиве приёмными устройствами.

Путевые индукторы устанавливаются с правой, наружной, колеи по установленному направлению движения на расчётном тормозном расстоянии от ограждаемых ими проходных сигналов и на расстоянии 100 м перед входными сигналами.

На участках, оборудованных автоблокировкой, воздействие от путевого индуктора, установленного перед проходным светофором, передаётся на локомотив при запрещающем показании ограждаемого сигнала.

Воздействие от путевых индукторов, установленных перед входными светофорами, передаётся на локомотив вне зависимости от показаний входных светофоров.

Индуктивно-резонансный автостоп, применяемый в настоящее время на магистральных железных дорогах нашей сети, по своей



Фиг. 20. Схема расположения защитных участков при точечной авторегулировке

конструкции является автостопом условно-разрешительного действия: экстренное торможение поезда происходит только по истечении 5—7 сек. после подачи сигнала опасности с пути в случае, если машинистом не будет нажата в течение этого времени рукоятка бдительности, приводящая систему автостопа в нормальное действие.

В условиях подземных железных дорог, при высоких скоростях движения, коротких перегонах и малых интервалах между поездами применение индуктивного автостопа условно-разрешительного действия значительно снижает пропускную способность.

Это объясняется тем, что при применении любой конструкции точечных автостопов, расположенных у сигнала и действующих от запрещающего показания (красного огня) светофора, вызывается необходимость выделения защитного (перекрывающего) участка  $l_{защ}$  за сигналом, на котором можно было бы затормозить поезд при помощи автостопа (фиг. 20).

Таким образом, наличие точечных автостопов вызывает увеличение минимального расстояния между поездами на величину защитного (перекрывающего) участка.

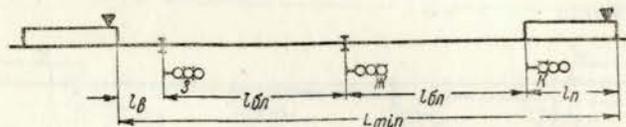
Длина защитных участков определяется в каждом отдельном случае в зависимости от условий профиля, наличия кривых участков пути, условий подхода к остановочным пунктам и т. д.



При непрерывной авторегулировке проще решается также вопрос о локомотивной сигнализации, при этом установка локомотивных сигналов в будке машиниста даёт возможность снять проходные сигналы.

В настоящее время на железных дорогах Советского Союза применяется непрерывная авторегулировка с локомотивной сигнализацией и индивидуальными кодовыми передатчиками для каждой рельсовой цепи системы ЦНИИ МПС, разработанная лауреатами Сталинской премии Брылеевым, Фонарёвым и др.

Характерной особенностью указанной системы авторегулировки является то, что импульсный ток подаётся в рельсовую цепь при вступлении поезда на блок-участок; сигнальные же показания на локомотивном сигнале, расположенном в будке машиниста, построены на предупредительном принципе и находятся в строгом соответствии с показаниями путевых светофоров (сигналов).



Фиг. 23. Минимальное расстояние между поездами с ездой на жёлтый огонь при непрерывной авторегулировке

Вследствие непрерывной связи локомотивных сигналов с устройствами автоблокировки и централизации всякое изменение в показании путевых светофоров при занятии и освобождении блок-участков поездами, нарушениях целостности рельсов и пр. немедленно передаётся на локомотивный сигнал.

Таким образом, даже при плохой видимости путевых светофоров из-за тумана, снегопада, закругления пути и прочих причин машинист может уверенно, не снижая скорости, вести поезд, руководствуясь показаниями локомотивных сигналов.

В тех случаях, когда показание локомотивного сигнала меняется на более запрещающее, раздаётся продолжительный свисток, который не только извещает бригаду локомотива о смене огня на локомотивном светофоре, но и предупреждает о предстоящем через 5—7 сек. принудительном воздействии на тормоза поезда.

Для обеспечения полной безопасности движения поездов на железнодорожном диаметре, как правило, должно предусматриваться введение скоростной авторегулировки с принудительным торможением поезда в тех случаях, когда машинист не принял мер к снижению скорости.

При применении скоростной авторегулировки надобность в наличии защитного участка отпадает, так как устройства автоматически контролируют снижение скорости при подходе поезда к блок-участку, занятому впереди идущим поездом.

Применение скоростной непрерывной авторегулировки с принудительным снижением скорости до заранее установленной величины при проезде жёлтого сигнала и с принудительной полной остановкой поезда в случае проезда жёлто-красного огня позволяет уменьшить интервал между поездами на величину расчётного авто-стопного тормозного пути (защитный участок) при полной гарантии безопасности движения поездов в любой точке пути.

В соответствии с фиг. 23 размещение поездов на перегоне при езде на жёлтый огонь определяется по формуле

$$L_{min} = 2l_{бл} + l_n + l_a \quad (29)$$

Произведённый анализ условий размещения поездов позволяет сделать вывод, что на железнодорожных диаметрах могут быть применены как точечные, так и непрерывные системы авторегулировки с двузначной или трёхзначной сигнализацией.

В целях сохранения одинакового режима движения как на участках, примыкающих к диаметру, так и на самом диаметре целесообразно предусматривать на диаметре трёхзначную блокировку.

Наиболее целесообразной системой авторегулировки на железнодорожном диаметре является непрерывная, позволяющая перейти к нормальному разграничению поездов двумя блок-участками с ездой под зелёный (на жёлтый) огонь, что даёт, естественно, повышение пропускной способности.

Применение на железнодорожном диаметре, оборудованном устройствами авторегулировки, четырёхзначной сигнализации не вызывается необходимостью, так как на железнодорожном диаметре применяется параллельный график, т. е. отсутствует обращение поездов с различными скоростями.

## В. Устройства электрической централизации

В целях полного обеспечения безопасности движения и ускорения операций по приёму и отправлению поездов станции железнодорожного диаметра, имеющие путевое развитие, должны быть оборудованы электрической централизацией стрелок и сигналов, увязанной с автоблокировкой на прилегающих перегонах.

Все маршруты как для поездных, так и для маневровых передвижений должны быть ограждены светофорами, дополненными авто-стопами; тупиковые пути секционированы, а основные маршруты для оборота составов на тупиковых путях полностью автоматизированы.

Для контроля действия стрелок и сигналов аппарат электрической централизации должен быть оборудован световым табло, показывающим свободу и занятость станционных путей, состоящие изолированных и перекрывающих участков, положение стрелок и сигналов, а также состояние прилегающих участков.

На распределительном щите аппарата электрической централизации должны быть предусмотрены кнопки управления пригласительными сигналами, кнопки искусственной разделки маршрутов и вспомогательные кнопки для управления стрелками.

Все передвижения на станциях должны производиться по решающим показаниям светофоров с автоматическим замыканием всех стрелок заданного маршрута и охранных стрелок на соседних путях.

Разделка маршрута или его секции должна допускаться только после освобождения всем поездом последней стрелки маршрута или секции.

### Г. Устройства диспетчерской централизации

В целях улучшения оперативного руководства движением поездов и повышения безопасности движения на железнодорожных диаметрах должна применяться диспетчерская централизация стрелок и сигналов.

Диспетчерская централизация в условиях работы подземного железнодорожного диаметра должна предусматривать автоматическое вычерчивание графика исполненного движения поездов, маршрутное управление стрелками и сигналами и введение автоматического контроля управления движением поездов.

В условиях подземных железнодорожных линий система диспетчерской централизации должна быть особенно надёжной и быстродействующей, т. е. должна обеспечивать минимальную затрату времени на выполнение заданного действия и получение контроля.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ПОЕЗДАМИ

В условиях движения поездов на железнодорожном диаметре по параллельному графику при отсутствии обгонных путей на остановочных пунктах труднейшим в отношении пропускной способности является станционный блок-участок, так как время прохождения его увеличивается на время замедления, остановки поезда и последующего разгона. Поэтому расчёт пропускной способности диаметра практически сводится к определению минимального интервала между двумя поездами попутного следования на подходе к остановочному пункту.

Расстановка сигналов в пределах станционного блок-участка приведена на фиг. 24.

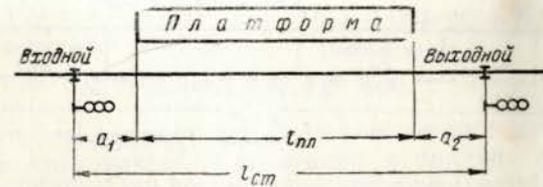
Минимальное расстояние между входным и выходным сигналами, устанавливаемыми с обоих концов платформы, может быть определено по формуле

$$l_{см} = a_1 + l_{пл} + a_2 \text{ м,} \quad (30)$$

где  $l_{пл}$  — длина платформы, равная длине поезда с учётом 5% на неточность его установки;  
 $a_1$  и  $a_2$  — расстояния от торца платформы до входного и выходного светофоров, обычно равные 3—15 м.

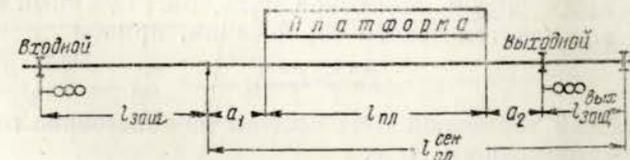
Как видно из формулы (30), минимальное расстояние между станционными сигналами в основном определяется длиной обращающихся на диаметре поездов.

Принимая во внимание, что при автостопах точечного действия за выходным сигналом должен быть расположен защитный участок и что входной светофор, ограждающий станционную секцию, дол-



Фиг. 24. Минимальное расстояние между входным и выходным сигналами на станциях подземного железнодорожного диаметра

жен располагаться на подходе к станции также на расстоянии защитного участка, получим при оборудовании железнодорожного диаметра точечными автостопами размещение сигналов на станционном блок-участке, приведённое на фиг. 25.



Фиг. 25. Минимальная длина станционной изолированной секции

Следовательно, минимальная длина станционной изолированной секции определится по формуле

$$l_{пл}^{сек} = a_1 + l_{пл} + a_2 + l_{защ}^{вых} \text{ м,} \quad (30а)$$

где  $l_{защ}^{вых}$  — защитный участок за выходным светофором.

Учитывая, что при отправлении со станции после остановки скорость движения поезда при проходе выходного сигнала невелика и составляет примерно  $v_{вых} = 35 \text{ км/час}$ , длина выходного защитного участка определяется величиной, равной  $l_{защ}^{вых} = 60 \text{ м}$ , что вполне обеспечивает также остановку за 4—5 сек. поезда, проехавшего станцию вследствие запоздания торможения.



показания сигнала на локомотивном светофоре и восприятия машинистом этой смены показания сигнала, включая время перевода рукоятки тормоза. Для аналитических расчётов можно принять, что  $t_s = 5-6$  сек.; величина же  $t_m^0$  определяется из условий установления расчётного тормозного режима электродвигателей при электрическом торможении (время подготовки к торможению). Для аналитических расчётов можно принять, что  $t_m^0 = 2 \div 3$  сек.

Следовательно,

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2l_n + l_m^k + (a_1 + a_2)}{v_x} + t_s + t_m^0 + \tau_s + t_{cm} + \tau_p. \quad (36)$$

Для принятых выше условий при оборудовании линии железнодорожного диаметра системой непрерывной авторегулировки расчётный интервал между поездами составит

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2 \cdot 200 + 250 + 20}{13,9} + 6 + 2 + 6,9 + 20 + 6,9 = 48,2 + 41,8 = 90 \text{ сек.}$$

Таким образом, оборудование линии железнодорожного диаметра системой непрерывной авторегулировки позволяет уменьшить величину минимального интервала между поездами при  $v_x = 50$  км/час со 112 до 90 сек., т. е. на 22 сек., или на 20%.

Применительно к указанным расчётным схемам движения поездов производится размещение сигналов на трассе железнодорожного диаметра и определяется его пропускная способность.

Определение расчётного интервала между поездами для эксплуатационных условий производится с учётом запаса времени в размере 5—7 сек., необходимого для регулирования движения, т. е.

$$I_{\min}^{расч} = I_{\min}^{cm} + t_{зап}. \quad (36a)$$

#### 4. УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДИАМЕТРА ЭЛЕМЕНТОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Анализ исходной формулы (22)

$$I_{\min}^{cm} = \frac{L_{\min}}{v_x} + t_s + \tau_s + t_{cm} + \tau_p,$$

определяющей пропускную способность железнодорожного диаметра, показывает, что необходимая пропускная способность может быть реализована при различных сочетаниях пускового ускорения и тормозного замедления, часовой мощности двигателя, длины

состава, продолжительности стоянки поездов и других элементов расчётного интервала.

Таким образом, выбор расчётных значений пускового ускорения, замедления и часовой мощности двигателя связан с выбором параметров подвижного состава; выбор состава поезда определяет длину платформы, а продолжительность стоянок неразрывно связана с выбором типа вагона и станционных платформ. Поэтому необходимо детально проанализировать влияние каждого из составных элементов расчётного интервала на пропускную способность и в последующем отыскать оптимальные значения для каждого из них.

В условиях подземного железнодорожного диаметра, характеризуемого частыми остановками и трудным профилем, особое значение имеет установление влияния на пропускную способность величины пускового ускорения и замедления, часовой мощности двигателя, длины перегонов, длины состава и условий расстановки дополнительных сигналов на подходах к станциям и в пределах станционного блок-участка.

Для определения влияния пропускной способности станций на пропускную способность железнодорожного диаметра необходимо рассмотреть также обратные устройства на конечных станциях диаметра (для части поездов, заканчивающих движение на противоположных концах диаметра), ширину и размещение платформ на станциях и, наконец, число и скорость движения эскалаторов, обеспечивающих подъём и спуск пассажиров в тоннельных станциях.

#### А. Влияние на пропускную способность величины пускового ускорения поезда

Величина пускового ускорения зависит главным образом от трёх основных факторов:

- 1) состава поезда — соотношения моторных и прицепных вагонов, что при данном коэффициенте сцепления определяет возможное пусковое ускорение;
- 2) мощности двигателей и величины допускаемого пускового тока, так как с увеличением пускового тока возрастает также пусковое ускорение;
- 3) условий безопасности и удобств пассажиров.

В практике эксплуатации электрифицированных участков как в наземных, так и подземных условиях величина пускового ускорения моторвагонного подвижного состава изменяется в довольно широких пределах — от 0,4 до 1,0 м/сек<sup>2</sup>.

С повышением ускорения уменьшаются потери энергии в пусковых реостатах и сокращаются пути разгона, что имеет особо важное значение на линиях с короткими перегонами и частыми остановками. Однако, как показывает анализ работы электрифицированных линий, повышение ускорения сверх 0,8—1,0 м/сек<sup>2</sup> уже практически мало влияет на расход энергии, но значительно уве-

личивает потребную мощность двигателей, нагрузку тяговых подстанций и сетей.

Поэтому рациональная величина пускового ускорения выбирается исходя из заданных эксплуатационных условий работы электрифицированной линии, причём, естественно, она будет тем выше, чем короче перегоны и чем выше потребная пропускная способность линии.

Определение влияния величины пускового ускорения на пропускную способность железнодорожных диаметров может быть произведено на основании следующих расчётов.

Как известно, время на разгон поезда при отправлении его со станции после остановки может быть определено по формуле

$$t_p = \frac{v_x}{a} \text{ сек.}, \quad (37)$$

где  $v_x$  — скорость движения поезда, которую он приобрёл после окончания фазы разгона, в  $м/сек$ ;

$a$  — пусковое ускорение в  $м/сек^2$ .

Путь разгона определится по формуле

$$l_p = \frac{v_x^2}{2a} \text{ м} \quad (38)$$

и время прохода для сквозного поезда разгонного участка пути

$$t_{пpox} = \frac{l_p}{v_x} = \frac{v_x^2}{2av_x} = \frac{v_x}{2a} \text{ сек.} \quad (39)$$

В соответствии с этим дополнительная затрата времени на разгон поезда составляет

$$\tau_p = t_p - t_{пpox} = \frac{v_x}{a} - \frac{v_x}{2a} = \frac{v_x}{2a} \text{ сек.} \quad (40)$$

Из анализа формулы (40) видно, что чем выше скорость  $v_x$ , до которой происходит разгон поезда, тем больше дополнительная потеря времени на его разгон. В свою очередь, чем больше пусковое ускорение  $a$ , определяемое мощностью двигателя, тем меньше потеря времени на разгон поезда. Так, при увеличении пускового ускорения с 0,45 до 1,0  $м/сек^2$  для достижения скорости 75  $км/час$  дополнительная потеря времени на разгон вместо 23,1 сек. составляет 10,4 сек., т. е. снижается в 2,2 раза.

Пусковое ускорение существующих типов моторвагонного подвижного состава на электрифицированных пригородных участках дорог сети, имеющих длины перегонов 2—3  $км$  и более, не превышает 0,45—0,50  $м/сек^2$ .

В условиях же подземных городских железных дорог с короткими длинами перегонов (до 800  $м$ ), на которых трудно реализовать высокие ходовые скорости, большая величина пускового ускорения имеет весьма существенное значение, так как позволяет по-

езду быстрее достигнуть необходимой скорости движения на небольших по протяжению перегонах.

Для подземных железнодорожных диаметров с короткими длинами перегонов (до 800  $м$ ) и скоростями движения порядка 75  $км/час$  необходимо иметь электродвигатели, обеспечивающие значения пускового ускорения на уровне 0,75—1,0  $м/сек^2$ .

### Б. Влияние на пропускную способность мощности тормозных средств поезда

Величина тормозного замедления также зависит от трёх основных факторов:

1) состава поезда — соотношения моторных и прицепных вагонов, причём при рекуперативном торможении в расчёт принимаются только моторные вагоны;

2) мощности тормозной системы;

3) условий безопасности движения и удобств пассажиров.

С увеличением тормозного замедления также снижается расход энергии, хотя и в меньшей степени, чем при изменении пускового ускорения, и увеличивается выбег двигателей.

Практика эксплуатации электрифицированных линий показывает, что повышение тормозного замедления на моторвагонном подвижном составе более 0,8—1,0  $м/сек^2$  уже почти не изменяет расхода энергии, а вместе с тем весьма существенно влияет на удобства пассажиров, увеличивает износ подвижного состава и повышает требования к мощности тормозных средств.

Поэтому изучение влияния на пропускную способность диаметра тормозных средств моторвагонного подвижного состава произведено для условий, когда тормозное замедление  $b$ , характеризующее степень обеспечения поезда тормозными средствами, изменяется в сравнительно узких границах:  $b = 0,8 \div 1,0 \text{ м/сек}^2$ .

Длина собственно тормозного пути может быть определена по формуле

$$l_m^k = \frac{v_{\max}^2}{2(b \pm ig)} \text{ м}, \quad (41)$$

где  $v_{\max}$  — максимальная скорость движения в  $км/час$ ;

$b$  — тормозное замедление в  $м/сек^2$ ;

$i$  — расчётный уклон в тысячных;

$g$  — ускорение силы тяжести, равное 9,81  $м/сек^2$ .

Следовательно,

$$l_m^k = \frac{v_{\max}^2}{2 \left( b \pm \frac{i}{110} \right)} \text{ м}, \quad (41a)$$

где  $\pm \frac{i}{110}$  — поправка на профиль.

При этом следует учитывать, что в практике проектирования и сооружения тоннелей подземных городских железных дорог уклоны трассы принимаются в пределах от 3 до 30‰ на перегонах и от 5 до 50‰ в пределах станций.

Пользуясь формулой (41а), определим, например, для уклона 20‰ и  $v_{\max} = 75 \text{ км/час}$  (20,85 м/сек) длины тормозных путей для  $b = 0,8; 0,9$  и  $1,0 \text{ м/сек}^2$ .

Имеем соответственно:

$$l_m^k = \frac{20,85^2}{2 \left( 0,8 - \frac{20}{110} \right)} \approx 350 \text{ м};$$

$$l_m^k = \frac{20,85^2}{2 \left( 0,9 - \frac{20}{110} \right)} \approx 300 \text{ м};$$

$$l_m^k = \frac{20,85^2}{2 \left( 1,0 - \frac{20}{110} \right)} \approx 265 \text{ м}.$$

Дополнительное время, затрачиваемое при замедлении поезда, зависит от сочетания различных факторов—скорости, с которой начинается торможение состава поезда, его тормозных средств, профиля пути, режима движения поезда и др.

Эта доля затраты времени более точно может быть определена в каждом конкретном случае по кривым  $v = f(s)$  и  $t = f(s)$  или по аналитической формуле как разность между временем, необходимым для полной остановки поезда на станции, и временем безостановочного прохода поездом отрезка пути, на котором должно происходить торможение, т. е.

$$\tau_s = t_m - t_{\text{прох}} \text{ сек.}, \quad (42)$$

где  $\tau_s$  — дополнительная потеря времени на замедление в секундах;

$t_m$  — время прохода поезда за период от начала торможения до полной остановки в секундах;

$t_{\text{прох}}$  — время прохода сквозного поезда в секундах.

Время прохода поезда до полной остановки может быть определено по формуле

$$t_m = \frac{v_n}{b} \text{ сек.}, \quad (43)$$

где  $v_n$  — начальная скорость движения поезда на участке торможения в м/сек;

$b$  — расчётное замедление в м/сек<sup>2</sup>.

Время прохода сквозного поезда можно определить по формуле

$$t_{\text{прох}} = \frac{l_m}{v_x} \text{ сек.},$$

где  $l_m$  — длина пути, на котором должно происходить торможение поезда, следующего со скоростью  $v_x$ .

Если учесть, что длина тормозного пути может быть определена по формуле

$$l_m = \frac{v_n^2}{2b},$$

то получим

$$t_{\text{прох}} = \frac{l_m}{v_x} = \frac{\frac{v_n^2}{2b}}{v_x} = \frac{v_n^2}{2bv_x}.$$

Принимая во внимание, что для сквозного поезда  $v_n \approx v_x$ , имеем

$$t_{\text{прох}} = \frac{v_n^2}{2bv_n} = \frac{v_n}{2b} \text{ сек.} \quad (44)$$

Таким образом, дополнительная затрата времени на замедление поезда составляет

$$\tau_s = t_m - t_{\text{прох}} = \frac{v_n}{b} - \frac{v_n}{2b} = \frac{v_n}{2b} \text{ сек.} \quad (45)$$

Как видно из формулы (45), с повышением начальной скорости торможения поезда ( $v_n$ ) дополнительная потеря времени, связанная с торможением, увеличивается.

Повышение коэффициента замедления, определяющего мощность тормозных средств поезда, способствует уменьшению дополнительной потери времени, связанной с торможением поезда.

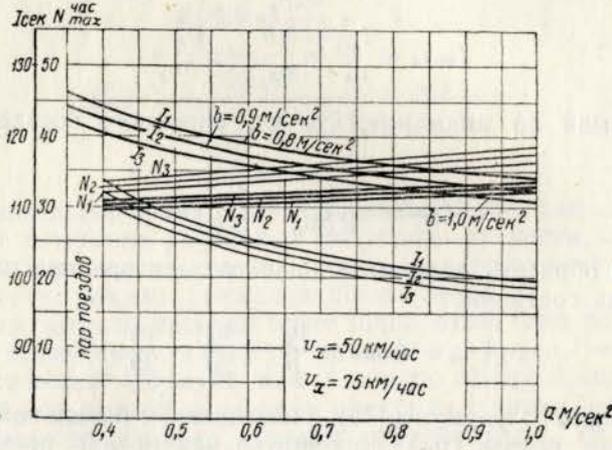
Так, например, с повышением коэффициента замедления от 0,8 до 1,0 м/сек<sup>2</sup> при  $v_n = 75 \text{ км/час}$  дополнительная затрата времени на торможение поезда уменьшается с 13 до 10,4 сек., т. е. на 20%.

Для условий подземного железнодорожного диаметра с короткими перегонами и высокими скоростями движения тормозные средства поезда должны обеспечивать максимальный тормозной эффект, позволяющий уменьшить дополнительную затрату времени, связанную с торможением поезда при подходе к остановочным пунктам, до минимально возможных размеров.

По условиям безопасности пассажиров, максимальная величина замедления, зависящая от веса поезда, давления в тормозных цилиндрах подвижного состава, коэффициента сцепления тор-

мозных колодок с бандажами и бандажей колёсных пар с рельсами и других факторов, принимается в пределах  $0,8—1 \text{ м/сек}^2$ .  
 Для определения влияния дополнительной затраты времени, связанной с разгоном и замедлением поезда, на пропускную способность диаметра в соответствии с формулой (34) произведены расчёты минимального интервала между поездами для разных значений  $a$  и  $b$ .

Расчёты произведены для условий обращения на диаметре восьмивагонных поездов с длиной вагона  $23,6 \text{ м}$  (по сцепным приборам), что определяет длину поезда  $l_n = 200 \text{ м}$ , при длине тормозного пути  $l_m = 250 \text{ м}$ , среднеходовой скорости в пределах  $v_x = 50 \div 75 \text{ км/час}$  и начальной скорости торможения  $v_n = v_x \text{ км/час}$ , продолжительности стоянки поезда на станциях



Фиг. 28. График пропускной способности диаметра в зависимости от величины пускового ускорения и коэффициента замедления

диаметра  $t_{cm} = 20 \text{ сек.}$  и времени на восприятие сигналов и срабатывание приборов  $t_0 = 6 \text{ сек.}$  (табл. 7 и 8).

Графически влияние дополнительной затраты времени, связанной с разгоном и замедлением поезда, на пропускную способность диаметра показано на фиг. 28.

Из фиг. 28 и табл. 7 и 8 наглядно видно, что увеличение начального ускорения  $a$  способствует значительному сокращению интервала между поездами, а следовательно, и увеличению пропускной способности диаметра.

Так, повышение пускового ускорения с  $0,4$  до  $1,0 \text{ м/сек}^2$  в пределах исследуемых ходовых скоростей движения на железнодорожном диаметре уменьшает интервал между поездами на  $10—15 \text{ сек.}$ , т. е. на  $10—14\%$ , что позволяет повысить пропускную способность диаметра примерно на  $2—5$  пар поездов в час.

Таблица 7

**Изменение пропускной способности диаметра при равных значениях  $a$  и  $b$**

Величина пускового ускорения $a$ в $\text{м/сек}^2$	$b = 0,8 \text{ м/сек}^2$						$b = 0,9 \text{ м/сек}^2$						$b = 1 \text{ м/сек}^2$					
	$t_{cm} \text{ сек.}$		$N_{\text{max}} \text{ пар поездов}$		$t_{cm} \text{ сек.}$		$N_{\text{max}} \text{ пар поездов}$		$t_{cm} \text{ сек.}$		$N_{\text{max}} \text{ пар поездов}$		$t_{cm} \text{ сек.}$		$N_{\text{max}} \text{ пар поездов}$			
	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$		
0,4	125	114	29,0	31,6	124,0	113	29,0	31,8	123	111	29,8	32,4	123	111	29,8	32,4		
0,5	122	109	29,5	33,0	121,0	108	29,7	33,4	120	106	30,0	34,0	120	106	30,0	34,0		
0,6	120	105	30,0	34,2	118,0	104	30,5	34,6	117	103	30,8	35,0	116	101	31,0	35,6		
0,7	118	103	30,5	35,0	117,0	102	30,8	35,2	116	101	31,0	35,6	115	98	31,8	36,7		
0,8	116	101	31,0	35,6	115,0	100	31,3	36,0	114	97	31,5	36,7	114	97	31,5	36,7		
0,9	115	100	31,3	36,0	114,0	98	31,5	36,7	113	96	31,8	37,1	113	96	32,0	37,5		
1,0	114	99	31,8	36,4	113,6	97	31,8	37,2	113	96	32,0	37,5	113	96	32,0	37,5		

Таблица 8

**Изменение пропускной способности диаметра при  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$  и разных значениях  $a$**

Величина пускового ускорения $a$ в $\text{м/сек}^2$	$t_p \text{ сек.}$		$t_g \text{ сек.}$		$\frac{2(t_n + t_m) + c}{v_x} \text{ сек.}$		$t_0 + t_{cm} \text{ сек.}$		$t_{cm} \text{ сек.}$		$t_{cm} \text{ сек.}$		$N_{\text{max}} \text{ пар поездов}$	
	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$	$v_x = 50 \text{ км/час}$	$v_x = 75 \text{ км/час}$
	0,4	17,3	26,0	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	123	111	29,3	32,2	
0,5	14,0	20,9	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	120	106	30,0	34,0		
0,6	11,6	17,7	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	117	103	30,8	35,0		
0,7	10,0	14,9	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	116	101	31,0	35,6		
0,8	8,7	13,0	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	115	98	31,3	36,7		
0,9	7,7	11,6	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	114	97	31,5	36,7		
1,0	6,9	10,4	7,0	10,4	71,0	47,0	8	20	113	96	32,0	37,5		

Влияние коэффициента тормозного замедления на пропускную способность железнодорожного диаметра значительно меньше и отражается главным образом на величине допускаемой ходовой скорости по условиям безопасности движения. Так, при  $v_x = 75 \text{ км/час}$  и  $b = 0,8 \div 1,0 \text{ м/сек}^2$  величина расчётного интервала между поездами при значениях  $a = 0,4 \div 1,0 \text{ м/сек}^2$  уменьшается всего на 1—2 сек.

### В. Влияние на пропускную способность максимальной и расчётной ходовой скорости движения поезда

Движение моторвагонного поезда по перегону может быть разделено на четыре фазы.

Первая фаза — разгон при непрерывно возрастающей скорости до момента выхода на характеристику и достижение по автоматической кривой  $F = f(v)$  установившейся скорости, когда  $F = W$ .

При определении мощности двигателя фазу разгона поезда обычно разбивают на два элемента: до момента выхода на автоматическую характеристику ( $v_0$ ), когда кончается действие пусковых реостатов, и от момента выхода на автоматическую характеристику до реализации установившейся скорости ( $v_y$ ), когда может быть применена шунтировка двигателя с соответствующим изменением скорости.

Время хода за период разгона определяется, как известно, по формуле

$$t_p = \frac{v_y}{a},$$

где  $a$  — среднее ускорение на всём пути разгона поезда в  $\text{м/сек}^2$ .

Вторая фаза — движение с установившейся скоростью, которая не должна превышать допускаемой по конструкции подвижного состава, состоянию верхнего строения пути и условиям безопасности движения. Время хода поезда за этот период определится по формуле

$$t_y = \frac{l - (l_p + l_m + l_{выб})}{v_y},$$

где  $l - (l_p + l_m + l_{выб})$  характеризует длину пути, проходимую с установившейся скоростью.

Третья фаза соответствует выбегу, т. е. начинается с момента выключения двигателя, когда  $F = 0$ , и кончается в момент включения тормозов.

Время хода за период выбега определяется по формуле

$$t_{выб} = \frac{v_y - v_n}{b_{выб}},$$

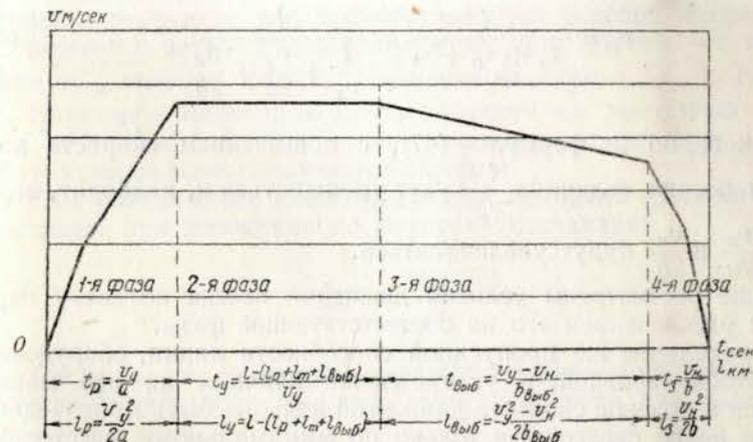
где  $v_n$  — начальная скорость торможения в  $\text{м/сек}$ ;

$b_{выб}$  — среднее замедление при выбеге в  $\text{м/сек}^2$ .

Четвёртая фаза — торможение при непрерывно убывающей скорости с падением её до нуля, что совпадает с концом перегона и остановкой; время хода поезда за период торможения определяется, как известно, по формуле

$$t_s = \frac{v_n}{b}.$$

Графически движение моторвагонного поезда изображено на фиг. 29.



Фиг. 29. Графическое изображение движения моторвагонного поезда

Как видно из фиг. 29, максимальная скорость движения поезда соответствует установившейся скорости, а начальная скорость торможения после выбега ниже установившейся.

При коротких перегонах железнодорожного диаметра выход на установившуюся скорость может реально отсутствовать, причём после первой фазы движения (разгона) может наступить непосредственно третья или даже четвёртая фаза (торможение).

Выбор скорости выхода на кривую торможения, т. е. переход от третьей фазы (выбега) к четвёртой, является по существу произвольным, так как при сокращении длины выбега начальная скорость торможения будет выше, что обусловит больший расход электрической энергии, но сократит время хода поезда по перегону, т. е. даст повышение средней скорости движения; при увеличении же длины выбега получим обратные результаты.

Поэтому практически аналитические расчёты, связанные с движением поезда по перегону, производятся для двух категорий скоростей:

а) ходовой — средней скорости движения поезда по всему перегону без учёта дополнительных потерь на разгон и замедление

$$v_x = \frac{l}{t_x}, \quad (46)$$

где  $l$  — длина перегона;

$t_x$  — чистое время хода по перегону;

б) технической — средней скорости движения поезда по всему перегону с учётом дополнительных потерь на разгон и замедление, т. е.

$$v_m = \frac{l}{t_x + \tau_p + \tau_z} = \frac{l}{\frac{l}{v_x} + \frac{v_x}{2a} + \frac{v_n}{2b}}. \quad (47)$$

Как видно из формулы (47), с повышением скорости движения поезда величина  $\frac{l}{v_x}$  будет уменьшаться и, наоборот, величины  $\frac{v_x}{2a}$  и  $\frac{v_n}{2b}$  будут увеличиваться.

Выше рассмотрены условия движения поезда по всему перегону с расчленением его на соответствующие фазы.

Определение же пропускной способности линии, оборудованной автоблокировкой, и установление влияния на неё максимальной и ходовой скорости движения должны быть произведены не для всего перегона, а только по минимальному расстоянию между попутными поездами.

Как указывалось выше, минимальное расстояние между поездами на перегоне при трёхзначной сигнализации и точечных автостопах (действующих от жёлтого огня) определяется по формуле (28 а), т. е.

$$L_{\min} = 3l_{\delta l} + l_n,$$

и для условий подхода к станции (под зелёный огонь) с остановкой — по формуле (33)

$$L_{\min}^{cm} = 2(l_n + l_m^k) + l_s + l_m^{\partial} + c.$$

Соответствующие им интервалы времени между поездами составят

$$I_{\min} = \frac{3l_{\delta l} + l_n}{v_x} \text{ сек.}$$

и

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_s + t_m^{\partial} + \tau_z + t_{cm} + \tau_p \text{ сек.}$$

При графическом построении кривых  $v = f(s)$  и  $t = f(s)$  определение  $I_{\min}$ , соответствующего наиболее трудным условиям движения поезда, не представляет затруднений и производится на основе конкретного анализа профиля (движение на расчётном подъёме, на ломаном профиле, отправление со станции, расположенной у расчётного или близкого к нему подъёма, и т. д.).

При аналитических же расчётах интервала времени по вышеприведённым формулам исследование влияния на пропускную способность изменения ходовой ( $v_x$ ) и максимально допустимой ( $v_{\max}$ ) скорости значительно осложняется, так как, с одной стороны, отыскание абсолютного значения ходовой скорости  $v_x$  сопряжено с целым рядом допущений, а с другой, — с изменением  $v_{\max}$  связано также изменение величин  $v_n$ ,  $l_m^k$  и  $l_{\delta l} \approx l_m$ .

Влияние изменения ходовой скорости на расчётный интервал, определяемый по условиям движения на перегоне, может быть установлено следующим образом.

Как указывалось выше, расчётный интервал времени между поездами при движении по перегону составляет

$$I_{\min} = \frac{3l_{\delta l} + l_n}{v_x}.$$

Так как по условиям безопасности движения длина блокучастка должна быть не менее тормозного пути для максимально возможной скорости, т. е.  $l_{\delta l} \approx l_m$  и  $l_m = \frac{v_{\max}^2}{2b} + t_m^{\partial} v_{\max}$ , то, подставляя значение  $l_m$  в формулу минимального интервала, получим

$$I_{\min} = \frac{3\left(\frac{v_{\max}^2}{2b} + t_m^{\partial} v_{\max}\right) + l_n}{v_x} \text{ сек.}$$

Если обозначить  $t_m^{\partial} = \alpha = \text{const}$  и  $\frac{1}{2b} = \beta = \text{const}$ , то получим

$$I_{\min} = \frac{3(\alpha v_{\max} + \beta v_{\max}^2) + l_n}{v_x} \text{ сек.}$$

Следовательно,

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{I_{\min}} = \frac{3600 v_x}{3(\alpha v_{\max} + \beta v_{\max}^2) + l_n}. \quad (48)$$

Как видно из формулы (48), при заданной величине  $v_{\max} = \text{const}$  и значениях  $v_x \leq v_{\max}$  с повышением ходовой скорости

прямо пропорционально растёт и величина пропускной способности.

Произведя, например, необходимые расчёты для условий  $l_n = 200$  м,  $\alpha = 2$  сек.,  $\beta = \frac{1}{2b} = 0,5$ , т. е. при  $b = 1$  м/сек<sup>2</sup> и  $v_x < v_{\max}$  (с изменением  $v_x$  в пределах 40—75 км/час), получим значения пропускной способности, приведённые в табл. 9.

Таблица 9

Расчётные значения ходовой скорости $v_x$		Максимально допустимая скорость $v_{\max}$		$\alpha v_{\max}$ при $\alpha = 2$ сек.	$\beta v_{\max}^2$ при $\beta = 0,5$	$3(\alpha v_{\max} + \beta v_{\max}^2) + l_n$	$I_{\min} = \frac{v_x}{3(\alpha v_{\max} + \beta v_{\max}^2) + l_n}$ сек.	$N_{\max}^{час} = \frac{3600}{I_{\min}}$ пар поездов
в км/час	в м/сек	в км/час	в м/сек					
40	11,12	75	20,85	41,7	218	980	88,0	41,0
45	12,5	75	20,85	41,7	218	980	78,5	45,8
50	13,9	75	20,85	41,7	218	980	70,5	51,2
55	15,27	75	20,85	41,7	218	980	64,5	55,8
60	16,68	75	20,85	41,7	218	980	58,7	61,3
65	18,0	75	20,85	41,7	218	980	54,4	66,1
70	19,4	75	20,85	41,7	218	980	50,5	71,5
75	20,85	75	20,85	41,7	218	980	47,0	76,6

Как видно из данных табл. 9, при достижении  $v_x = 75$  км/час, т. е. когда  $v_x = v_{\max}$ , реализуется максимальная пропускная способность.

В условиях, когда значение ходовой скорости совпадает с максимально допустимой скоростью, т. е.  $v_x = v_{\max}$ , получим

$$N_{\max}^{час} = \frac{3600 v_{\max}}{3(\alpha v_{\max} + \beta v_{\max}^2) + l_n}. \quad (49)$$

Наличие в знаменателе члена  $\beta v_{\max}^2$  показывает, что путём дифференцирования указанного уравнения можно отыскать оптимальное значение максимальной скорости, обеспечивающей реализацию наибольшей пропускной способности.

Чтобы найти указанное значение оптимальной скорости, продифференцируем уравнение (49) по  $v_{\max}$  и приравняем производную нулю.

Произведя дифференцирование, получим

$$\frac{dN_{\max}^{час}}{dv_{\max}} = \frac{3600(3\alpha v_{\max} + 3\beta v_{\max}^2 + l_n) - 3600 v_{\max}(3\alpha + 6\beta v_{\max})}{(3\alpha v_{\max} + 3\beta v_{\max}^2 + l_n)^2} = 0,$$

откуда

$$3\alpha v_{\max} + 3\beta v_{\max}^2 + l_n = 3\alpha v_{\max} + 6\beta v_{\max}^2,$$

или

$$l_n = 3\beta v_{\max}^2,$$

откуда

$$v_{\max}^{opt} = \sqrt{\frac{l_n}{3\beta}} \text{ м/сек.} \quad (50)$$

Таким образом, если для рассматриваемого выше примера принять  $l_n = 200$  м и  $\beta = \frac{1}{2b} = 0,5$ , то получим

$$v_{\max}^{opt} = \sqrt{\frac{200}{3 \cdot 0,5}} = \sqrt{134} \approx 11,6 \text{ м/сек,}$$

или

$$v_{\max}^{opt} = 42 \text{ км/час.}$$

Обращаясь теперь к анализу формулы

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_\sigma + t_m^\partial + \frac{v_n}{2b} + t_{cm} + \frac{v_x}{2a},$$

устанавливаем, что величина  $v_x$ , входящая в знаменатель первого члена и числитель последнего члена, характеризующего пусковое ускорение, оказывает весьма существенное влияние на величину расчётного интервала между поездами  $I_{\min}^{cm}$ .

Если принять, что при подходе к станции  $v_x = v_n$ , то, учитывая при этом, что

$$l_m = \frac{v_n^2}{2b} = \frac{v_x^2}{2b},$$

получим

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2\left(l_n + \frac{v_x^2}{2b}\right) + c}{v_x} + t_\sigma + t_m^\partial + t_{cm} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a},$$

или

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2l_n + c}{v_x} + t_\sigma + t_m^\partial + t_{cm} + \frac{2v_x^2}{2bv_x} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a} = \frac{2l_n + c}{v_x} + t_\sigma + t_m^\partial + t_{cm} + \frac{2v_x}{2b} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a}.$$

Обозначая

$$\frac{1}{2b} = \beta \text{ и } \frac{1}{2a} = \gamma,$$

имеем

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2l_n + c}{v_x} + t_\sigma + t_m^\partial + t_{cm} + (3\beta + \gamma) v_x \text{ сек.} \quad (51)$$

Оптимальное значение ходовой скорости может быть получено путём дифференцирования уравнения (51), т. е

$$\frac{dI_{\min}^{cm}}{dv_x} = -\frac{2l_n + c}{v_x^2} + (3\beta + \gamma) = 0,$$

откуда

$$(3\beta + \gamma) v_x^2 = 2l_n + c,$$

или

$$v_x^{opt} = \sqrt{\frac{2l_n + c}{3\beta + \gamma}} \text{ м/сек.} \quad (52)$$

Для рассматриваемого примера  $l_n = 200 \text{ м}$ ,  $c = 80 \text{ м}$ ,  $\beta = \gamma = 0,5$  (т. е.  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$  и  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$ ), следовательно,

$$v_x^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 + 80}{3 \cdot 0,5 + 0,5}} = \sqrt{240} \approx 15,5 \text{ м/сек, или } 56 \text{ км/час.}$$

Принимая  $l_n = 200 \text{ м}$ ,  $c = 80 \text{ м}$ ,  $\beta = \gamma = 0,5$ , получим расчётные значения пропускной способности, приведённые в табл. 10.

Таблица 10

Расчётные значения ходовой скорости $v_x$		$\frac{2l_n + c}{v_x}$ сек.	$t_\theta + t_m^\partial + t_{cm}$ сек.	$v_x (3\beta + \gamma) = v_x (3 \cdot 0,5 + 0,5)$	$I_{\min}^{cm}$ сек.	$N_{\max}^{час}$ пар поездов
в км/час	в м/сек					
40	11,12	43,1	28	22,24	93,4	38,5
45	12,5	38,4	28	25,0	91,4	39,3
50	13,9	34,5	28	27,8	90,3	39,8
55	15,27	31,3	28	30,54	89,8	40,2
60	16,68	28,7	28	33,36	90,1	40,0
65	18,0	26,6	28	36,0	90,6	39,6
70	19,4	24,8	28	38,0	91,6	39,3
75	20,85	23,2	28	41,7	92,9	38,7
80	22,0	21,8	28	44,0	93,8	38,3

Зависимость расчётного интервала  $I_{\min}^{cm}$ , а следовательно, и пропускной способности  $N_{\max}^{час}$  диаметра от ходовой скорости показана на фиг. 30, из которой также видно, что оптимальное значение ходовой скорости, при которой реализуется максимальная пропускная способность, составляет 56 км/час.

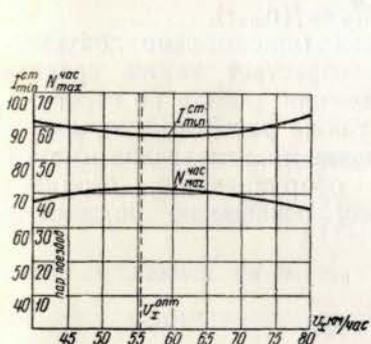
Если же принять величину тормозного пути ( $l_m = \frac{v_n^2}{2b}$ ) постоянной, т. е. определённой по максимальной скорости движения, равной  $v_{\max} = 75 \text{ км/час}$  ( $l_m = 250 \text{ м}$ ), то расчётная фор-

мула минимального интервала между поездами при точечных автостопах получит следующий вид:

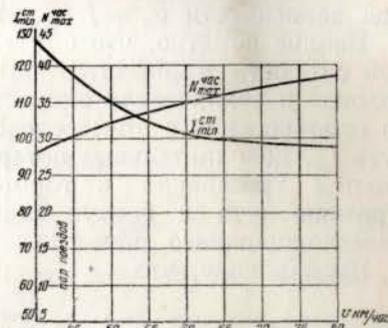
$$I_{\min}^{cm} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_\theta + t_m^\partial + t_{cm} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a},$$

или

$$I_{\min}^{cm} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_\theta + t_m^\partial + t_{cm} + v_x(\beta + \gamma) \text{ сек.}$$



Фиг. 30. График пропускной способности диаметра в зависимости от величины ходовой скорости при  $l_m^k = f(v_{\max})$



Фиг. 30а. График пропускной способности диаметра в зависимости от величины ходовой скорости при  $l_m^k = \text{const}$

Изменение пропускной способности диаметра в зависимости от ходовой скорости для указанных выше условий показано в табл. 11 и на фиг. 30а.

Таблица 11

Расчётные значения ходовой скорости $v_x$		$\frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x}$ сек.	$t_\theta + t_m^\partial + t_{cm}$ сек.	$v_x (\beta + \gamma)$ сек.	$I_{\min}^{cm}$ сек.	$N_{\max}^{час}$ пар поездов
в км/час	в м/сек					
40	11,12	88,2	28	11,12	127,7	28,3
45	12,5	78,4	28	12,5	118,9	30,2
50	13,9	70,5	28	13,9	112,4	32,0
55	15,27	64,0	28	15,27	107,3	33,5
60	16,68	58,7	28	16,7	103,4	34,8
65	18,0	54,4	28	18,0	100,4	34,7
70	19,4	50,5	28	19,4	97,9	36,7
75	20,85	46,8	28	20,85	96,7	37,2

Анализ приведённых расчётных данных показывает, что пропускная способность железнодорожного диаметра при изменении

ходовой скорости движения в пределах 40—75 км/час составляет 28—37 пар поездов в час.

Для оптимального значения ходовой скорости, составляющей  $v_x^{opt} = 56$  км/час, пропускная способность железнодорожного диаметра при точечных автостопах определяется в 34 пары поездов в час.

Для того чтобы иметь более полное представление о влиянии изменения расчётной ходовой и максимальной скоростей на пропускную способность диаметра, необходимо рассмотреть ещё зависимости  $v_x = f(v_{max})$  и  $N_{max}^{calc} = f(v_{max})$ .

Вполне понятно, что с увеличением максимально допускаемой скорости в известной степени возрастает также средняя ходовая и техническая скорость движения поезда по перегону, но одновременно с этим возрастают также расчётный тормозной путь  $l_m$ , дополнительные потери времени на замедление и повышаются требования к тормозному оборудованию, верхнему строению пути и всему техническому оснащению подземного железнодорожного диаметра.

Имея в виду, что

$$l_m = \frac{v_{max}^2}{2b} + t_m^0 v_{max},$$

устанавливаем, что тормозной путь с увеличением  $v_{max}$  резко возрастает.

Так, например, при  $b = 1,0$  м/сек<sup>2</sup>,  $t_m^0 = 2$  сек. и повышении  $v_{max}$  с 75 до 110 км/час имеем

$$l_m = \frac{20,85^2}{2 \cdot 1,0} + 2 \cdot 20,85 = 261 \text{ м}$$

и

$$l_m = \frac{30,6^2}{2 \cdot 1,0} + 2 \cdot 30,6 = 527 \text{ м},$$

т. е. тормозной путь увеличивается в два раза.

Полное время хода поезда по перегону  $t_x$  можно принять складывающимся из трёх элементов: времени разгона  $t_p$ , времени движения с установившейся скоростью  $t_y$  и времени торможения  $t_m$ ; с некоторой погрешностью, допустимой для данного расчёта, можно принять, что  $v_y = v_{max}$ ; в соответствии с этим имеем

$$v_p = \frac{v_0 + v_y}{2} = \frac{v_{max}}{2}$$

и

$$v_m = \frac{v_y + v_0}{2} = \frac{v_{max}}{2}.$$

Следовательно,

$$t_x = \frac{2l_p}{v_{max}} + \frac{l_y}{v_{max}} + \frac{2l_m}{v_{max}} = \frac{1}{v_{max}} (2l_p + l_y + 2l_m).$$

Обозначив отношение  $\frac{l_p + l_m}{l} = \alpha$ , характеризующее удельный вес пути разгона и торможения от общей длины перегона, получим, что

$$t_x = \frac{(l_p + l_y + l_m) + (l_p + l_m)}{v_{max}},$$

т. е.

$$t_x = \frac{l(1 + \alpha)}{v_{max}}.$$

С другой стороны, известно, что

$$v_x^{cp} = \frac{l}{t_x},$$

поэтому, подставляя значение  $t_x$ , получим

$$v_x^{cp} = \frac{lv_{max}}{l(1 + \alpha)} = \frac{1}{1 + \alpha} v_{max}. \quad (53)$$

Из последней формулы видно, что чем короче перегон и больше, следовательно, величина  $\alpha = \frac{l_p + l_m}{l}$ , тем меньшее влияние на повышение средней ходовой и технической скорости оказывает увеличение максимально допускаемой скорости движения поездов.

Так, например, если принять длину перегона  $l = 2000$  м и  $v_{max} = 75$  км/час, то при  $a = 1,0$  м/сек<sup>2</sup> и  $b = 1,0$  м/сек<sup>2</sup> получим

$$l_p = \frac{v_{max}^2}{2a} = \frac{20,85^2}{2 \cdot 1} \approx 214 \text{ м};$$

$$l_m = \frac{v_{max}^2}{2b} = \frac{20,85^2}{2 \cdot 1} \approx 214 \text{ м},$$

т. е.

$$\alpha = \frac{214 + 214}{2000} = 0,214.$$

Следовательно,

$$v_x^{cp} = \frac{1}{1 + \alpha} v_{max} = \frac{1}{1 + 0,214} \cdot 75 \approx 61,5 \text{ км/час}.$$

При повышении же  $v_{max}$  до 110 км/час

$$l_p = \frac{v_{max}^2}{2a} = \frac{30,6^2}{2 \cdot 1} \approx 465 \text{ м}$$

и

$$l_m = \frac{v_{max}^2}{2b} = \frac{30,6^2}{2 \cdot 1} \approx 465 \text{ м}.$$

Тогда

$$\alpha = \frac{465 + 465}{2000} = 0,465,$$

откуда

$$v_x^{cp} = \frac{1}{1 + \alpha} v_{max} = \frac{1}{1 + 0,465} 110 = 75 \text{ км/час},$$

т. е. при увеличении максимальной скорости на 47% средняя ходовая скорость возрастает только на 22%.

Учитывая, что при коротких перегонах реализация высоких скоростей движения затруднительна и движение поезда в подземных железнодорожных диаметрах происходит в трудных профильных условиях, практически можно считать, что максимально допускаемые скорости на диаметре устанавливаются ниже конструктивных возможностей подвижного состава и двигателей, обеспечивающих реализацию  $v_{max} = 120 \div 130 \text{ км/час}$ .

Конкретные значения  $v_{max}$  для подземных железнодорожных диаметров могут быть установлены исходя из заданных длин перегонов, потребной пропускной способности, выбранных типов двигателей и тормозного оборудования подвижного состава.

Значение среднетехнической скорости движения поезда по перегону может быть установлено по следующей формуле:

$$v_m^{cp} = \frac{l}{t_x + \tau_a + \tau_p}, \quad (54)$$

где  $\tau_a$  и  $\tau_p$  — дополнительная затрата времени, связанная с замедлением и разгоном поезда.

Так, например, для рассматриваемого выше примера значение среднетехнической скорости составит:

$$\text{при } v_{max} = 75 \text{ км/час и } v_x^{cp} = 61,5 \text{ км/час, или } 17,08 \text{ м/сек,}$$

$$t_x = \frac{2000}{17,08} \approx 117,1 \text{ сек., } \tau_a \text{ и } \tau_p = 8,6 \text{ сек. (при } a = b = 1 \text{ м/сек}^2),$$

$$v_m^{cp} = \frac{2000}{117,1 + 8,6 + 8,6} = \frac{2000}{134,3} \approx 14,89 \text{ м/сек, или } 53,6 \text{ км/час;}$$

$$\text{при } v_{max} = 110 \text{ км/час и } v_x^{cp} = 75 \text{ км/час, или } 20,85 \text{ м/сек,}$$

$$t_x = \frac{2000}{20,85} \approx 96 \text{ сек.; } \tau_a \text{ и } \tau_p = 10,4 \text{ сек.,}$$

$$v_m^{cp} = \frac{2000}{96 + 10,4 + 10,4} \approx \frac{2000}{116,8} = 17,09 \text{ м/сек, или } 61,5 \text{ км/час.}$$

### Г. Влияние на пропускную способность длины перегона

С выбором длины перегона, т. е. размещением на трассе железнодорожного диаметра остановочных пунктов, неразрывно связаны ходовая, техническая и коммерческая скорости движения поезда, удобства обслуживания пассажиров, расход электроэнергии, продолжительность стоянки поезда для посадки и высадки пассажиров и в известной степени также пропускная способность линии.

Минимальная длина перегона при оборудовании диаметра трёхзначной сигнализацией с применением точечных автоостанов, действующих от жёлтого огня, определяется по формуле

$$L_{min} = 3l_{\delta a} + l_n.$$

Имея в виду, что  $l_{\delta a} \geq l_m$  и  $l_m = \frac{v_{max}^2}{2b} + t_m^a v_{max}$ , можно для различных значений  $v_{max}$  определить минимальные длины перегонов.

Так, например, при длине поезда  $l_n = 200 \text{ м}$ ,  $t_m^a = 2 \text{ сек.}$  и  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$  получим значения наименьшей длины перегона в зависимости от максимально допускаемой скорости движения, приведённые в табл. 12.

Таблица 12

Расчётные значения максимальной скорости $v_{max}$		$l_m = \frac{v_{max}^2}{2b} + t_m^a v_{max}$	$l_n$	$L_{min} = 3l_{\delta a} + l_n$
в км/час	в м/сек	в м		
40	11,12	95,1	200	485,3
50	13,9	123,9	200	571,7
60	16,68	172,8	200	718,4
70	19,4	296,9	200	880,7
75	20,85	258,9	200	976,7
80	22,0	286,0	200	1 058,0
90	25,0	362,0	200	1 286,0
100	27,7	438,7	200	1 516,0
110	30,6	523,6	200	1 770,8
120	33,3	570,3	200	1 911,0

Анализ приведённых в табл. 12 данных показывает, что с повышением максимальных скоростей движения длина блок-участка увеличивается. Это объясняется увеличением длины тормозного пути, на котором должна быть обеспечена остановка поезда от начальной скорости торможения, равной максимальной скорости движения ( $v_n = v_{max}$ ), до полной остановки.

Так, например, повышение максимальной скорости с 50 до 75 км/час увеличивает длину тормозного пути со 124 до 259 м,

т. е. в 2,1 раза, что требует повышения минимально допустимой длины перегона при длине поезда, равной 200 м, с 572 до 977 м, т. е. на 72%; повышение же максимальной скорости до 110 км/час увеличивает длину перегона до 1.771 м, т. е. более чем в три раза.

Как было установлено выше, величина среднеходовой скорости в зависимости от максимальной может быть определена по формуле (53)

$$v_x^{cp} = \frac{1}{1 + \alpha} v_{max}$$

Пользуясь формулой (53), можно установить зависимость ходовой и технической скорости от величины максимально реализуемой скорости при разных длинах перегонов.

Расчётные значения ходовой скорости для условий обращения на диаметре моторвагонного подвижного состава с двигателями, обеспечивающими начальное ускорение  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$ , и тормозными средствами, позволяющими реализовать тормозное замедление  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$ , приведены в табл. 13.

Как видно из расчётных значений ходовой скорости, повышение максимальной скорости движения обуславливает повышение ходовой скорости движения поездов.

Однако возможный уровень ходовой и технической скорости определяется также длиной перегона, мощностью двигателей и тормозных средств поезда.

Так, например, на перегоне длиной 800 м при двигателе с начальным ускорением  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$  и тормозном замедлении  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$  повышение максимальной скорости движения с 40 до 60 км/час даёт возрастание ходовой скорости с 34,6 до 44,4 км/час, т. е. на 9,8 км/час, или на 28,8%; дальнейшее повышение максимальной скорости с 60 до 80 км/час даёт увеличение ходовой скорости только с 44,4 до 48,9 км/час, т. е. на 4,5 км/час, или на 10,0%, причём режим движения поезда состоит только из двух фаз — разгона и торможения.

Реализация на таком перегоне более высоких скоростей как максимальной, так ходовой и технической становится практически невозможной, так как коэффициент  $\alpha$ , характеризующий удельный вес пути разгона и замедления от общей длины перегона, становится уже больше единицы.

Удлинение перегона с 800 до 2000 м позволяет реализовать максимальную скорость движения до 120 км/час, что соответственно повышает ходовую скорость за счёт сокращения времени разгона, а следовательно, и пути разгона.

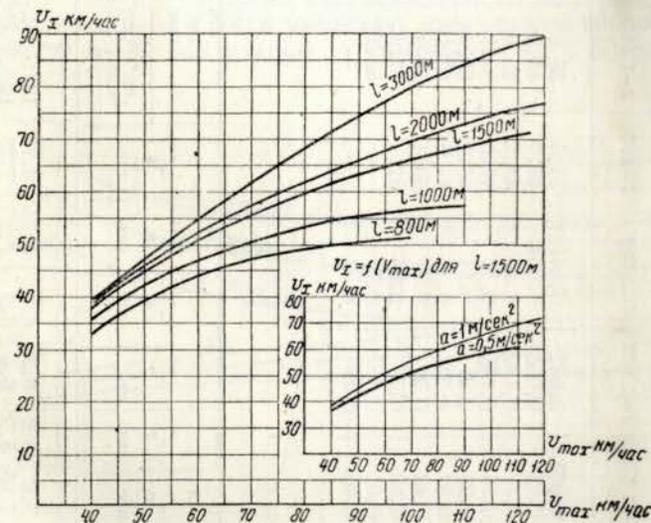
Так, если на перегоне длиной 800 м при  $v_{max} = 60 \text{ км/час}$  и  $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$  реализуется ходовая скорость  $v_x = 40,8 \text{ км/час}$ , то при двигателе с начальным ускорением  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$  при тех же условиях ходовая скорость составляет  $v_x = 44,4 \text{ км/час}$ , т. е. повышается на 3,6 км/час, или на 8,8%, а на перегоне длиной

2000 м при тех же условиях ходовая скорость возрастает с 50,2 до 52,3 км/час, или на 4%.

График зависимости ходовой скорости от величины максимальной скорости для различных длин перегонов и принятых значений  $a$  и  $b$  приведён на фиг. 31.

Как видно из графика, при заданных значениях максимальных скоростей, начального ускорения и тормозного замедления техническая скорость возрастает с удлинением перегона.

Так, при увеличении длины перегона с 800 до 2000 м при максимальной скорости движения  $v_{max} = 75 \text{ км/час}$ ,



Фиг. 31. График зависимости ходовой скорости от величины максимальной скорости для различных длин перегонов

величине  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$  и  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$  ходовая скорость возрастает с 48,7 до 61,2 км/час, т. е. на 12,5 км/час, или на 25,7%; удлинение же перегона с 2000 до 3000 м позволяет повысить ходовую скорость до 65,3 км/час, или на 6,7%.

Влияние длины перегона на пропускную способность диаметра можно установить на основании формулы (34).

В соответствии с указанной формулой в табл. 14 и на фиг. 32 приведены расчётные значения пропускной способности диаметра в зависимости от длины перегона.

Расчёты произведены для следующих условий: поезда восьмивагонные,  $l_n = 200 \text{ м}$ , длина тормозного пути  $l_m = 250 \text{ м}$ , начальное ускорение  $a = 1,0 \text{ м/сек}^2$  и коэффициент замедления  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$ , продолжительность стоянки поезда  $t_{cm} = 20 \text{ сек}$ .

Таблица 13

Расчётная длина перегона в м	Расчётные значения максимальной скорости $v_{max}$					Расчётные значения максимальной скорости $v_{max}$						
	в км/час	в м/сек	$\alpha = \frac{l_p + l_m}{l}$					$v_x^{CP} = \frac{1}{1+\alpha} v_{max}$ км/час				
			l=800	l=1 000	l=1 500	l=2 000	l=3 000	l=800	l=1 000	l=1 500	l=2 000	l=3 000
40	11,12	0,154	0,123	0,082	0,062	0,041	34,6	35,6	36,8	37,6	38,4	
50	13,9	0,242	0,192	0,12	0,096	0,064	40,0	42,0	44,5	45,5	47,0	
60	16,68	0,348	0,276	0,17	0,139	0,09	44,4	46,8	51,0	52,2	54,6	
70	19,4	0,47	0,376	0,25	0,188	0,12	48,7	51,1	56,0	58,8	62,3	
75	20,85	0,54	0,43	0,28	0,21	0,14	48,7	52,5	57,6	61,2	65,3	
80	22,0	0,62	0,48	0,32	0,24	0,16	48,9	53,6	60,8	64,0	68,8	
90	25,0	0,78	0,62	0,43	0,31	0,21	50,4	54,9	63,0	68,4	74,7	
100	27,7	0,95	0,78	0,52	0,38	0,25	51,0	57,0	65,0	72,0	80,0	
110	30,6	—	0,92	0,61	0,465	0,31	—	57,2	68,2	75,0	83,6	
120	33,3	—	—	0,66	0,50	0,33	—	—	72,0	80,0	90,0	

Таблица 14

Расчётная длина перегона в м	Среднеходовая скорость		$2(l_n + l_m^k) + c$ сек.				$\tau''_g$ сек.	$\tau''_p$ сек.	$\tau''_g$ сек.	$\tau''_p$ сек.	$\tau''_g$ сек.	$\tau''_p$ сек.	$I_{min}$ сек.		$N_{max}$ пар поездов					
	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 60$ км/час	$v_x$		$\tau'_g$ сек.	$\tau'_p$ сек.							$I'_{min}$ мин	$I''_{min}$ мин	$I'_{min}''$ мин	$I''_{min}''$ мин	$N'_{max}$	$N''_{max}$	$N'_{max}$	$N''_{max}$
			$v_x = 75$ км/час	$v_x = 80$ км/час																
800	44,4	48,7	79,6	88,1	72,5	5,6	6,3	6,3	6,75	6,75	6,75	6,75	127,3	120,6	114,0	28,3	31,5			
1 000	42,0	46,8	75,4	83,1	67,1	5,95	6,6	6,6	7,25	7,25	7,25	7,25	122,9	116,6	109,5	29,2	32,9			
1 500	44,5	51,0	69,5	79,6	61,1	6,3	7,02	7,02	7,75	7,75	7,75	7,75	120,6	111,5	104,5	29,8	34,4			
2 000	45,5	52,2	61,2	77,7	58,2	6,35	7,24	7,24	8,4	8,4	8,4	8,4	118,7	110,0	102,8	30,3	35,0			
3 000	47,0	54,6	65,3	75,2	54,1	6,6	8,3	8,3	9,0	9,0	9,0	9,0	116,2	109,6	101,0	30,9	35,6			

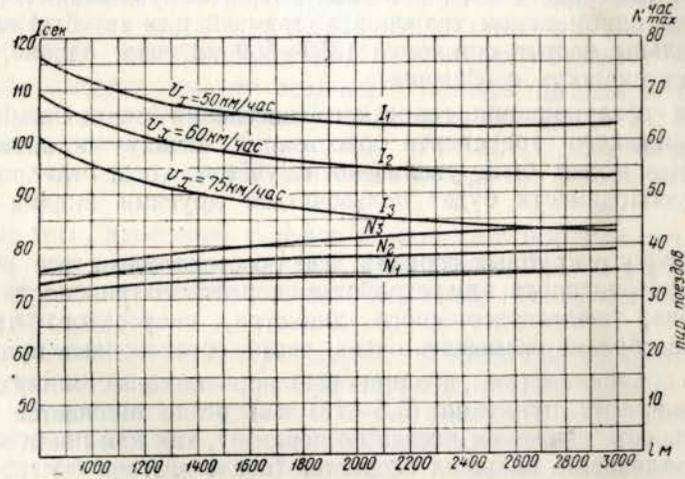
рис

Анализ полученных данных показывает, что:  
а) увеличение длины перегона повышает пропускную способность диаметра за счёт реализации более высоких скоростей движения.

Так, увеличение длины перегона с 800 до 3000 м при  $v_x = 50$  км/час повышает пропускную способность диаметра с 28 до 31 пары поездов, т. е. на три пары, или на 10,7%, и при  $v_x = 75$  км/час с 31 до 36 пар поездов, или на 16,2%;

б) повышение ходовой скорости движения позволяет реализовать более высокие значения пропускной способности диаметра.

Так, повышение ходовой скорости с 50 до 60 км/час позволяет на перегоне длиной 1500 м увеличить пропускную способность диаметра с 30 до 32 пар поездов, а увеличение  $v_x$  с 50 до 75 км/час



Фиг. 32. График пропускной способности диаметра в зависимости от длины перегона для различных величин среднесходовой скорости

повышает пропускную способность с 30 до 34 пар поездов, т. е. на 4 пары, или на 13,3%.

Возможные длины перегонов на железнодорожном диаметре определяются в основном размещением отдельных пунктов на трассе диаметра.

В условиях городского транспорта как для диаметров, так и для линий метрополитена размещение остановочных пунктов (пунктов посадки и высадки пассажиров) определяется планировкой города, размещением общественных и культурных учреждений, а также промышленных предприятий. Кроме того, на размещение остановочных пунктов железнодорожного диаметра оказыва-

ют известное влияние условия сочетания его работы с другими видами транспорта (трамвай, автобус, троллейбус, метрополитен) и средняя длина поездки городского жителя.

Это находит своё объяснение прежде всего в стремлении создать наиболее благоприятные условия для городских пассажиров (минимум передвижений по городу пешком). Кроме того, размещение остановочных пунктов на диаметре связано с пересечением линий метрополитена, так как в местах пересечений обязательным является устройство остановочных пунктов (пересадка и использование пассажирами выходных вестибюлей метрополитена).

По данным инж. Зильберталь<sup>1</sup>, средняя длина поездки в зависимости от величины территории города и размеров его населения колеблется в пределах от 1,6 км (при населении 50 тыс.) до 6—7 км (при населении 5 млн.). При обслуживании городских жителей одним видом транспорта (трамвай или автобус) наиболее желательны частые остановки (350—500 м), что, однако, сильно снижает скорость сообщения.

При обслуживании городского населения различными видами городского транспорта расстояние между остановочными пунктами может быть увеличено с учётом того, что пассажир при необходимости будет пользоваться другими видами транспорта.

Поэтому в крупных городах, где сосредоточены все виды городского транспорта, при устройстве скоростного транспорта (метрополитена, железнодорожного диаметра, скоростного трамвая) нецелесообразно размещать очень часто остановочные пункты.

Это объясняется тем, что при очень коротких расстояниях между остановочными пунктами (0,5—1,0 км) резко снижается средняя скорость движения поезда по перегону, так как поезд не успевает реализовать больших скоростей (после разгона быстро наступает период торможения), в результате чего снижается пропускная способность линии.

С точки зрения достижения высоких скоростей движения, а следовательно, и реализации максимальной пропускной способности целесообразно проектировать более длинные перегоны.

Практика строительства скоростных видов транспорта в крупнейших столичных центрах показывает довольно большие колебания в длине перегонов.

Произведённое исследование показывает, что увеличение длины перегона имеет первостепенное значение с точки зрения повышения ходовой и технической скорости движения поездов на линиях железнодорожного диаметра.

<sup>1</sup> А. Х. Зильберталь. Проблемы городского пассажирского транспорта. 1937.

С другой стороны, подземный железнодорожный диаметр должен обеспечивать наилучшее обслуживание пассажиров, что, наоборот, предъявляет требования к всемерному снижению длины перегона.

Поэтому в каждом конкретном случае требуется отыскать оптимальное решение, которое будет определять наиболее рациональное размещение отдельных пунктов на трассе метрополитена или железнодорожного диаметра.

#### Д. Влияние на пропускную способность уклонов продольного профиля трассы железнодорожного диаметра

Изменение уклонов продольного профиля пути вызывает, как известно, изменение работы силы тяжести движущегося поезда, причём на подъёмах эта работа накапливается в виде потенциальной энергии, а на спусках преобразуется в кинетическую энергию и способствует увеличению скорости движения поезда.

Отсюда следует, что от величины уклонов продольного профиля зависит значительная доля сопротивления движению поезда и величина кинетической энергии поезда, а следовательно, средняя ходовая скорость движения поезда и расход электроэнергии.

Кроме того, изменение уклонов продольного профиля пути при заданном типе подвижного состава вызывает изменение тормозных путей, что в свою очередь оказывает влияние на изменение пропускной способности.

Ввиду сложного характера влияния уклонов продольного профиля пути на среднюю ходовую скорость обычно оценка этого влияния производится путём построения кривых  $v = f(s)$  для рассматриваемых вариантов профильной характеристики пути и заданного двигателя. Для приближённых расчётов обычно применяется метод эквивалентного подъёма, основанный на соблюдении принципа эквивалентности в отношении расхода энергии на движение и работы двигателей.

Влияние уклонов продольного профиля трассы на изменение длины тормозных путей может быть установлено по формуле (41а), т. е.

$$l_m^k = \frac{v_n^2}{2 \left( b \pm \frac{i}{110} \right)}$$

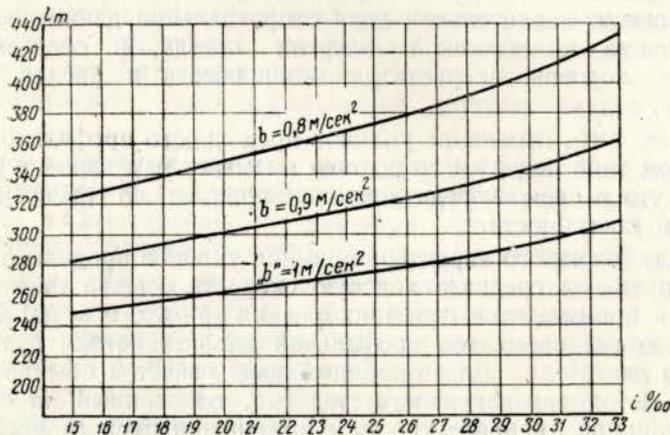
Принимая скорость начала торможения в пределах железнодорожного диаметра  $v_n = v_{\max} = 75 \text{ км/час}$  и различные значения тормозного замедления  $b$ , характеризующего мощность тормозных средств поезда, можно определить расчётные значения длины тормозного пути в метрах (табл. 15 и фиг. 33).

Таблица 15

Расчётное значение $b$ в $м/сек^2$	Длина тормозного пути $l_m$ в м при расчётном уклоне $i$ , равном							
	$5^{\circ}/_{00}$	$10^{\circ}/_{00}$	$15^{\circ}/_{00}$	$20^{\circ}/_{00}$	$25^{\circ}/_{00}$	$30^{\circ}/_{00}$	$35^{\circ}/_{00}$	$40^{\circ}/_{00}$
1,0	227	238	248	263	277	298	316	337
0,9	255	267	282	300	321	345	369	400
0,8	294	306	324	348	372	412	455	493

Анализ полученных в результате расчётов длин тормозных путей для различных уклонов и величин замедления показывает, что:

а) усиление тормозных средств поезда даёт сокращение расчётной длины тормозного пути и, следовательно, увеличивает пропускную способность.



Фиг. 33. График зависимости расчётного тормозного пути от величины уклонов для различных значений коэффициента замедления

Так, при  $v_n = v_{max} = 75$  км/час,  $i = 20^{\circ}/_{00}$  и  $b = 0,8$  м/сек<sup>2</sup>  $l_m^k = 348$  м; при  $b = 0,9$  м/сек<sup>2</sup>,  $l_m^k = 300$  м и при  $b = 1$  м/сек<sup>2</sup>  $l_m^k = 263$  м.

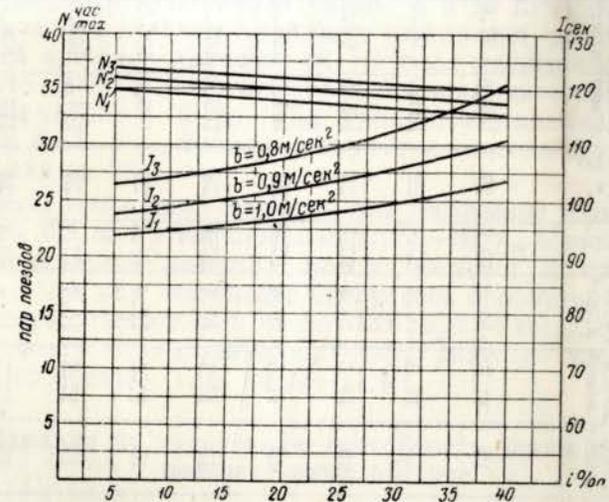
Таким образом, увеличение тормозного замедления на  $0,1$  м/сек<sup>2</sup> сокращает длину тормозного пути в среднем на  $40 - 50$  м;

б) увеличение уклона на  $1^{\circ}/_{00}$  в пределах  $i = 5 \div 20^{\circ}/_{00}$  даёт увеличение расчётной длины тормозного пути на  $2 - 4$  м, т. е. на  $1 - 1,5\%$ , причём меньшим значениям соответствуют повышенные значения тормозного замедления.

Дальнейшее увеличение уклонов в пределах  $i = 20 \div 40^{\circ}/_{00}$  даёт сравнительно небольшое увеличение длины тормозного пути для высоких значений тормозного замедления и резкое увеличение длины тормозных путей для пониженных значений тормозного замедления.

Так, например, при  $b = 1$  м/сек<sup>2</sup> тормозные пути с увеличением уклона на  $1^{\circ}/_{00}$  в пределах  $i = 20 \div 40^{\circ}/_{00}$  увеличиваются примерно на  $3,5 - 4$  м, а при  $b = 0,8$  м/сек<sup>2</sup> — на  $6 - 8$  м.

В соответствии с изложенным в табл. 16 приведены значения пропускной способности диаметра в зависимости от величины



Фиг. 34. График пропускной способности диаметра в зависимости от величины уклонов для различных значений коэффициента замедления

уклонов продольного профиля трассы подземного железнодорожного диаметра и принятых величин тормозных замедлений  $b$ . Исходя из указанных данных на фиг. 34 дана графическая зависимость

$$N_{max}^{pac} = f(i, b).$$

Расчёты произведены для условий: поезда восьмивагонные, при длине вагона  $23,6$  м (по сцепным приборам), время на восприятие сигнала  $t_s = 2$  сек., величина пускового ускорения  $a = 1,0$  м/сек<sup>2</sup>, продолжительность стоянки поезда  $t_{cm} = 20$  сек., начальная скорость торможения  $v_n = v_{max} = 75$  км/час.

Величина расчётного интервала определяется по формуле (34)

$$I_{min}^{cm} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_s + t_m^d + \tau_3 + t_{cm} + \tau_p.$$

Таблица 16

Величина расчётного уклона $i$ в ‰	Длина тормозного пути $l_m^k$ в м при			Длина $l_n$ в м	$\frac{2(l_m^k + l_n) + c}{v_x}$ м			$\tau_3$ сек.			$\tau_p$ сек.	$t_{cm}^d + t_s^d$	$f_{min}$ сек.			$N_{max}$ пар поездов		
	$b=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$b=1,0$ м/сек <sup>2</sup>		$b=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$b=1,0$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$b=1,0$ м/сек <sup>2</sup>			$b=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$b=1,0$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$b=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$b=1,0$ м/сек <sup>2</sup>
5	294	255	227	192	51,5	47,7	45,1	13	11,5	10,4	10,4	28	103,0	97,6	93,7	35,0	36,8	38,4
10	306	267	238	192	52,5	48,7	46,0	13	11,5	10,4	10,4	28	104,0	98,6	94,6	34,7	36,5	38,1
15	324	282	248	192	54,0	50,0	46,7	13	11,5	10,4	10,4	28	105,5	99,9	95,3	34,1	36,0	37,8
20	348	300	263	192	56,5	51,9	48,3	13	11,5	10,4	10,4	28	107,0	101,8	96,9	33,7	35,3	37,2
25	372	321	277	192	58,5	53,6	49,4	13	11,5	10,4	10,4	28	109,0	103,5	98,0	33,0	34,8	36,8
30	412	345	298	192	62,5	56,0	51,6	13	11,5	10,4	10,4	28	113,0	106,0	99,2	32,0	34,0	36,3
33	432	360	309	192	63,5	56,6	51,7	13	11,5	10,4	10,4	28	114,0	107,0	100,0	31,6	33,7	36,0
35	435	369	316	192	65,0	58,7	53,6	13	11,5	10,4	10,4	28	115,5	108,7	101,9	31,0	33,0	35,3
40	493	400	337	192	70,0	61,1	55,1	13	11,5	10,4	10,4	28	120,5	111,1	103,4	30,0	32,4	34,8

Анализ расчётных данных пропускной способности в зависимости от различных уклонов трассы подземного железнодорожного диаметра и мощности тормозных средств поездов, определяемых тормозным замедлением, показывает, что увеличение уклонов вызывает увеличение минимального интервала между поездами, а следовательно, снижение пропускной способности диаметра.

Однако влияние величины уклона на пропускную способность диаметра происходит неравномерно, так как чем больше уклон, тем больший расчётный тормозной путь требуется для остановки поезда, следующего с максимальной скоростью.

Так, например, увеличение уклона с 5 до 15‰ в пределах рассматриваемых величин тормозного замедления увеличивает минимальный интервал в среднем на 1,5 сек.; повышение величины уклона с 15 до 30‰ увеличивает минимальный интервал на 4 сек.; увеличение уклона с 30 до 40‰ увеличивает минимальный интервал на 4—7 сек., снижая пропускную способность на 2 пары поездов, или на 7%.

При этом необходимо отметить, что увеличение тормозного замедления с 0,8 до 1 м/сек<sup>2</sup> при уклонах 15—30‰ позволяет уменьшить минимальный интервал между поездами в среднем на 8—10 сек., что даёт повышение пропускной способности диаметра на 3—4 пары поездов, или на 10—13%; при уклонах 30—40‰ и тех же условиях пропускная способность диаметра увеличивается на 4—5 пар поездов, т. е. на 13—17%.

#### Е. Влияние на пропускную способность длины состава моторвагонных поездов

Длина составов моторвагонных поездов определяет длину станционных тоннелей подземных железных дорог и оказывает весьма существенное влияние на пропускную и провозную способность диаметра.

С длиной состава моторвагонных поездов также в известной мере связаны удобства обслуживания пассажиров, так как чрезмерно длинные составы вынуждают пассажиров делать большие переходы при посадке и высадке.

Оценка влияния длины состава на изменение пропускной способности диаметра может быть произведена путём анализа формул (34) или (36).

Если произвести расчёты для различных составов поездов, т. е. из 6, 8, 9, 10 и 12 вагонов и трёх типов вагонов длиной: 19,3 м (существующий вагон электрических железных дорог), 22 и 23,6 м, принимая  $v_x$  в пределах 50—75 км/час,  $a = 1,0$  м/сек<sup>2</sup>,  $b = 1,0$  м/сек<sup>2</sup>, что определяет  $\tau_p$  и  $\tau_3$  соответственно 7 и 10,4 сек.,  $t_{cm}^d = 20$  сек. и  $t_s^d + t_m^d = 8$  сек., то получим данные, приведённые в табл. 17.

Таблица 17

Состав поез- да в вагонах	Длина вагона $l_{в}$ в м	Длина поезда $l_{п}$ в м	$2(l_{п} + l_{в}^k) + c$ сек.		$t_{\theta} + t_m + t_{ст}$ сек.	$\tau_p + \tau_g$ сек.		$t_{ст}^{min}$ сек.		N час пар поездов		Населён- ность ва- гона $q_{в}$ пасс.	Населён- ность поезда $A_{п}$ пасс.	Провозная способ- ность $Q_{max}$ тыс. пасс.	
			$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час				
6	19,3	115,8	58,2	38,8	28	14	20,8	100,2	35,8	41,9	140	840	30,2	35,3	
8	19,3	154,4	63,8	42,4	28	14	20,8	105,8	91,2	34,0	140	1 120	38,0	44,8	
9	19,3	173,7	66,7	44,2	28	14	20,8	108,7	93,0	33,0	140	1 260	41,6	47,9	
10	19,3	193,0	69,2	46,1	28	14	20,8	111,2	94,9	32,2	140	1 400	44,8	53,2	
12	19,3	231,6	74,6	49,8	28	14	20,8	116,6	98,6	30,8	140	1 620	52,0	61,2	
6	22	132	60,7	40,4	28	14	20,8	102,7	89,2	35,1	180	1 080	37,8	43,5	
8	22	176	67,0	44,7	28	14	20,8	109,0	93,5	33,0	180	1 440	47,5	57,6	
9	22	198	70,0	46,0	28	14	20,8	112,0	94,8	32,0	180	1 620	51,8	61,5	
10	22	220	73,4	48,9	28	14	20,8	115,4	97,7	31,1	180	1 800	55,8	66,6	
12	22	264	78,2	53,1	28	14	20,8	120,2	101,9	29,9	180	2 160	64,8	76,3	
6	23,6	144	61,7	41,6	28	14	20,8	103,7	90,4	34,7	200	1 200	42,0	48,0	
8	23,6	192	69,3	46,2	28	14	20,8	111,3	95,0	32,3	200	1 600	51,2	60,8	
9	23,6	216	72,5	48,5	28	14	20,8	114,5	97,3	31,0	200	1 800	55,8	66,6	
10	23,6	240	76,1	50,8	28	14	20,8	118,1	99,6	30,5	200	2 000	62,0	72,0	
12	23,6	288	83,1	55,4	28	14	20,8	125,1	104,2	28,8	200	2 400	69,6	84,0	

Графики изменения пропускной и провозной способности диаметра в зависимости от величины состава поезда для вагонов различных длин приведены на фиг. 35 и 36.

Анализ изменения пропускной и провозной способности железнодорожного диаметра при различных длинах вагона и величинах состава поездов для исследуемых значений ходовых скоростей движения показывает, что с увеличением длины вагона и состава моторвагонных поездов несколько уменьшается пропускная способность, но вместе с тем значительно повышается провозная способность диаметра.

Так, например, увеличение состава поезда с 6 до 12 вагонов при различных длинах вагона (от 19,3 до 23,6 м) снижает пропускную способность диаметра в среднем на 5—6 пар поездов в час, но одновременно даёт повышение провозной способности диаметра в среднем на 40—45 тыс. пассажиров, т. е. более чем в два раза.

Вместе с тем следует учитывать, что увеличение длины поезда вызывает необходимость соответственного удлинения платформ, а следовательно, и станционной изолированной секции (станционной площадки), что в условиях подземного трассирования требует дополнительных капитальных затрат на работы, связанные с удлинением станционных площадок.

#### Ж. Влияние на пропускную способность продолжительности стоянок поездов на станциях

Произведённое исследование показывает, что минимальный интервал между поездами по приёму на станцию составляет в среднем 95—110 сек., из которых на долю стоянки поезда на остановочном пункте приходится в среднем 20—30 сек., т. е. более 20% интервала между поездами.

Это показывает, что стоянки поездов на остановочных пунктах являются одним из основных элементов, влияющих на пропускную способность железнодорожного диаметра. Поэтому установление минимально возможных стоянок на остановочных пунктах железнодорожного диаметра имеет весьма существенное значение.

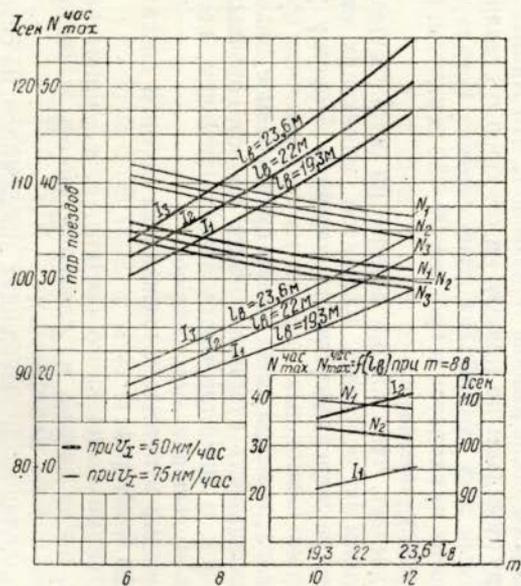
Продолжительность стоянки поездов на остановочных пунктах железнодорожного диаметра определяется временем, необходимым для посадки и высадки пассажиров.

Время посадки в вагоны и высадки из вагонов пассажиров зависит от ряда факторов:

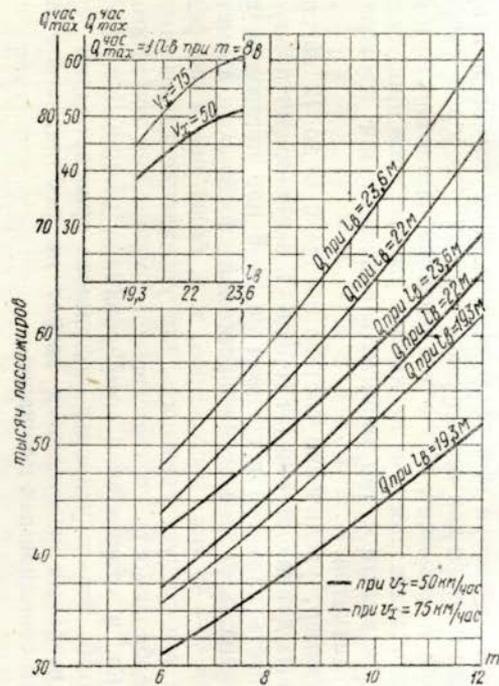
а) конструкции подвижного состава, т. е. длины вагона, его вместимости, числа дверей, их размеров, высоты и числа ступенек (высокие или низкие платформы);

б) числа входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах;

в) способа использования дверей, т. е. применение поточного или непоточного метода входа и выхода пассажиров на остановочном пункте.



Фиг. 35. График пропускной способности диаметра в зависимости от длины вагона и состава моторвагонных поездов



Фиг. 36. График провозной способности диаметра в зависимости от длины вагона и состава моторвагонных поездов

Поточный или непоточный метод использования дверей подвижного состава в условиях подземного железнодорожного диаметра определяется схемой станции. Так, при боковом и островном расположении платформ применяется в основном непоточный метод использования дверей вагонов, т. е. через каждую дверь вагона сначала пассажиры выходят, а затем входят (фиг. 37, а и б).

При трёхплатформенных промежуточных станциях в связи с разделением направления следования пассажиров может применяться поточный метод посадки и высадки пассажиров, т. е. посадка происходит одновременно с высадкой (фиг. 37, в).

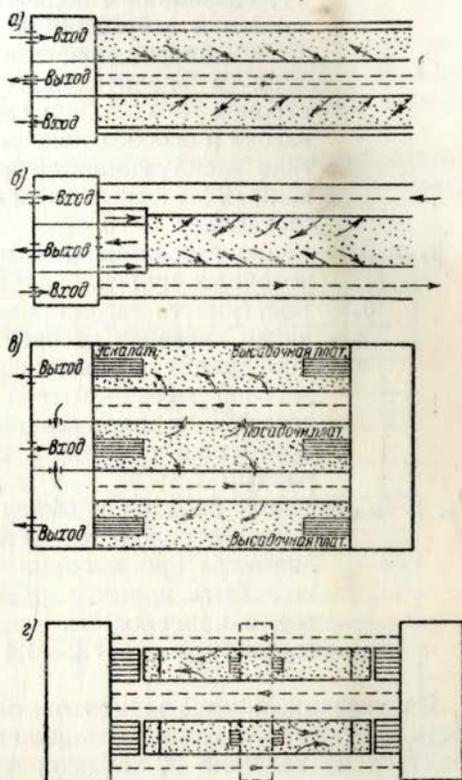
На совмещённых станциях в пунктах пересечения линий метрополитена и железнодорожного диаметра разделение направления следования пассажиров может быть достигнуто расположением путей железнодорожного диаметра внутри путей метрополитена (фиг. 37, г).

Продолжительность стоянки поезда на остановочных пунктах железнодорожного диаметра может быть определена по следующим формулам: при непоточном способе использования дверей вагона

$$t_{ст} = \kappa + \frac{\beta_a q_a}{n\alpha} t_{вых} + \frac{\beta_n q_n}{n\alpha} t_{вх}; \quad (55)$$

при поточном способе использования дверей вагона

$$t_{ст} = \kappa + \frac{\beta_a^n q_a^n}{n\alpha} t_{вых}, \quad (56)$$



Фиг. 37. Схема направления пассажиропотоков при посадке и высадке из вагонов:

а — станция с боковым расположением платформ; б — островная станция; в — трёхплатформенная станция; г — совмещённая станция в пунктах пересечения линий метрополитена и железнодорожного диаметра

где  $t_{cm}$  — продолжительность стоянки поезда на станции в сек.;  
 $\kappa$  — дополнительная потеря времени на каждую остановку, связанная с подачей сигналов по поезду, открытием и закрытием дверей и приведением в действие контроллера. Эта дополнительная потеря времени в значительной степени зависит от числа вагонов в составе, системы управления дверями вагона и способа подачи сигналов по поезду. В практике эксплуатации метрополитена и электрифицированных железных дорог этот элемент потери времени составляет 3—5 сек.;

$\beta_o$  и  $\beta_n$  — число пассажиров, выходящих и входящих на остановочных пунктах, в %;

$q_o$  — вместимость вагона (в зависимости от длины вагона);

$n$  — число дверей в вагоне;

$\alpha$  — коэффициент использования двойных дверей. Для вагонов метрополитена с широкими раздвижными дверями  $\alpha$  принимается равным 1,85—1,9, а для пригородных вагонов с тамбурами  $\alpha$  принимается равным 1,6;

$t_{вх}$  и  $t_{вых}$  — время на вход и выход одного пассажира; для вагонов метрополитена и подземного железнодорожного диаметра при высоких платформах на станции может быть принято равным 1,0—1,1 сек., а для вагонов пригородных электрифицированных участков (с тамбурами)—1,2—1,4 сек.

Из указанных выше элементов, определяющих продолжительность стоянки поездов на остановочных пунктах, следует остановиться на величине  $\beta$ , характеризующей процент пассажиров, выходящих и входящих на станциях.

Величина  $\beta$  зависит как от мощности пассажиропотока на отдельных перегонах диаметра, так и от длины перегона, так как чем длиннее перегон, тем большее количество пассажиров накапливается для выхода на остановочном пункте.

Кроме того, в условиях движения на железнодорожном диаметре, и особенно в часы утреннего и вечернего максимального движения, процент выходящих и входящих пассажиров на каждом остановочном пункте практически неодинаков.

Так, в утренние часы максимального движения, когда большая часть пассажиров следует на работу, на станциях диаметра, особенно в центре города, процент выходящих пассажиров будет значительно больше, чем входящих, особенно в сквозных поездах, следующих через город.

В вечерние часы максимального движения будет обратная картина, так как большая часть пассажиров возвращается после рабочего дня к месту жительства, вследствие чего процент посадочных операций больше процента высадочных.

Поэтому в расчётах продолжительности стоянки поездов на станциях железнодорожного диаметра при непоточном методе использования дверей вагона должен приниматься неодинаковый процент входящих и выходящих пассажиров.

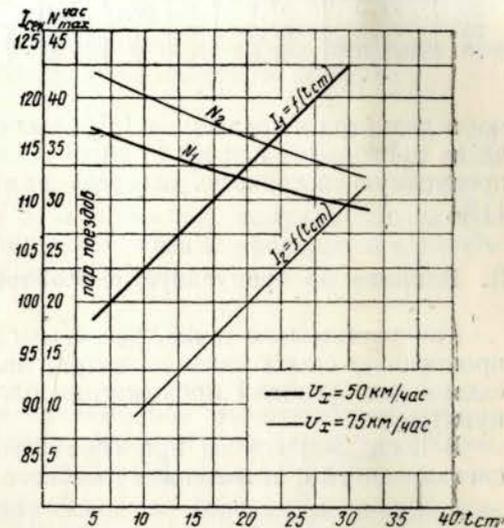
При поточном методе использования дверей вагона продолжительность стоянки поезда на остановочном пункте будет определяться большим процентом входящих или выходящих пассажиров.

Анализ формул (55) и (56) показывает, что продолжительность стоянки поездов на остановочных пунктах зависит как от населённости вагона и числа дверей в них, так и от количества выходящих и входящих пассажиров.

Так, например, при населённости вагона 200 чел., двух дверей и 20% выходящих и входящих пассажиров продолжительность стоянки составляет 23 сек., а при увеличении количества выходящих и входящих пассажиров до 30% стоянку поезда необходимо увеличить до 30 сек.; увеличение числа дверей при указанных условиях до трёх позволит сократить стоянку поезда соответственно до 19 и 23 сек., а устройство в вагоне четырёх дверей сокращает стоянку поездов до 13 и 16 сек., т. е. на 50%.

Влияние продолжительности стоянки поездов на остановочных пунктах на пропускную способность железнодорожного диаметра может быть установлено соответствующими расчётами по формулам (34) или (36) при разных значениях продолжительности стоянки поезда на остановочных пунктах и принятых ранее расчётных условиях, т. е. при восьмивагонном составе,  $l_n = 200$  м, нормальной вместимости вагона  $q_o = 200$  чел., трёх дверей в вагоне,  $l_m^k = 250$  м,  $t_o + t_m^o = 8$  сек.,  $v_x = 50 \div 75$  км/час и соответствующих им  $\tau_p$  и  $\tau_s$ , равных 7 и 10,4 сек. (при  $a = b = 1$  м/сек<sup>2</sup>).

Как видно из табл. 18, рассчитанной по формуле (34), и приведённого на фиг. 38 графика  $N_{max}^{час} = f(t_{cm})$ , увеличение продолжительности стоянки поезда в пределах рассматриваемых значений ходовой скорости на каждые 5 сек. снижает пропускную способ-



Фиг. 38. График пропускной способности диаметра в зависимости от продолжительности стоянки поездов на станциях

Таблица 18

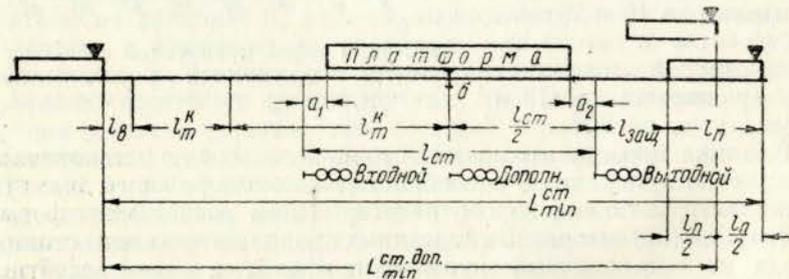
Продолжительность стоянки поезда $t_{ст}$ сек.	$\frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x}$ сек.		$t_0 + t_m^0$ сек.	$\tau_p$ сек.		$\tau_3$ сек.		$t_{ст}^{min}$ сек.		$N_{max}$ пар поездов	
	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час
	км/час	км/час		км/час	км/час						
5	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	98,0	84,8	37,5	42,3
10	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	103,0	89,8	35,0	40,0
15	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	108,0	94,8	33,0	38,0
20	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	113,0	99,8	31,8	36,0
25	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	118,0	104,8	30,5	34,2
30	71,0	47,0	8	7	10,4	7	10,4	123,0	109,8	29,2	32,7

ность диаметра в среднем на 1,5 пары поездов, или на 4%, а увеличение продолжительности стоянки поезда с 20 до 30 сек. снижает пропускную способность диаметра примерно на 3 поезда, или на 11%.

### 3. Влияние на пропускную способность сигналов продвижения

Как установлено выше, расчётным интервалом, определяющим пропускную способность диаметра, является интервал между поездами для условий прохождения блок-участка с остановочным пунктом.

В последнем случае при оборудовании диаметра трёхзначной сигнализацией с автостопами точечного действия (от жёлтого огня)



Фиг. 39. Расчётная схема размещения поездов при установке одного сигнала продвижения

и наличии перекрывающихся участков расчётный интервал определяется по формуле (34).

Сокращение указанного интервала может быть осуществлено путём деления станционной изолированной секции изолирован-

ными стыками на два-три самостоятельных участка с установкой так называемых сигналов продвижения.

Установка сигналов продвижения производится в первую очередь на станциях, имеющих наибольшие стоянки поездов или же длинный перекрывающийся участок.

Схема размещения поездов при наличии сигнала продвижения приведена на фиг. 39, из которой видно, что минимальное расстояние между головами двух поездов сокращается на половину длины поезда, так как входной сигнал переходит в открытое положение после прохода хвоста первого поезда за изолированный стык б, расположенный в середине платформы.

В соответствии с этим расчётный интервал между поездами при автостопах точечного действия определяется по формуле

$$I_{min}^{ст} = \frac{(1,5 l_n + 2 l_m^k) + c}{v_x} + t_0 + t_m^0 + \tau_3 + t_{ст} + \tau_p. \quad (57)$$

Принимая  $l_n = 200$  м и  $v_x = 50$  км/час, получим, что за счёт установки одного дополнительного сигнала продвижения расчётный интервал сокращается на величину

$$\frac{l_n}{2v_x} = \frac{200}{2 \cdot 13,9} \approx 7 \text{ сек.}$$

Таким образом, деление станционной изолированной секции на два самостоятельных изолированных участка при  $I_{min}^{ст} = 100$  сек. увеличивает пропускную способность примерно на 7%.

Дальнейшее деление станционной изолированной секции уже не даёт существенного изменения пропускной способности диаметра, так как при установке второго дополнительного сигнала интервал сокращается только на 3 сек., а при установке третьего сигнала — на 1,5 сек., что не оказывает существенного влияния на повышение пропускной способности и вместе с тем усложняет условия эксплуатации.

На станциях с большим объёмом посадочно-высадочных операций для уменьшения влияния продолжительности стоянки поезда на пропускную способность диаметра может быть осуществлена укладка дополнительного пути.

При укладке одного дополнительного пути на станциях с большим пассажирооборотом расчётный интервал между поездами ( $I_{min}^{ст}$ ) сокращается, так как вместо  $t_{ст} = 20$  сек. может быть принято  $t_{ст} = 10 \div 12$  сек., что позволяет повысить пропускную способность диаметра на 3—4 пары поездов в час.

Однако устройство трёхпутной станции в условиях подземного трассирования связано с большими капитальными затратами

по уширению станционного тоннеля, укладке путей и платформ. Поэтому целесообразность указанного мероприятия должна устанавливаться в каждом конкретном случае на основе детальных технико-экономических расчётов.

### 5. УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДИАМЕТРА ЭЛЕМЕНТОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОТЫ СТАНЦИЙ

Пропускная способность железнодорожного диаметра может ограничиваться не только элементами, связанными с движением поездов по перегонам, но и организацией работы станций, т. е. оборотными устройствами, шириной и числом платформ, числом и скоростью движения эскалаторов на станциях и др.

Поэтому развитие пропускной способности железнодорожного диаметра должно производиться комплексно, и одной из основных задач является исключение диспропорции в развитии пропускной способности диаметра по условиям движения поездов и организации работы станций.

#### А. Влияние на пропускную способность оборотных устройств зонных и конечных станций железнодорожного диаметра

Минимальный расчётный интервал между поездами, определяемый по формулам (34) или (36), предусматривает движение на диаметре с остановкой каждого поезда на промежуточных станциях для посадки и высадки пассажиров.

На зонных (промежуточных) и конечных станциях диаметра (станциях примыкания) для поездов, заканчивающих движение после пропуска по диаметру, кроме необходимого времени на посадочно-высадочные операции, должна учитываться также дополнительная затрата времени на маневровые передвижения, связанные с переменной направления движения.

В соответствии с этим устанавливается влияние на пропускную способность железнодорожного диаметра оборота составов, заканчивающих движение на зонных и конечных станциях железнодорожного диаметра.

При этом необходимо учитывать, что организация маятникового движения позволяет в известной степени разгрузить оборотные станции диаметра от части составов.

Затрата времени на оборот подвижного состава определяется путевым развитием станции и принятым способом обслуживания поездов бригадами.

Полная затрата времени, связанная с оборотом моторвагонного подвижного состава на зонных и конечных станциях, определяющая возможный интервал между составами, устанавливается следующим образом.

#### 1. При обслуживании поездов прикреплёнными поездными бригадами

Полная затрата времени в этом случае составляет:

$$T_{\min}^{\text{об}} = t_{\text{ст}}^{\text{выс}} + 2t_{\text{мн}} + t_0 + t_{\text{ст}}^{\text{пос}} + t_{\text{пм}}, \quad (58)$$

где  $T_{\min}^{\text{об}}$  — полная затрата времени на оборот подвижного состава на станции;

$t_{\text{ст}}^{\text{выс}}$  — продолжительность стоянки прибывшего состава у платформы для высадки пассажиров;

$t_{\text{мн}}$  — время на маневровый полурейс, выполняемый для перемены направления поезда;

$t_0$  — время на переход поездной бригады к другому концу состава (эта операция может выполняться параллельно с посадкой и высадкой пассажиров);

$t_{\text{ст}}^{\text{пос}}$  — продолжительность стоянки состава для посадки пассажиров;

$t_{\text{пм}}$  — время на переделку маршрута и освоение машинистом сигнала.

Продолжительность стоянки поезда у платформы принимается в зависимости от объёма посадочно-высадочных операций на зонных и конечных станциях диаметра.

Время стоянки состава на отстойном пути или в тупике в связи с переменной направления движения ( $t_0$ ) при обслуживании поездов прикреплёнными поездными бригадами складывается из следующих элементов:

а) снятие рукояток управления и перекрытие кранов кратной тяги (8 сек.);

б) выход из кабины управления и закрытие за собой дверей (7 сек.);

в) проход бригады по платформе к другому концу состава.

Время прохода бригады по платформе устанавливается в зависимости от скорости передвижения пешехода, обычно принимаемой равной 5 км/час (1,4 м/сек), и длины поезда. Так, при длине поезда  $l_n = 200$  м затрата времени составляет:

$$t_{\text{пр}} = \frac{l_n}{v_{\text{пеш}}} = \frac{200}{1,4} \approx 143 \text{ сек.};$$

г) открытие дверей, вход в кабину, включение рукояток управления и перекрытие кранов кратной тяги (5 сек.).

Таким образом, время стоянки поезда на отстойном пути или в тупике в связи с переменной направления движения ( $t_0$ ) при обслуживании поездов прикреплёнными бригадами для восьмивагонных поездов составляет 163 сек.

Время на переделку маршрута ( $t_{\text{пм}}$ ) составляет примерно 10 сек.

Затрата времени на маневровые передвижения в связи с переменной направления движения поезда определяется в каждом от-

дельном случае в зависимости от развития оборотных устройств на станциях оборота составов.

В общем виде затрата времени на один маневровый полурейс может быть определена по следующей формуле:

$$t_{mn} = t_0 + t_p + t_x + t_s, \quad (59)$$

где  $t_0$  — время на восприятие сигнала, оттормаживание и приведение маневрового состава в движение;

$t_p$  — время на разгон до установившейся скорости маневровых передвижений;

$t_x$  — время движения с установившейся скоростью;

$t_s$  — время замедления, считая от установившейся скорости маневровых передвижений до остановки.

Скорость маневровых передвижений при проходе по стрелкам на боковой путь от стационарной платформы в тупики принимается не более 25 км/час.

Каждый из указанных элементов может быть определён по известным формулам:

$$t_p = \frac{v_x}{a},$$

и путь, проходимый за это время,

$$l_p = \frac{v_x^2}{2a}.$$

Аналогично

$$t_s = \frac{v_m}{b},$$

и путь, проходимый за это время,

$$l_s = \frac{v_m^2}{2b}.$$

Тогда путь, проходимый с установившейся скоростью, и соответствующее ему время маневровых передвижений определяются по следующим формулам:

$$l_x = l_{mn} - (l_p + l_s)$$

и

$$t_x = \frac{l_x}{v_x},$$

где  $l_{mn}$  — длина маневрового полурейса, определяемая расстоянием от предельного столбика до острья стрелки и длиной состава поезда, принятого к обращению на железнодорожном диаметре.

Учитывая, что выполнение каждого маневрового полурейса сопряжено с передвижением состава поезда на собственную дли-

ну  $l_n$  и зная расстояние  $l_c$  от предельного столбика до острья стрелки, можно определить время, затрачиваемое на один полурейс  $l_{mn} = l_n + l_c$ , по следующей формуле:

$$t_{mn} = t_0 + \frac{v_x}{a} + t_x + \frac{v_m}{b}.$$

Так как

$$l_p = \frac{v_x^2}{2a} \quad \text{и} \quad l_s = \frac{v_m^2}{2b},$$

имеем

$$v_p = \sqrt{2al_p} \quad \text{и} \quad v_m = \sqrt{2bl_s}$$

или

$$t_{mn} = t_0 + \sqrt{\frac{2l_p}{a}} + t_x + \sqrt{\frac{2l_s}{b}}. \quad (60)$$

## 2. При обслуживании поездов сменными или спаренными бригадами

При обслуживании поездов сменными или спаренными бригадами полная затрата времени на оборот состава уменьшается на величину  $t_0$ , т. е. на время, связанное с переходом бригады к другому концу состава.

В соответствии с указанным затрата времени на оборот состава может быть определена по формуле

$$T_{\min}^{ob} = t_{cm}^{вс} + 2t_{mn} + t_{cm}^{noc} + t_{nm}. \quad (61)$$

Пропускная способность железнодорожного диаметра по оборотным устройствам на конечных и зонных станциях может быть определена по следующей формуле:

$$N_{\max}^{чac} = \frac{3600}{T_{\min}^{ob}}, \quad (62)$$

где  $T_{\min}^{ob}$  — интервал между поездами по оборотным устройствам в секундах.

Так, например, если принять  $T_{\min}^{ob}$  для условий обслуживания сменными или спаренными бригадами, то получим

$$N_{\max}^{чac} = \frac{3600}{t_{cm}^{вс} + 2 \left( t_0 + \sqrt{\frac{2l_p}{a}} + t_x + \sqrt{\frac{2l_s}{b}} \right) + t_{cm}^{noc} + t_{nm}}. \quad (63)$$

Минимальный интервал между поездами по условиям работы зонных и конечных станций, а следовательно, и влияние их на пропускную способность железнодорожного диаметра будут опре-

делиться развитием оборотных устройств на зонных и конечных станциях диаметра.

Оборот моторвагонных составов при наличии соответствующих съездов, расположенных перед платформой, производится с использованием перронных путей в качестве оборотных, причём по схеме, приведённой на фиг. 15, а, каждый путь станции оборота является специализированным по направлениям движения, а по схеме, приведённой на фиг. 15, б, каждый путь используется в качестве приёмо-отправочного. Указанные схемы станций оборота составов исключают необходимость маневровых передвижений и поэтому обладают сравнительно высокой пропускной способностью, определяемой по формуле

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{t_{np} + t_{cm} + t_0 + t_{om}}, \quad (64)$$

где  $t_{np}$  и  $t_{om}$  — время на приём и отправление поезда;  
 $t_{cm}$  — время стоянки поезда у платформы для посадки и высадки пассажиров.

На станциях, оборудованных двумя съездами перед платформой и одним средним тупиком (см. фиг. 15, б), интервал между оборачиваемыми составами, принимаемыми на средний тупик, может быть определён следующим образом:

1) при обслуживании поездов прикрепленными поездными бригадами

$$T_{\min}^{\text{об}} = t_{np} + t_0 + t_{om}. \quad (65)$$

Продолжительность стоянки поезда под посадочно-высадочными операциями  $t_{cm}$  при обслуживании поездов прикрепленными поездными бригадами не учитывается отдельно, так как в этом случае время на перемену поездом направления движения

$$t_0 > t_{cm}.$$

В соответствии с этим часовая пропускная способность станции по оборотным устройствам составляет

$$N_{\max}^{\text{об}} = \frac{3600}{T_{\min}^{\text{об}}} = \frac{3600}{t_{np} + t_0 + t_{om}}; \quad (66)$$

2) при обслуживании сменными бригадами

$$T_{\min}^{\text{об}} = t_{cm}^{\text{выс}} + t_{cm}^{\text{noc}} + t_{nm}$$

и пропускная способность соответственно будет

$$N_{\max}^{\text{об}} = \frac{3600}{t_{cm}^{\text{выс}} + t_{cm}^{\text{noc}} + t_{nm}}.$$

Однако вследствие пересечений приёмо-отправочных маршрутов на съездах применение такого типа станций оборота составов (см. фиг. 15, б) на подземном железнодорожном диаметре исключается.

На конечных станциях диаметра (станциях примыкания) с оборотом части составов может получить применение схема с укладкой одного тупика, показанная на фиг. 15, в.

Возможный интервал между оборачиваемыми составами в этом случае определяется при наличии прикрепленных поездных бригад по формуле (58), а при обслуживании поездов сменными бригадами — по формуле (61). Расчётная пропускная способность станции по оборотным устройствам определяется по формуле (62).

При недостаточной пропускной способности зонной или конечной станции диаметра (станции примыкания) по оборотным устройствам либо для повышения маневренности станции, учитывая возможный отстой отдельных составов, выкидки больших вагонов и др., целесообразно предусматривать укладку двух тупиков (фиг. 15, з).

В связи с параллельностью операций на тупиках возможный интервал между оборачиваемыми составами независимо от способа обслуживания их (прикрепленного или сменного) определяется по формуле (65).

Пропускная способность станции при двух тупиковых путях определяется по формуле

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{\frac{T_{\min}^{\text{об}}}{2}} = \frac{2 \cdot 3600}{T_{\min}^{\text{об}}}. \quad (67)$$

В соответствии с изложенным в табл. 19 приводятся данные расчёта пропускной способности зонных и конечных станций диаметра по оборотным устройствам. Основные данные, принятые для расчёта: длина поезда  $l_n = 200$  м, скорость маневровых передвижений при движении по стрелочным переводам на боковые пути  $v_{mn} = 25$  км/час, или 6,9 м/сек, продолжительность стоянки состава под посадкой и высадкой  $t_{cm}^{\text{noc}} = t_{cm}^{\text{выс}} = 20$  сек.

Анализ приведённых выше расчётных данных пропускной способности зонных и конечных станций по оборотным устройствам показывает, что при одном оборотном тупике и обслуживании поездов прикрепленными поездными бригадами пропускная способность составляет 12 пар поездов в час; переход к сменным бригадам повышает пропускную способность станции по оборотным устройствам до 27 пар, т. е. больше чем в два раза.

Устройство на станции двух оборотных тупиков позволяет повысить пропускную способность диаметра по оборотным устройствам до 54 пар, причём возможность реализации такой пропускной способности должна быть проверена графическим расчётом пропускной способности входной горловины.

Для станций, где кроме оборота поездов, заканчивающих своё движение, будет отстой составов в часы неинтенсивного движения, может быть применён вариант с двумя оборотными тупиками.

Таблица 19

Схема оборотных устройств	Расчётные величины в секундах						Расчётная формула	Расчётный интервал в секундах	Пропускная способность в парах поездов в час
	$t_{пр}$	$t_{ом}$	$t_o$	$t_{см}$	$t_{мп}$	$t_{пм}$			
Съезды перед платформой: при обслуживании прикреплёнными бригадами . . . . .	81,0	58,0	163	—	—	—	$T_{об}^{расч} = t_{пр} + t_o + t_{ом}$	302	12
	81,0	58,0	—	40	—	—	$T_{об}^{мин} = t_{пр} + t_{см} + t_{ом}$	179	18
Один оборотный тупик перед платформой:  при обслуживании прикреплёнными бригадами . . . . .	—	—	163	40	83	10	$T_{об}^{расч} = t_{см} + t_o + t_{пос} + t_{пм}$ $T_{об}^{мин} = t_{см} + 2t_{мп} + t_o + t_{пос} + t_{пм}$	296	12
	—	—	—	40	83	10	$T_{об}^{расч} = t_{см} + t_{выс} + t_{пос} + t_{пм}$ $T_{об}^{мин} = t_{см} + 2t_{мп} + t_{выс} + t_{пос} + t_{пм}$	133	27
Два оборотных тупика перед платформой	—	—	—	40	83	10	$T_{об}^{расч} = t_{см} + 2t_{мп} + t_{пос} + t_{пм}$	67	54

### Б. Влияние на пропускную способность ширины и числа платформ

Расположение и размеры платформ на тоннельных станциях определяются пассажирооборотом станции, интервалами между поездами и скоростью подъёма пассажиров на эскалаторах.

Для тоннельных станций железнодорожного диаметра основным типом являются высокие платформы с возвышением над уровнем головки рельса на 1,10—1,20 м.

Ширина платформы зависит от состава поезда (числа вагонов), количества дверей в каждом вагоне, населённости вагона, пассажирооборота станции, времени, необходимого для посадки и высадки пассажиров, скорости передвижения пассажиров по платформе, интервала между поездами и скорости движения эскалатора. Определение потребной ширины платформы может быть произведено следующим образом.

Потребное время освобождения платформы от пассажиров составляет

$$t = \frac{\alpha A_n}{b \left( \frac{l}{v_{пеш}} + \frac{v_{пеш}}{2a_1} \right)} \text{ мин.}, \quad (68)$$

где  $t$  — нормируемое время для освобождения платформы в минутах;

$b$  — ширина платформы в м;

$r_1$  — площадь, приходящаяся на одного пассажира, в м<sup>2</sup>;

$\frac{b}{r_1}$  — число рядов пассажиров, помещающихся на платформе;

$l$  — ширина шага пассажира, равная 0,75 м;

$v_{пеш}$  — скорость передвижения пассажира по платформе — 3,6 км/час, или 1,0 м/сек;

$a_1$  — допускаемое ускорение для человека ( $a_1 = 0,3$  м/сек<sup>2</sup>);

$\alpha$  — количество высаживающихся пассажиров в %;

$A_n$  — населённость поезда.

Величина  $\frac{l}{v_{пеш}} + \frac{v_{пеш}}{2a_1}$  определяет интервал времени между пассажирами одной ленты движения. Интервал между пассажирами одной ленты движения для указанных выше условий составляет

$$\frac{l}{v_{пеш}} + \frac{v_{пеш}}{2a_1} = \frac{0,75}{1,0} + \frac{1,0}{2 \cdot 0,3} = 0,75 + 1,66 = 2,41 \text{ сек.}$$

Следовательно, в одну минуту в данном сечении пройдёт  $\frac{60}{2,41} \approx 24$  пассажира, а при числе рядов  $\frac{b}{r_1}$  пройдёт количество

пассажиров, равное  $24 \frac{b}{r_1}$ . Так, например, при ширине платформы 6 м и  $r_1 = 0,6$  м<sup>2</sup> число рядов составит 10, т. е. в одну линию в данном сечении пройдёт 240 пассажиров.

Если принять  $\alpha A_n = 0,5 \cdot 1600 = 800$  пассажиров, то можно, пользуясь приведёнными расчётами, установить, что полное освобождение платформы наступит по истечении  $\frac{800}{240} \approx 3,3$  мин.

При уменьшении скорости передвижения пассажира снижается пропускная способность платформы.

В соответствии с величиной  $t$  можно определить искомую ширину платформы, т. е.

$$b = \frac{\alpha A_n r_1 \left( \frac{l}{v_{new}} + \frac{v_{new}}{2a_1} \right)}{60t} \text{ м} \quad (69)$$

Так, например, если принять  $\alpha A_n = 0,5 \cdot 1600 = 800$  чел.,  $r_1 = 0,6 \text{ м}^2$ ,  $l = 0,75 \text{ м}$ ,  $v_{new} = 1,0 \text{ м/сек}$ ,  $a_1 = 0,3 \text{ м/сек}^2$  и  $t = 3$  мин., учитывая, что при  $I_{min}^{cm} = 90$  сек. за 3 мин. прибывает 4 поезда обоих направлений, то получим

$$b = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 800 \cdot 0,6 \left( \frac{0,75}{1,0} + \frac{1,0}{2 \cdot 0,3} \right)}{60 \cdot 3} \approx 19,4 \text{ м},$$

где коэффициент 1,5 учитывает одновременный подход поездов разных направлений.

Таким образом, одна центральная платформа шириной 20 м удовлетворяет требованиям весьма интенсивного пассажирооборота на промежуточных станциях диаметра.

Считая, что на высадку пассажира затрачивается 1 сек. и, следовательно, из одного вагона с тремя дверями высаживается в 1 сек. 3 пассажира, получим, что при стоянке поезда 20 сек. обеспечивается высадка  $\frac{3 \cdot 20}{200} \approx 0,3$  населённости поезда.

Наибольшая ширина платформы принимается на конечных станциях массовой посадки и высадки пассажиров.

Пользуясь изложенным выше методом, представляется возможным определить необходимую ширину и расположение платформ, обеспечивающих пропуск максимального расчётного пассажиропотока железнодорожного диаметра.

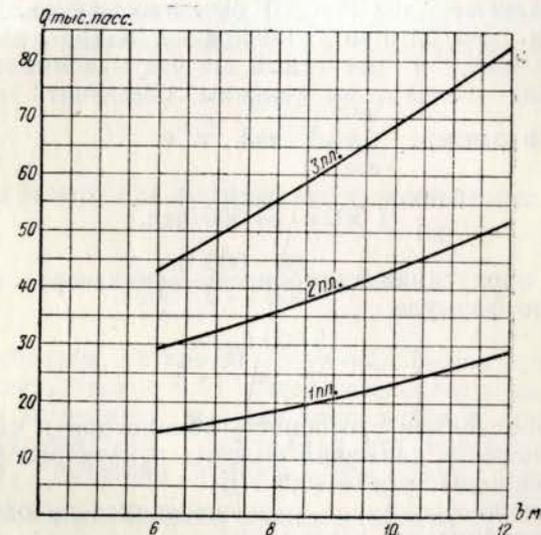
При этом необходимо учитывать, что на ширину платформы оказывает также значительное влияние расположение выходов с платформ.

Учитывая, что на платформах станций железнодорожного диаметра будет накапливаться значительная часть пассажиров в ожидании поездов соответствующих направлений и зон и при высадке у выходов с платформ по условиям работы эскалаторов может иметь место накопление пассажиров, необходимо производить также проверку наибольшей вместимости платформ.

Для указанной проверки можно пользоваться формулой

$$Q_{пл} = \frac{bL}{r}, \quad (70)$$

где  $Q_{пл}$  — наибольшая вместимость платформы;  
 $b$  — расчётная ширина платформы в м;  
 $L$  — расчётная длина платформы в м;  
 $r$  — площадь, приходящаяся на одного пассажира; принимается по нормам метрополитена  $0,75 \text{ м}^2$  на одного человека.



Фиг. 40. График пропускной способности станции диаметра в зависимости от ширины и числа платформ

Принимая, например, ширину платформы  $b = 10$  м и длину её  $L = 200$  м, получим

$$Q_{пл} = \frac{10 \cdot 200}{0,75} = 2666 \text{ чел.}$$

Пропускная способность станции по числу и ширине платформ для условий обращения на диаметре восьмивагонных составов поездов при длине вагона 23,6 м (по сцепным приборам) и  $\alpha_{вос}^{выс} = 50\%$  показана на фиг. 40.

### В. Влияние на пропускную способность числа и скорости движения эскалаторов

При глубине заложения станций 10 м и больше от поверхности улиц для спуска пассажиров на платформы предусматри-

вается устройство эскалаторов, общая пропускная способность которых должна обеспечивать расчётный пассажиропоток.

Естественно, что расчётный пассажиропоток станции будет тем больше, чем больше расстояние между станциями, чем больше частота движения поездов в интенсивный час и чем оживлённее движение в районе города, обслуживаемом данной станцией.

Если принять, например, расчётный интервал между поездами 90 сек., то при населённости восьмивагонного поезда 1 600 чел. и коэффициенте пассажирооборота для данной станции  $\alpha = 0,5$   $A_n$  необходимо обеспечить подъём на эскалаторах в течение тех же 90 сек. пассажиров, высаживающихся с двух поездов противоположных направлений, в количестве 1 600 чел., в расчётный же час максимальных размеров движения эскалаторы должны обеспечить пропускную

способность в размере  $\frac{T}{I_{\min}^{ст}} A_n$  чел., т. е.

$$\frac{3600}{90} 1600 = 64\,000 \text{ чел.}$$

Часовая пропускная способность эскалатора может быть определена по формуле

$$P_{\text{час}}^{\text{эск}} = \frac{3600 v_{\text{эск}} n}{e}, \quad (71)$$

где  $P_{\text{час}}^{\text{эск}}$  — пропускная способность эскалатора в час;  
 $v_{\text{эск}}$  — скорость движения полотна эскалатора (0,75 м/сек);  
 $e$  — ширина ступени (0,4 м);  
 $n$  — число пассажиров, размещающихся на одной ступени (принимается равным 2).

Тогда часовая пропускная способность одного эскалатора составит

$$P_{\text{час}}^{\text{эск}} = \frac{3600 \cdot 0,75 \cdot 2}{0,4} = 13\,500 \text{ чел.,}$$

или в 1 мин.

$$\frac{13\,500}{60} = 225 \text{ чел.}$$

Потребное число эскалаторов может быть определено по следующей формуле:

$$k = \frac{2\alpha A_n \cdot 3600}{P_{\text{час}}^{\text{эск}} I_{\min}^{ст}}, \quad (72)$$

где  $k$  — потребное число эскалаторов для подъёма пассажиров;  
 $\alpha$  — коэффициент пассажирооборота для данной станции;  
 $A_n$  — населённость поезда в интенсивный час;  
 $P_{\text{час}}^{\text{эск}}$  — часовая пропускная способность одного эскалатора;

$I_{\min}^{ст}$  — минимальный расчётный интервал между поездами в секундах.

Так, например, если принять  $\alpha = 0,5$ ,  $A_n = 1\,600$  чел.,  $I_{\min}^{ст} = 90$  сек. и  $P_{\text{час}}^{\text{эск}} = 13\,500$  чел., то

$$k = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 1\,600 \cdot 3\,600}{13\,500 \cdot 90} = \frac{64\,000}{13\,500} \approx 5 \text{ эскалаторов.}$$

Если же число эскалаторов известно ( $k$ ), то, пользуясь формулой (72), можно определить, какую часть населённости поездов ( $\alpha$ ) обслужит указанное число эскалаторов, т. е.

$$\alpha = \frac{k P_{\text{час}}^{\text{эск}} I_{\min}^{ст}}{3600 \cdot 2 A_n}. \quad (73)$$

Так, например, при наличии двух эскалаторов для подъёма получим

$$\alpha = \frac{2 \cdot 13\,500 \cdot 90}{3600 \cdot 2 \cdot 1\,600} = 0,21.$$

Таким образом, установка двух подъёмных эскалаторов позволит поднять только 0,21 общей населённости поезда, что может крайне затруднить высадку пассажиров в пиковые часы.

При двухминутных интервалах это положение несколько улучшается, позволяя поднять при двух эскалаторах до  $0,21 \frac{2}{1,5} \approx 0,3$  населённости каждого поезда.

Произведённые расчёты показывают, что пропускная способность эскалатора в 1 мин. составляет

$$P_{\text{мин}}^{\text{эск}} = \frac{13\,500}{60} = 225 \text{ чел.}$$

Однако эта пропускная способность теоретическая, так как фактически реализуется меньшая пропускная способность вследствие того, что не на каждую ступень становится два человека и, кроме того, часть ступеней эскалатора пропускается без нагрузки.

Следует также учитывать, что для обеспечения бесперебойной работы станций железнодорожного диаметра необходимо создание резерва на эскалаторных установках, который примерно определяется в 20% общей пропускной способности.

Кроме того, при оборудовании станции двумя подъёмными эскалаторами должен быть установлен один эскалатор для спуска. В случае необходимости этот эскалатор может также работать для подъёма пассажиров с переменной направления движения.

В соответствии с изложенным практически потребное число эскалаторов для подъёма пассажиров может определяться по следующей формуле:

$$\kappa = \frac{2\alpha A_n \cdot 3600}{\gamma\beta P_{\text{час}}^{\text{эск}} I_{\text{min}}}, \quad (74)$$

где  $\gamma$  — коэффициент расчётного использования эскалаторов с учётом резерва;

$\beta$  — коэффициент реальной загрузки эскалатора, учитывающий неполное использование ступеней.

Как видно из формулы (74), для сокращения числа эскалаторов необходимо в первую очередь стремиться к улучшению использования эскалаторов (повышение коэффициентов  $\gamma$  и  $\beta$ ), а также к возможному увеличению скорости движения эскалатора  $v_{\text{эск}}$ .

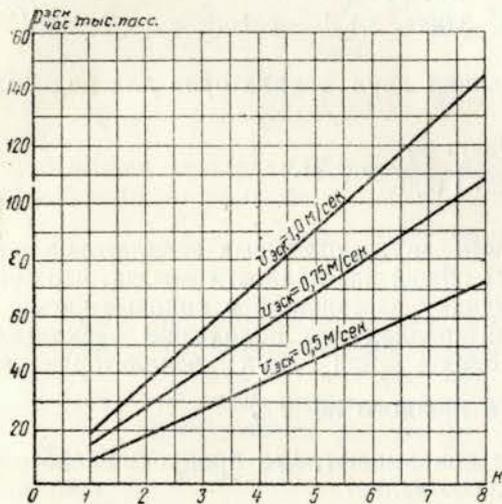
Так, например, увеличение скорости движения эскалатора до  $1,0 \text{ м/сек}$  позволяет повысить пропускную способность одного эскалатора до 18 800 чел. в час.

Если принять, что провозная способность диаметра в час в одном направлении при восьми вагонных составах в поезде и частоте движения 40 пар составит

$$8 \cdot 200 \cdot 40 = 64\,000 \text{ пассажиров}$$

и исходить из того, что в часы максимального движения на наиболее загруженных станциях будет высаживаться 30% пассажиров, т. е.  $64\,000 \cdot 0,3 = 19,2$  тыс., или 38,4 тыс. пассажиров в обоих направлениях, то получим, что требуется устройство трёх подъёмных эскалаторов, общая пропускная способность которых составит  $0,8 \cdot 18\,800 \cdot 3 = 45,1$  тыс. пассажиров.

Практически при скорости движения эскалатора  $0,75 \text{ м/сек}$ , что определяет его пропускную способность 13 500 чел. в час, требуется устройство четырёх подъёмных эскалаторов (по два с каждой стороны платформы) с общей пропускной способностью  $0,8 \cdot 13\,500 \cdot 4 = 43,2$  тыс. пассажиров.



Фиг. 41. График пропускной способности станции диаметра в зависимости от числа и скорости движения эскалаторов

Изменение пропускной способности станции в зависимости от числа и скорости движения эскалаторов графически показано на фиг. 41.

Как видно из приведённого графика пропускной способности станции в зависимости от числа эскалаторов и скорости их движения, увеличение числа эскалаторов с двух до четырёх при скорости движения  $0,75 \text{ м/сек}$  повышает пропускную способность станции примерно в два раза.

Повышение скорости движения эскалатора с  $0,75$  до  $1,0 \text{ м/сек}$  увеличивает пропускную способность станции при четырёх эскалаторах с 54 до 72 тыс. пассажиров в час, т. е. на 32,2%.

Необходимое количество платформ и эскалаторов устанавливается на основании планируемых размеров пропускной способности линий железнодорожного диаметра и пассажирооборота каждой станции диаметра.

## 6. ПРОПУСКНАЯ И ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИАМЕТРОВ

Произведённое исследование влияния основных факторов на изменение расчётного интервала между поездами, а следовательно, и на пропускную способность диаметра позволяет оценить удельный вес каждого фактора в отдельности и вместе с тем отыскать наиболее рациональное комплексное решение, обеспечивающее достижение необходимой пропускной и провозной способности железнодорожного диаметра.

Исходя из потребной пропускной и провозной способности диаметра представляется возможным определить эксплуатационные требования к сооружению железнодорожных диаметров и выбору параметров моторвагонного подвижного состава, предназначенного для смешанной работы на подземных линиях железных дорог и наземных пригородных участках.

### А. Пропускная способность железнодорожных диаметров

Результаты исследования влияния основных факторов на величину расчётного интервала, а следовательно, и пропускную способность железнодорожного диаметра при точечной авторегулировке приведены в табл. 20.

Анализ рассмотренных выше факторов и степени их влияния на пропускную способность железнодорожного диаметра показывает, что наибольший удельный вес имеют продолжительность стоянки поездов на станциях, длина перегона, определяющая возможные максимальные ходовые и технические скорости движения поездов, и длина состава моторвагонных поездов.

Весьма существенное влияние на пропускную способность диаметра оказывают также величины пускового ускорения и уклонов продольного профиля трассы диаметра.

Таблица 20

Основные факторы, влияющие на пропускную способность диаметра	Рассматриваемые границы изменения	Расчётный интервал в секундах	Расчётная пропускная способность в парах поездов	Изменение интервала $t_{\min}$ в секундах	Изменение пропускной способности железнодорожного диаметра	
					в парах поездов	в %
Пусковое ускорение $a$ . . . . .	0,4—1,0 м/сек <sup>2</sup>	$\frac{113-123}{96-111}$	$\frac{29,3-32,0}{32,4-37,5}$	10—15	3—5	10—13
Тормозное замедление $b$ . . . . .	0,8—1,0 м/сек <sup>2</sup>	$\frac{113-114}{96-99}$	$\frac{31,8-32,0}{36,4-37,5}$	1—3	1	1—3
Максимальная $v_{\max}$ и ходовая $v_x$ скорости движения . . . . .	40—75 км/час	127,3—94,5	28,3—37,2	33,0	9	31,4
Длина перегона $l$	800—3000 м	$\frac{116-127}{101-114}$	$\frac{28,0-31,0}{31,0-36,0}$	11—13	3—5	11—1
Уклоны продольного профиля $i$	5—40‰	93,7—103,4	34,8—38,4	10	3	10
Длина состава моторвагонных поездов $l_n$ . . . . .	114—288 м	$\frac{100,0-125,1}{87,8-104,2}$	$\frac{35,8-28,8}{41,9-34,5}$	16—25	6—7	15—17
Продолжительность стоянки поездов $t_{ст}$ . . . . .	5—30 сек.	$\frac{98,0-123,0}{84,8-109,8}$	$\frac{37,0-29,2}{42,3-32,7}$	25	8—9	27—29

Примечание. В числителе — данные при  $v_x = 50$  км/час, в знаменателе — при  $v_x = 75$  км/час.

Анализ данных табл. 20 показывает, что при оборудовании железнодорожного диаметра автоблокировкой с автостопами точечного действия и разграничении поездов по условиям работы станций интервалом

$$t_{\min}^{ст} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_{\theta} + t_m^{\partial} + \tau_3 + \tau_p + t_{ст}$$

пропускная способность лежит в пределах 30—34 пар поездов в час.

За счёт увеличения длины перегонов до 3000 м и реализации ходовой скорости  $v_x = 75$  км/час пропускная способность диаметра может быть повышена до 36 пар поездов в час.

Однако для условий подземного железнодорожного диаметра такое увеличение длины перегонов является малопримемым с точки зрения удобства обслуживания пассажиров.

Следует также учитывать, что полученные интервалы между поездами являются теоретическими, так как они не учитывают необходимого резерва на возможные отклонения от расписания впереди идущего поезда.

При отсутствии резерва порядка 5—7 сек. опоздание впереди идущего поезда может вызвать нарушение движения целой ленты поездов, что будет создавать крайне неблагоприятные условия для выполнения графика движения поездов на железнодорожном диаметре.

Если ещё учесть, что для бесперебойной работы диаметра необходимо предусмотреть резерв в пропускной способности порядка 10%, то станет ясным, что достигнутая пропускная способность диаметра при точечной авторегулировке является относительно невысокой.

Наиболее эффективным способом повышения пропускной способности железнодорожного диаметра является оборудование его непрерывной авторегулировкой.

В этом случае минимальный интервал между поездами по условиям работы станций может быть определён по формуле (36).

Расчётные данные пропускной способности диаметра, оборудованного непрерывными автостопами, при обращении 6-, 8-, 9-, 10- и 12-вагонных составов и длинах вагона 19,3; 22 и 23,6 м приведены в табл. 21.

Анализ сравнительных данных пропускной способности при разных системах устройств СЦБ на линиях железнодорожного диаметра показывает, что оборудование диаметра непрерывной авторегулировкой позволяет повысить пропускную способность диаметра в час в среднем на 8—10 пар поездов с соответствующим повышением суточной провозной способности на 80—100 тыс. пассажиров.

Так, например, при длине вагона 23,6 м, восьмивагонных составах и среднеходовой скорости  $v_x = 50$  км/час оборудование линий диаметра непрерывными устройствами СЦБ позволяет повысить пропускную способность с 32 до 41 пары поездов в час, что повышает суточную провозную способность диаметра с 394 до 505 тыс. пассажиров, т. е. на 26,3%.

Дальнейшее увеличение пропускной способности железнодорожного диаметра при непрерывной авторегулировке может быть достигнуто путём установки постоянных сигналов продвижения на станциях диаметра.

Таблица 21

Длина вагона $l_d$ в м	Расчётный состав и длина поезда		Расчётная длина тормозно- го пути $l_{тп}$ м	$\frac{2l_n + l_m^k + (a_1 + a_2)}{v_x}$ сек.		$t_d + t_m + t_{cm}$ сек.	$\tau_p + \tau_3$ сек.		$I_{min}^{cm}$ сек.		$N_{max}$ пар поездов	
	$m$ вагонов	$l_n$ м		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час
19,3	6	116	250	36,1	24,1	27	14	20,8	77,1	71,9	46,6	50,0
	8	154	250	41,6	27,8	27	14	20,8	82,6	75,6	43,5	47,6
	9	174	250	44,4	29,8	27	14	20,8	85,4	77,6	43,3	46,3
	10	193	250	47,0	31,3	27	14	20,8	88,0	79,1	40,9	45,5
	12	232	250	52,8	35,2	27	14	20,8	93,8	83,0	38,3	43,3
22	6	132	250	38,4	25,6	27	14	20,8	79,4	73,4	45,3	49,0
	8	176	250	44,8	29,8	27	14	20,8	85,8	77,6	41,8	46,4
	9	198	250	48,0	31,9	27	14	20,8	89,0	79,7	40,3	45,1
	10	220	250	51,0	34,5	27	14	20,8	92,0	82,3	39,1	43,7
	12	261	250	57,4	38,3	27	14	20,8	98,4	86,1	35,5	41,7
23,6	6	144	250	40,1	26,7	27	14	20,8	81,1	74,5	44,4	48,3
	8	192	250	46,3	30,1	27	14	20,8	87,3	77,9	41,2	47,7
	9	216	250	50,5	33,6	27	14	20,8	91,5	81,4	39,3	44,2
	10	240	250	53,9	35,9	27	14	20,8	94,9	83,7	38,0	43,0
	12	288	250	60,8	40,5	27	14	20,8	101,8	88,5	35,0	40,7

В этом случае величина расчётного интервала между поездами будет определяться по формуле

$$I_{min}^{cm} = \frac{2l_n + l_m^k + (a_1 + a_2)}{v_x} + t_d + t_m^d + \tau_3 + t_{cm} + \tau_p - \frac{l_n}{2v_x}, \quad (75)$$

т. е. фактически установка одного сигнала продвижения сокращает минимальный интервал между поездами на величину  $\frac{l_n}{2v_x}$ .

Так, например, пропускная способность железнодорожного диаметра при непрерывной авторегулировке с установкой одного сигнала продвижения на всех остановочных пунктах диаметра определится в размерах, приведённых в табл. 22.

Таблица 22

Длина вагона $l_d$ в м	Расчётный состав и дли- на поезда		Расчётная длина тормозного пути $l_{тп}$	$\frac{2l_n + l_m^k}{v_x} +$ $\frac{(a_1 + a_2)}{v_x}$ сек.		$t_d + t_m^d + t_{cm}$	$\frac{l_n}{2v_x}$ сек.	$\tau_p + \tau_3$ сек.	$I_{min}^{cm}$ сек.	$N_{max}$ пар поез- дов				
	$m$ ваго- нов	$l_n$ м		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час					$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час			
23,6	6	144	250	40,1	26,7	27	4,8	3,2	14,0	20,8	76,3	71,3	47,1	50,4
23,6	8	192	250	46,3	30,1	27	6,8	4,6	14,0	20,8	80,5	73,3	44,6	49,0
23,6	9	216	250	50,5	33,6	27	7,7	5,1	14,0	20,8	83,8	76,3	42,8	47,1
23,6	10	240	250	53,9	35,9	27	8,6	5,8	14,0	20,8	86,3	77,9	41,7	46,2
23,6	12	288	250	60,8	40,5	27	10,3	6,9	14,0	20,8	91,5	81,6	39,3	44,1

Как видно из расчётных данных, приведённых в табл. 22, установка одного сигнала продвижения на всех остановочных пунктах подземного железнодорожного диаметра повышает пропускную способность диаметра в среднем на 7—8%.

Так, например, при восьмивагонных составах поездов с длиной вагона 23,6 м и  $v_x = 50$  км/час пропускная способность диаметра при непрерывной авторегулировке составляет 41 пару поездов в час; при установке одного сигнала продвижения на станциях диаметра провозная способность увеличивается до 44 пар поездов в час, т. е. на 3 пары поездов, или на 7,3%.

Как указывалось выше, вместо непрерывной авторегулировки возможно в будущем применение подвижных блок-участков, основанных на принципе использования радиолокации и ограждения за собой движущимся поездом необходимого тормозного пути, что обеспечит достижение ещё больших значений пропускной способности подземного железнодорожного диаметра.

### Б. Провозная способность железнодорожных диаметров

Различают часовую, суточную, месячную и годовую провозную способность диаметра.

Для пригородных участков и городских средств сообщения (диаметр, метрополитен и др.) потребная пропускная и провозная способность определяется часами пик, т. е. периодами времени, имеющими максимальный пассажиропоток.

Обычно эти часы относятся к утреннему периоду с 7 до 10 час., когда пассажиры направляются к месту работы, и вечернему — с 16 до 20 час., когда пассажиры возвращаются домой.

Провозная способность диаметра в час максимального движения может быть определена по формуле

$$Q_{\max}^{\text{час}} = N_{\max}^{\text{час}} m q_0, \quad (76)$$

где  $Q_{\max}^{\text{час}}$  — провозная способность в час максимальных размеров движения;

$N_{\max}^{\text{час}}$  — пропускная способность диаметра в час максимальных размеров движения в парах поездов;

$m$  — количество вагонов в составе поезда;

$q_0$  — населённость вагона.

Суточная провозная способность диаметра может быть определена по формуле

$$Q_{\text{сут}} = \frac{1}{\psi} Q_{\max}^{\text{час}}, \quad (77)$$

где  $\psi$  — процент суточного числа пассажиров в час максимальных размеров движения.

Часовые колебания городских пассажиропотоков в утренние, дневные и вечерние часы различны. На наиболее интенсивные часы в городском движении — утром в период от 7 до 10 час. и вечером в период от 17 до 20 час. — приходится примерно 7—8% общей суточной перевозки.

В пригородном движении, кроме сезонной и месячной неравномерности, наблюдается два резко выраженных максимума движения: утренний период от 7 до 9 час., когда поток пригородных пассажиров составляет до 15% суточного потока, и вечерний, более рассредоточенный, однако достигающий 10—12% суточного потока.

Учитывая особенности железнодорожного диаметра, вытекающие из обслуживания как пригородных, так и внутригородских пассажирских перевозок, можно принять процент суточного числа пассажиров в час максимальных размеров движения на диаметре ( $\psi$ ) как средневзвешенную величину, равную

$$\psi = \alpha_1 \psi_1 + \alpha_2 \psi_2, \quad (78)$$

где  $\psi_1$  — процент пригородных пассажиров, приходящийся на максимальный час суток;

$\psi_2$  — процент городских пассажиров, приходящийся на максимальный час суток;

$\alpha_1$  — процент пригородных пассажиров, обслуживаемых диаметром;

$\alpha_2$  — процент городских пассажиров, обслуживаемых диаметром.

Если принять, что на железнодорожный диаметр отклоняется, как максимум, 70% пригородного пассажиропотока и удельный вес в работе городского пассажиропотока железнодорожного диаметра будет составлять примерно 30%, то величина  $\psi$  в данном случае составит

$$\psi = 0,7 \cdot 0,15 + 0,3 \cdot 0,08 = 0,13, \text{ т. е. } 13\%.$$

В соответствии с указанными данными в табл. 23 приведены размеры суточной провозной способности железнодорожного диаметра при оборудовании его точечными автостопами.

Таблица 23

Состав поезда в вагонах	Длина вагона $l_0$ в м	Пропускная способность диаметра в час в парах поездов		Населённость вагонов в пассажирах	Населённость поезда в пассажирах	Провозная способность диаметра в час в тыс. пассажиров		Суточная провозная способность $Q_{\text{сут}} = \frac{1}{\psi} Q_{\max}^{\text{час}}$ в тыс. пассажиров	
		при $v_x = 50 \text{ км/час}$	при $v_x = 75 \text{ км/час}$			при $v_x = 50 \text{ км/час}$	при $v_x = 75 \text{ км/час}$	при $v_x = 50 \text{ км/час}$	при $v_x = 75 \text{ км/час}$
		6	19,3			36	42	140	840
8	19,3	34	39	140	1 120	38,0	44,9	292	345
9	19,3	33	38	140	1 260	41,6	48,0	319	367
10	19,3	32	37	140	1 400	44,8	53,2	345	409
12	19,3	31	36	140	1 680	52,0	61,3	400	471
6	22	35	40	180	1 080	37,8	43,5	290	334
8	22	33	39	180	1 440	47,5	57,6	365	443
9	22	32	38	180	1 620	51,8	61,5	370	473
10	22	31	37	180	1 800	55,8	66,6	429	512
12	22	30	35	180	2 160	64,8	76,3	498	587
6	23,6	35	39	200	1 200	42,0	48,0	323	370
8	23,6	32	38	200	1 600	51,2	60,8	393	467
9	23,6	31	37	200	1 800	55,8	66,6	429	512
10	23,6	30	36	200	2 000	62,0	72,0	477	554
12	23,6	29	34	200	2 400	69,6	84,0	535	649

Анализ расчётных данных суточной провозной способности диаметра при разных длинах и составах моторвагонных поездов в границах исследуемых ходовых скоростей движения показывает, что:

1) удлинение вагона с 19,3 до 23,6 м при устройстве трёх дверей в вагоне позволяет повысить суточную провозную способность диаметра для сравниваемых вариантов составов в среднем на 100—130 тыс. пассажиров.

Так, например, удлинение вагона с 19,3 до 23,6 м при восьми-вагонных составах поездов увеличивает провозную способность с 292 до 393 тыс. пассажиров, т. е. на 100 тыс., или на 34,2%, а с 19,3 до 22 м — только на 70 тыс., или на 25%;

2) увеличение составов моторвагонных поездов с 6 до 12 вагонов повышает суточную провозную способность диаметра на 170—250 тыс. пассажиров. Так, например, увеличение состава моторвагонных поездов (при длине вагона 23,6 м) с 6 до 12 вагонов повышает суточную провозную способность диаметра с 323 до 535 тыс. пассажиров, т. е. на 65,5%;

3) повышение ходовой скорости движения с 50 до 75 км/час увеличивает провозную способность диаметра в среднем на 40—100 тыс. пассажиров.

Таким образом, при оборудовании линий подземного железнодорожного диаметра трёхзначной системой автоблокировки с точечными устройствами авторегулировки при 23,6-м вагонах, восьми-вагонных составах поездов и среднеходовой скорости движения поездов  $v_x = 50$  км/час обеспечивается суточная провозная способность диаметра примерно 400 тыс. пассажиров, а при 10—12-вагонных составах до 500 тыс. пассажиров.

Таблица 24

Состав поезда в вагонах	Длина вагона $l_v$ в м	Пропускная способность в час в парах поездов $N_{\text{час}}$ пар поездов		Населённость вагона в пассажирах	Населённость поезда в пассажирах	Провозная способность в час в тыс. пассажиров $Q_{\text{час}}$ пар поездов		Суточная провозная способность в тыс. пассажиров $Q_{\text{сут}}$	
		при $v_x = 50$ км/час	при $v_x = 75$ км/час			при $v_x = 50$ км/час	при $v_x = 75$ км/час	при $v_x = 50$ км/час	при $v_x = 75$ км/час
6	19,3	47,0	50,0	140	840	39,5	42,0	304,0	323,0
8	19,3	44,0	47,0	140	1 120	49,3	52,6	380,0	406,0
9	19,3	43,0	46,0	140	1 260	54,2	58,2	417,0	447,0
10	19,3	41,0	45,0	140	1 400	57,4	63,0	440,0	484,0
12	19,3	38,0	43,0	140	1 680	63,8	72,2	490,0	555,0
6	22	45,0	49,0	180	1 080	48,6	52,9	374,0	407,0
8	22	42,0	46,0	180	1 440	60,5	64,2	465,0	493,0
9	22	40,0	45,0	180	1 620	64,8	72,9	498,0	560,0
10	22	39,0	44,0	180	1 800	70,2	79,2	540,0	609,0
12	22	37,0	42,0	180	2 160	79,9	90,7	614,0	697,0
6	23,6	44,0	48,0	200	1 200	52,8	57,6	406,0	444,0
8	23,6	41,0	47,0	200	1 600	65,6	75,2	505,0	580,0
9	23,6	39,0	44,0	200	1 800	70,2	79,2	540,0	608,0
10	23,6	38,0	43,0	200	2 000	76,0	86,0	584,0	615,0
12	23,6	35,0	41,0	200	2 400	94,0	98,4	702,0	757,0

Суточная провозная способность железнодорожного диаметра при оборудовании его системой непрерывной авторегулировки определится в размерах, приведённых в табл. 24.

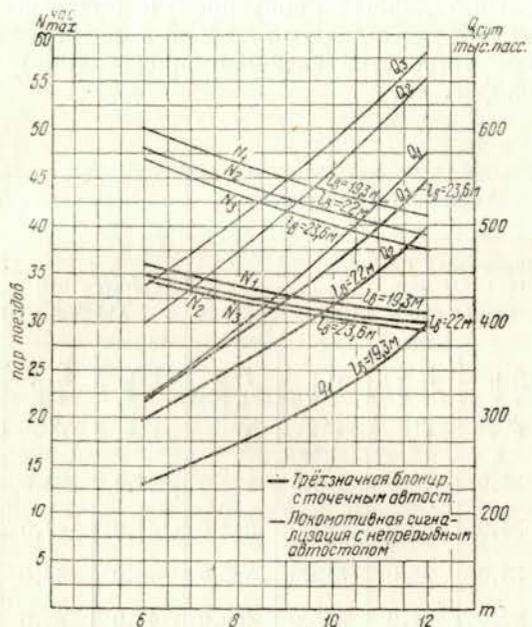
Сравнительные данные пропускной и провозной способности диаметра при оборудовании его точечной и непрерывной авторегулировкой (без устройства сигналов продвижения) приведены в табл. 25 и на фиг. 42.

Таблица 25

Состав поезда в вагонах	Длина вагона $l_v$ в м	Точечная авторегулировка				Непрерывная авторегулировка			
		Пропускная способность пар поездов $N_{\text{час}}$		Провозная способность $Q_{\text{сут}}$ в тыс. пассажиров		$N_{\text{час}}$ пар поездов		$Q_{\text{сут}}$ тыс. пассажиров	
		$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час	$v_x = 50$ км/час	$v_x = 75$ км/час
6	19,3	36,0	42,0	232,0	272,0	47,0	50,0	304,0	323,0
8	19,3	34,0	39,0	292,0	342,0	44,0	47,0	380,0	406,0
9	19,3	33,0	38,0	319,0	368,0	43,0	46,0	417,0	447,0
10	19,3	32,0	37,0	345,0	409,0	41,0	45,0	440,0	484,0
12	19,3	31,0	36,0	400,0	472,0	38,0	43,0	490,0	550,0
6	22	35,0	40,0	290,0	335,0	45,0	49,0	374,0	407,0
8	22	33,0	39,0	365,0	443,0	42,0	46,0	465,0	493,0
9	22	32,0	38,0	370,0	473,0	40,0	45,0	498,0	560,0
10	22	31,0	37,0	429,0	512,0	39,0	44,0	540,0	609,0
12	22	30,0	35,0	498,0	587,0	37,0	42,0	614,0	697,0
6	23,6	34,0	39,0	323,0	370,0	44,0	48,0	406,0	444,0
8	23,6	32,0	38,0	394,0	468,0	41,0	47,0	505,0	580,0
9	23,6	31,0	37,0	429,0	512,0	39,0	44,0	540,0	608,0
10	23,6	30,0	36,0	477,0	554,0	38,0	43,0	584,0	615,0
12	23,6	29,0	34,0	535,0	649,0	35,0	41,0	702,0	757,0

Как видно из приведённых данных, при оборудовании железнодорожного диаметра непрерывной авторегулировкой провозная

способность повышается примерно на 25% и при восьмивагонных составах и длине вагона 23,6 м суточная провозная способность диаметра составляет 580 тыс. пассажиров в одном направлении.



Фиг. 42. Сравнительный график максимальной пропускной и провозной способности железнодорожного диаметра при точечной и непрерывной авторегулировке

При установке сигналов продвижения суточная провозная способность железнодорожных диаметров может быть повышена до 650 тыс. пассажиров в одном направлении.

## Раздел V

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ СМЕШАННОЙ РАБОТЫ НА ПОДЗЕМНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ И НАЗЕМНЫХ ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЯХ

#### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выбор параметров моторвагонного подвижного состава, включающий отыскание типа вагона, схемы секции и мощности электродвигателя, может производиться исходя из следующих условий:

а) для выбранных эксплуатационных условий (ходовая скорость, время хода, потребная пропускная способность и др.), которым должен удовлетворять моторвагонный подвижной состав;

б) для оптимальных значений скоростей, составов, пропускной способности и др., которые должны быть предварительно установлены для выбора параметров моторвагонного подвижного состава.

В первом случае выбор параметров моторвагонного подвижного состава производится исходя из эксплуатационных требований, определяющих потребные ходовые скорости движения для рассматриваемых типов поездных единиц, и сводится в основном к технико-экономическому сравнению возможных вариантов составов и композиций моторвагонных поездов.

Во втором случае задача выбора параметров моторвагонного подвижного состава является более сложной, так как прежде всего необходимо отыскать оптимальные решения по условиям эксплуатационной работы и только после этого установить необходимые параметры моторвагонного подвижного состава.

В рассматриваемых условиях установление эксплуатационных требований к параметрам моторвагонного подвижного состава для смешанной работы на железнодорожных диаметрах и наземных пригородных линиях производится на базе найденных уже решений по пропускной способности, а следовательно, и потребной ходовой и технической скорости движения.

Вместе с тем при выборе типа вагона нужно учитывать, с одной стороны, условия пригородного движения, а с другой, — специфические требования подземного железнодорожного подвижного состава, приближающегося по режиму своей работы к линиям метрополитена.

Что касается выбора схемы секции и мощности тяговых электродвигателей, то для железнодорожных диаметров эти параметры устанавливаются в первую очередь под углом зрения обеспечения необходимой пропускной способности, определяющей, следовательно, и необходимые скорости движения поездов.

Произведённое в предшествующем разделе исследование пропускной способности железнодорожных диаметров выявило, что для достижения пропускной способности в 40 пар поездов в час и провозной способности порядка 500 тыс. пассажиров в сутки требуется предусмотреть: оборудование диаметра наиболее совершенными устройствами СЦБ и связи, допускающими реализацию минимально возможных расчётных интервалов между поездами; обращение на диаметре моторвагонного подвижного состава, обеспечивающего реализацию высоких значений пускового ускорения и замедления, что в свою очередь предъявляет повышенные требования к пусковой мощности двигателей и выбору тормозных средств моторвагонного подвижного состава.

Иные требования к выбору параметров моторвагонного подвижного состава предъявляют условия чисто пригородного движения.

Для указанных условий не требуется реализация таких высоких значений пропускной способности, как 40 пар поездов в час, и, кроме того, режим работы тяговых электродвигателей на пригородных линиях, имеющих большую длину перегонов, значительно меньшие величины расчётных подъёмов и в целом более лёгкий профиль, резко отличается от режима работы на железнодорожных диаметрах.

Так как на наземных пригородных линиях представляется возможным реализовать более высокие значения ходовой и технической скорости, то требуется проверка потребной мощности двигателей не только по условиям пусковой мощности, но и по условиям часового режима работы двигателей.

Решающее значение для окончательного выбора мощности электродвигателя имеют, как известно, нагревание и экономичность его работы.

Что касается условий нагревания, то режим работы на железнодорожном диаметре является наиболее трудным, особенно при маятниковом движении, так как при выходе на поверхность двигатель при высокой температуре нагрева должен обеспечить работу по часовой или длительной мощности.

Экономичность работы двигателей оценивается прежде всего расходом электроэнергии и достигаемыми эксплуатационными показателями работы подвижного состава.

Изложенное позволяет сформулировать следующие основные требования к параметрам моторвагонного подвижного состава, предназначенного для смешанной работы на железнодорожных диаметрах и наземных пригородных линиях:

1) обеспечение потребной пропускной способности на железнодорожном диаметре, определяемой, как показало исследование, величиной не ниже 40 пар поездов в час;

2) наличие высоких пусковых ускорений, необходимых на железнодорожном диаметре вследствие большой частоты остановок и коротких перегонов;

3) реализация высоких значений тормозного замедления, что позволит значительно снизить расход металла на смену тормозных колодок, уменьшить износ рельсов и подвижного состава и вместе с тем даст большую экономию электроэнергии;

4) обеспечение высоких ходовых скоростей на диаметре и особенно на наземных пригородных линиях, где условия работы позволяют достигать скоростей, близких к конструкционным;

5) достижение наименьшего расхода электроэнергии и создание в целом наиболее экономичного тягового электродвигателя;

6) конструкция вагона должна отвечать не только условиям движения моторвагонных поездов на наземных пригородных линиях, но и более трудным условиям работы на железнодорожных диаметрах, где требуется максимально сократить продолжительность стоянки поезда на остановочных пунктах и перейти на пневматическое управление дверями вагонов с блокировкой их от момента начала движения поезда до его полной остановки.

Разработка таких параметров моторвагонного подвижного состава, которые отвечали бы одновременно условиям работы на подземных железнодорожных диаметрах и наземных пригородных линиях, выдвигает вопрос о создании специального моторвагонного подвижного состава для работы в крупных столичных центрах, имеющих подземные линии, объединённые с сетью пригородных железных дорог по условиям своего габарита и режима эксплуатационной работы.

Следует отметить также, что при выборе мощности тяговых двигателей, предназначенных для условий смешанной работы, целесообразно предусматривать известный запас их мощности, так как в реальных условиях может иметь место некоторое усложнение в работе по сравнению с расчётными данными, причём, естественно, запас должен быть сравнительно небольшим, так как условия движения на железнодорожных диаметрах и пригородных линиях являются весьма стабильными и исключают резкие отклонения от нормального режима работы.

Оценка оптимальных параметров моторвагонного подвижного состава должна быть произведена на базе технико-экономических расчётов с выбором наиболее целесообразного варианта, отвечающего конкретным условиям смешанной работы.

## 2. ВЫБОР ТИПА ВАГОНА ДЛЯ УСЛОВИЙ СМЕШАННОЙ РАБОТЫ

Тип вагона для моторвагонного подвижного состава, его конструкция, габарит (длина и ширина) и планировка определяются в основном требованиями пропускной и провозной способности линии, продолжительностью стоянок поездов на промежуточных и конечных станциях пригородной линии и подземного железнодорожного диаметра, а также допускаемой нагрузкой на ось вагона.

Эти условия определяют внутреннюю планировку вагона с соответствующим распределением его площади (места для сидения и стояния, проходы, служебные помещения и др.), а также число, расположение и размеры дверей.

В настоящее время на электрифицированных участках железных дорог Союза ССР эксплуатируются 19,3-м электровагоны типа С<sup>д</sup> и С<sup>р</sup>, имеющие 108 мест для сидения и вес тары — моторного вагона 58,0 — 61,5 т и прицепного 37,5—38,5 т.

Планировка вагонов двусторонняя, поперечная. Пассажирское помещение отделяется от выходов из вагона тамбурами, которые имеют для входа и выхода пассажиров в каждой продольной стене кузова по две двустворчатые двери.

Наличие выходных дверей только по концам вагона при довольно значительной его длине замедляет посадку и высадку пассажиров из вагона и, следовательно, увеличивает стоянки поездов на станциях под посадочно-высадочными операциями.

Практика эксплуатации существующего моторвагонного подвижного состава показывает, что при наличии двух дверей продолжительность стоянок поездов для посадки и высадки пассажиров составляет 45—60 сек.

Рост пассажиропотоков на электрифицированных пригородных линиях, сокращение длины перегона за счёт увеличения числа остановочных пунктов повышают требования к пропускной способности пригородных линий, в связи с чем возникает необходимость в увеличении числа выходов из вагона для сокращения затраты времени на посадочно-высадочные операции.

В условиях работы моторвагонного подвижного состава только на подземных железнодорожных линиях (метрополитен) вагоны имеют продольную планировку и по четыре двери с каждой стороны, что обеспечивает максимальную вместимость вагона и минимальную затрату времени для посадки и высадки пассажиров.

Для подземного железнодорожного диаметра, проходящего через наиболее загруженные центральные районы города и, следовательно, совмещающего обслуживание пригородных и городских пассажиров, характерно наличие мощных двусторонних пассажиропотоков (одновременная посадка и высадка пассажиров).

Эти особенности пассажиропотока определяют необходимую планировку вагона для условий смешанной работы с тем, чтобы

в одинаковой степени удовлетворить требования пригородного и городского движения.

В связи с тем, что при смешанной работе моторвагонный подвижной состав большую часть своего пробега будет совершать в наземных условиях, продольная планировка вагона и устройство в нём четырёх дверей с каждой стороны нецелесообразны (климатические условия и др.). Устройство же в вагоне двух дверей не обеспечивает реализации потребной пропускной способности железнодорожного диаметра.

Поэтому наиболее приемлемым для смешанных условий работы является вагон пригородного типа с поперечной планировкой и устройством в нём трёх дверей с каждой стороны.

Произведённое исследование пропускной и провозной способности железнодорожного диаметра показывает, что устройство в вагоне трёх дверей позволяет сократить продолжительность стоянки поезда в среднем на 20—25 сек.

В связи с устройством третьей двери и необходимостью повышения эксплуатационной населённости вагона должно быть осуществлено удлинение пригородного вагона электрифицированных железных дорог.

В табл. 26<sup>1</sup> приведены данные, характеризующие основные

Таблица 26

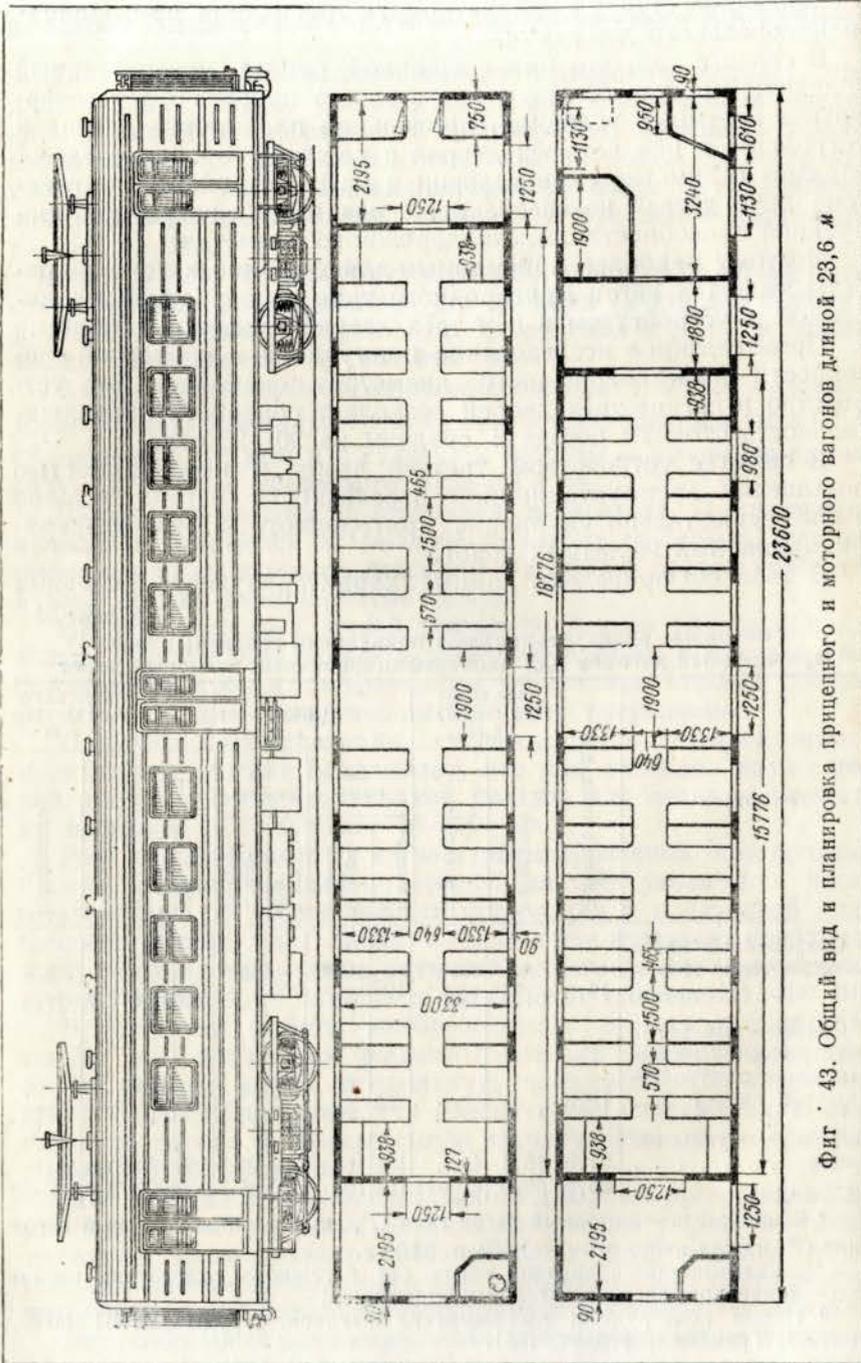
Основные эксплуатационные показатели различных типов пригородных вагонов для электрифицированных железных дорог

Тип вагона	Длина вагона в м	Вес вагона (тары) в т		Число мест						Вес вагона брутто в т	
		моторного	прицепного	для сидения		для стояния		всего		моторного	прицепного
				в моторном	в прицепном	в моторном	в прицепном	в моторном	в прицепном		
Современный вагон электрических железных дорог (две двери)	19,3	58,5* 61,5	37,5** 38,5	105	108** 86	50	52** 44	155	160** 130	69,4	48,7 47,6
Современный вагон электрических железных дорог с устройством трёх дверей	19,3	—	—	93	96 74	42	44 36	135	140 110	—	—
Вариантные типы вагонов	21,3 23,6	56,4 59,0	40,5 42—44	108 128	94 104	72 72	86 96	180 200	180 200	70,0 73,0	54,1 56—58

\* Знаменатель — моторный вагон типа С<sup>д</sup>, числитель — моторный вагон типа С<sup>р</sup> на два напряжения—1650 и 3300 в.

\*\* Знаменатель—прицепной вагон без багажного отделения; числитель—прицепной вагон с багажным отделением.

<sup>1</sup> Новые конструкции пассажирских вагонов. Труды ЦНИИ МПС, вып. 45. Трансжелдориздат, 1951.



Фиг. 43. Общий вид и планировка прицепного и моторного вагонов длиной 23,6 м

эксплуатационные показатели различных типов пригородных вагонов для электрифицированных железных дорог.

Как видно из табл. 26, удлинение вагона до 23,6 м с устройством в нём третьей двери позволяет обеспечить эксплуатационную населённость вагона в 200 пассажиров при уменьшении веса тары на 1 м длины вагона с 3,2 до 2,54 т, а также соответственно веса на одно пассажирское место с 0,57 до 0,46 т.

Общий вид и планировка прицепного и моторного вагонов длиной 23,6 м приведены на фиг. 43.

Произведённые расчёты показали, что в условиях подземного железнодорожного диаметра применение вагонов длиной 21,3 м по сравнению с вагонами длиной 23,6 м связано с увеличением потребной пропускной способности диаметра на 10—12%.

### 3. МЕТОДИКА УСТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Произведённое исследование показало, что подземные железнодорожные диаметры для освоения суточного пассажиропотока порядка 500 тыс. пассажиров (60 тыс. пассажиров в час максимального движения) должны обеспечить при оборудовании диаметра системой непрерывной авторегулировки и длине вагона 23,6 м пропускную способность не менее 40 пар поездов в час.

Реализация указанной пропускной способности подземного железнодорожного диаметра предъявляет исключительно жёсткие требования к скоростным характеристикам проектируемого моторвагонного подвижного состава, что, естественно, в значительной степени предопределяет выбор его параметров.

Необходимо учитывать также, что параметры, выбранные под углом зрения обеспечения заданной пропускной способности диаметра, могут оказаться недостаточно экономичными для работы на наземных пригородных линиях.

Поэтому для окончательного установления параметров моторвагонного подвижного состава, предназначенного для смешанной работы, необходимо произвести проверочный расчёт выбранных параметров (ходовая, техническая, участковая скорости) по условиям работы наземных пригородных линий.

Как известно, наземные пригородные линии даже с большими размерами пассажиропотоков работают в условиях, отличных от эксплуатационной работы подземных железнодорожных линий (метрополитен, железнодорожные диаметры). Длина перегонов на наземных пригородных линиях больше, чем на линиях железнодорожного диаметра, и вместо параллельного графика обычно применяется зонный график, имеющий большее или меньшее число безостановочных поездов («скороходов»).

Условия работы наземных пригородных линий предъявляют также меньшие требования к величине начального ускорения;

определяющей пусковую мощность двигателей, и, наоборот, усиливают требования к часовой мощности в связи с возможностью реализации высоких ходовых скоростей, приближающихся к конструкционным.

Размеры и структура пассажиропотоков наземных пригородных линий также значительно отличаются от пассажиропотоков железнодорожного диаметра.

Абсолютные размеры пассажиропотоков как в интенсивные, так и в менее интенсивные часы на наземных пригородных линиях значительно уступают размерам пассажиропотоков железнодорожных диаметров. Распределение же пассажиров по часам суток на пригородных линиях даёт значительно большие колебания, чем на линиях железнодорожного диаметра. Это предопределяет иные требования к ёмкости состава и выбору типа поездной единицы (секции) для наземных пригородных линий.

Выбор параметров моторвагонного подвижного состава для условий смешанной работы может быть произведён по следующей методике.

1. Исходя из перспективных размеров пассажиропотока в час интенсивного движения определяется необходимая пропускная способность железнодорожного диаметра для рассматриваемых типов вагонов и композиций состава моторвагонных поездов, т. е.

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{P_{\text{сум}} \psi}{A_n}, \quad (79)$$

где  $N_{\max}^{\text{час}}$  — необходимая пропускная способность железнодорожного диаметра в час интенсивного движения для освоения заданного пассажиропотока;

$P_{\text{сум}}$  — перспективные размеры пассажиропотока в сутки;  
 $\psi$  — процент суточного числа пассажиров в час максимальных размеров движения;

$A_n$  — расчётная населённость поезда.

2. Потребные размеры пропускной способности железнодорожного диаметра в час интенсивного движения для освоения перспективного пассажиропотока определяют необходимый расчётный интервал между поездами, т. е.

$$I_{\min}^{\text{см}} = \frac{3600}{N_{\max}^{\text{час}}}, \quad (80)$$

где  $I_{\min}^{\text{см}}$  — расчётный интервал между поездами.

Величина расчётного интервала между поездами, зависящая от размеров пассажиропотока и типа подвижного состава, определяет необходимый уровень технической вооружённости подземного железнодорожного диаметра.

При наличии мощного пассажиропотока, требующего реализации максимальной пропускной способности (порядка 40 пар), возникает необходимость в оборудовании подземного железнодорожного диаметра системой непрерывной авторегулировки.

Установление величины потребного расчётного интервала между поездами для рассматриваемых композиций состава моторвагонных поездов позволяет определить необходимые ходовые и технические скорости движения, которые должны быть реализованы в самых трудных условиях работы подземного железнодорожного диаметра, т. е. на самом коротком перегоне с наиболее трудным профилем.

Как уже было установлено выше, минимальный расчётный интервал между поездами по станционному блок-участку определяется по формулам:

а) при точечной авторегулировке [формула (34)]

$$I_{\min}^{\text{см}} = \frac{2(l_n + l_m^k) + c}{v_x} + t_e + t_m^{\partial} + \tau_a + t_{\text{см}} + \tau_p,$$

где

$$L_{\min}^{\text{см}} = 2(l_n + l_m^k) + c;$$

б) при непрерывной авторегулировке [формула (36)]

$$I_{\min}^{\text{см}} = \frac{2l_n + l_m^k + (a_1 + a_2)}{v_x} + t_e + t_m^{\partial} + \tau_a + t_{\text{см}} + \tau_p,$$

где

$$L_{\min}^{\text{см}} = 2l_n + l_m^k + (a_1 + a_2).$$

Учитывая исключительно высокие требования, предъявляемые к пропускной способности подземных железнодорожных линий, определение параметров моторвагонного подвижного состава для смешанной работы необходимо производить исходя из условий оборудования подземных железнодорожных диаметров системой непрерывной авторегулировки.

Минимальный расчётный интервал между поездами при непрерывной авторегулировке, считая, что скорость начала торможения  $v_n \approx v_x$ , можно представить в следующем виде:

$$I_{\min}^{\text{см}} = \frac{L_{\min}^{\text{см}}}{v_x} + t_e + t_m^{\partial} + t_{\text{см}} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a}.$$

При известных значениях величин  $I_{\min}^{\text{см}}$ ,  $L_{\min}^{\text{см}}$ ,  $a$ ,  $b$  и  $t_{\text{см}}$  величина расчётной ходовой скорости  $v_x$  может быть определена следующим образом:

$$I_{\min}^{\text{см}} - t_{\text{см}} - (t_e + t_m^{\partial}) = \frac{L_{\min}^{\text{см}}}{v_x} + v_x \left( \frac{1}{2b} + \frac{1}{2a} \right),$$

или

$$[I_{\min}^{\text{см}} - t_{\text{см}} - (t_e + t_m^{\partial})] v_x = L_{\min}^{\text{см}} + v_x^2 \left( \frac{1}{2b} + \frac{1}{2a} \right),$$

т. е.

$$\left( \frac{1}{2b} + \frac{1}{2a} \right) v_x^2 - [I_{\min}^{\text{см}} - t_{\text{см}} - (t_e + t_m^{\partial})] v_x + L_{\min}^{\text{см}} = 0,$$

откуда

$$v_x = \frac{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})] \pm \sqrt{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})]^2 - 4 \left(\frac{1}{2b} + \frac{1}{2a}\right) L_{\min}}}{2 \left(\frac{1}{2b} + \frac{1}{2a}\right)}$$

или

$$v_x = \frac{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})] \pm \sqrt{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})]^2 - 2 \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right) L_{\min}}}{\left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right)}$$

Обозначая член  $\left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right)$  через  $\varepsilon$ , получим следующую формулу для определения потребной ходовой скорости, обеспечивающей реализацию заданного расчётного интервала  $I_{\min}^{cm}$  между поездами:

$$v_x = \frac{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})] \pm \sqrt{[I_{\min}^{cm} - t_{cm} - (t_s + t_m^{\partial})]^2 - 2\varepsilon L_{\min}}}{\varepsilon} \quad (81)$$

Пользуясь указанной формулой, можно установить потребные ходовые скорости для разных типов поездных единиц и композиций состава моторвагонных поездов, необходимые для освоения заданных размеров пассажиропотоков, а следовательно, и обеспечения потребной пропускной способности железнодорожного диаметра.

Расчёты потребной ходовой скорости для освоения заданных размеров пассажиропотока на железнодорожном диаметре в час интенсивного движения позволяют установить зависимость  $v_x = f(I_{\min}^{cm})$  для разных типов поездных единиц и композиций состава моторвагонных поездов, приведённую на фиг. 44.

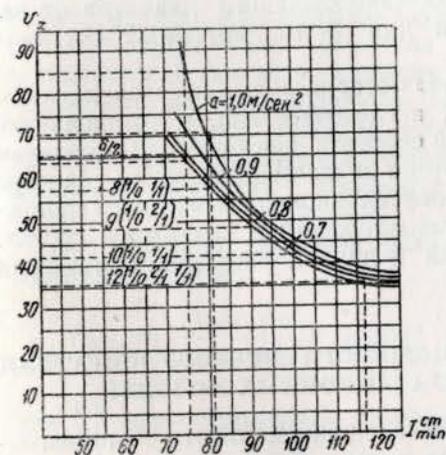
Анализ кривой  $v_x = f(I_{\min}^{cm})$  показывает, что для 9-, 10- и 12-вагонных составов ветви кривых в диапазоне изменения ускорения  $a = 0,7 \div 1,0$  м/сек<sup>2</sup> имеют весьма пологий характер, т. е. изменение величины пускового ускорения в указанных границах не вызывает резкого изменения потребной ходовой скорости, необходимой для реализации заданного по

условиям пропускной способности интервала  $I_{\min}^{cm}$  между поездами.

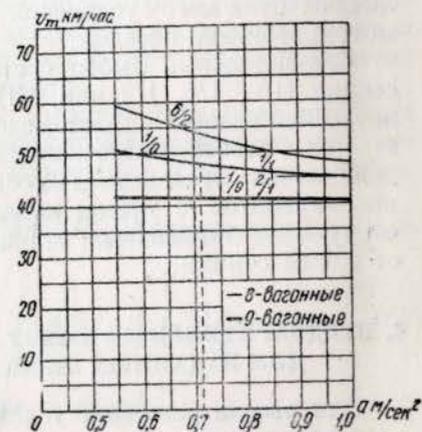
Освоение заданных размеров пассажиропотока 9-, 10- и 12-вагонными составами позволяет реализовать необходимую пропускную способность железнодорожного диаметра с большим расчётным интервалом, что предъявляет менее жёсткие требования к установлению необходимой ходовой скорости движения поездов.

При переходе же к 8-вагонным составам поездов подъём кривой  $v_x = f(I_{\min}^{cm})$  резко возрастает.

Однако следует учитывать, что обращение в пределах подземного железнодорожного диаметра 9-, 10- и 12-вагонных со-



Фиг. 44. График потребной ходовой скорости для разных типов поездных единиц и композиций составов моторвагонных поездов



Фиг. 45. График потребной технической скорости на труднейшем перегоне железнодорожного диаметра для разных типов поездных единиц и композиций составов моторвагонных поездов

ставов поездов связано с дополнительными капиталовложениями на удлинение платформ и снижением частоты движения пригородных поездов в часы неинтенсивного движения, особенно для дальних зон, что ухудшает обслуживание пассажиров.

Обращение же 8-вагонных поездов создаёт большую гибкость в работе железнодорожного диаметра и пригородных линий и снижает необходимые капиталовложения на сооружение тоннельных станций.

Исходя из полученных значений ходовой скорости, потребной для заданных размеров пропускной способности, устанавливаются

для труднейшего перегона железнодорожного диаметра необходимые значения технической скорости, а именно:

$$v_m = \frac{l}{t_x + \tau_a + \tau_p} = \frac{l}{\frac{l}{v_x} + \frac{v_x}{2b} + \frac{v_x}{2a}}$$

где  $v_m$  — необходимая техническая скорость на труднейшем перегоне;

$\tau_p$  и  $\tau_a$  — дополнительная затрата времени, связанная с остановкой поезда;

$l$  — расчётная длина перегона.

На фиг. 45 приведён график зависимости технической скорости для труднейшего перегона железнодорожного диаметра от величины пускового ускорения  $a$  для 8- и 9-вагонных составов моторвагонных поездов.

Окончательный выбор состава моторвагонных поездов и схемы секции (1/0, 1/1, 1/2 или 3/1), а следовательно, и установление потребной ходовой и технической скорости движения для освоения заданных размеров пассажиропотока на железнодорожном диаметре должны быть произведены на основе технико-экономического сравнения вариантов с учётом капиталовложений в подвижной состав, сооружение тоннельных станций и других расходов, зависящих от схемы секции.

#### 4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАДАНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Для рассматриваемых условий смешанной работы моторвагонного подвижного состава тяговые двигатели должны обеспечивать реализацию заданной пропускной способности железнодорожного диаметра и максимально допустимой скорости движения на наземных пригородных линиях.

Основываясь на необходимых ходовых и технических скоростях, которые должны быть реализованы на труднейшем перегоне железнодорожного диаметра для рассматриваемых поездных единиц, может быть установлена ориентировочная мощность двигателей, обеспечивающая реализацию заданных размеров пропускной и провозной способности железнодорожных диаметров.

Как известно, мощность тягового двигателя определяется условиями коммутации, механической прочности и сцепления колёс моторного вагона с рельсами.

Наибольшая нагрузка двигателя по коммутации определяется максимально допустимым током двигателя, при котором ещё не наблюдается опасного искрения на коллекторе.

Так, например, в современных тяговых электродвигателях соотношение между часовым и максимальным током (или мощ-

ностью) обычно такое, что максимальный ток равен двойному часовому, т. е.  $I_{max} = 2I_{час}$ .

Помимо ограничений мощности тягового двигателя по условиям коммутации и механической прочности, мощность двигателей ограничивается также нагреванием.

Выбор мощности тягового электродвигателя зависит от сцепления колёс моторного вагона с рельсами, причём в моторвагонной тяге для смешанного движения, если нет ограничений в выборе мощности тягового двигателя, целесообразно применять наибольшее ускорение, допустимое по условиям сцепления колёс с рельсами.

Таким образом, установление ориентировочной мощности тягового электродвигателя для условий смешанной работы должно быть произведено для заданного сцепного веса и состава моторвагонного поезда, максимально возможной величины пускового ускорения и определённой условиями пропускной способности ходовой и технической скорости движения поезда по труднейшему перегону подземного железнодорожного диаметра.

При указанных условиях выбор пусковой мощности двигателя должен быть произведён по режиму работы подземного железнодорожного диаметра с короткими перегонами и частыми остановками.

Как известно, пусковая сила тяги ( $F_{пуск}$ ) определяется по следующей формуле:

$$F_{пуск} = \frac{1000}{g} \cdot \frac{dv}{dt} (P + Q) (1 + \gamma) + (\omega_0 + i_k) (P + Q), \quad (82)$$

где  $\frac{dv}{dt} = a$  — начальное ускорение в  $m/sec^2$ ;

$(P + Q)$  — полный вес состава секции в  $m$ ;

$\gamma$  — коэффициент инерции вращающихся частей вагона (для моторных вагонов 1,10 — 1,15, для прицепных вагонов 1,06 — 1,07);

$i_k$  — средняя величина уклона в тоннеле на пути разгона в  $‰$ ;

$\omega_0$  — основное удельное сопротивление движению моторвагонной секции в  $kg/m$ .

Основное удельное сопротивление движению моторвагонной секции на наземных железнодорожных линиях и подземных тоннельных участках может быть определено по следующим формулам:

для наземных железнодорожных линий при движении под током

$$\omega_0^n = 1,6 + 0,014v + \left[ \frac{0,0064(n_s - 1) + 0,045}{P + Q} \right] v^2 \quad kg/m; \quad (83)$$

для подземных тоннельных линий при движении под током (по данным опытов Московского метрополитена)

$$\omega_0^m = 2,9 + 0,012 v + 0,0007 v^2 \text{ кг/м}^*, \quad (84)$$

где  $n$  — число моторных и прицепных вагонов в поезде (секции).

Следовательно, для подземного железнодорожного диаметра пусковая сила тяги составит

$$F_{\text{пуск}} = \frac{1000}{9,81} \cdot \frac{dv}{dt} (P + Q)(1 + \gamma) + (\omega_0^m + i_k)(P + Q),$$

или

$$F_{\text{пуск}} = 102 \frac{dv}{dt} (P + Q)(1 + \gamma) + (\omega_0^m + i_k)(P + Q),$$

или (для удельной пусковой силы тяги)

$$f_{\text{пуск}}^{\text{уд}} = \frac{F_{\text{пуск}}}{P + Q} = 102 \frac{dv}{dt} (1 + \gamma) + (\omega_0^m + i_k).$$

Если же ограничений в выборе мощности тягового двигателя нет, то с точки зрения сокращения расхода электроэнергии и быстрого достижения заданных ходовых скоростей целесообразно принимать максимальные ускорения  $\frac{dv}{dt} = a$ , допустимые по условиям сцепления колёс с рельсами, т. е.

$$F_{\text{пуск}}^{\text{нах}} = F_{\text{сц}} = 1000 \psi_k P_k, \quad (85)$$

где  $P_k$  — сцепной вес (брутто) моторных вагонов состава поезда (секции) в  $t$ ;

$\psi_k$  — расчётный коэффициент сцепления. Величина коэффициента сцепления в зависимости от типа подвижного состава и его состояния, а также степени загрязнения поверхности рельсов может изменяться в довольно широких пределах — от 0,1 — 0,15 до 0,3.

В соответствии с правилами производства тяговых расчётов при электротяге для тоннелей метрополитена коэффициент сцепления принимается равным

$$\psi_k = 0,16.$$

При установке на моторвагонном подвижном составе противобоксочного реле величина коэффициента сцепления может быть увеличена до  $\psi_k = 0,18$ .

\* В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, С. Е. Кузин. Электрические железные дороги. Трансжелдориздат, 1951.

Величина пускового ускорения  $\frac{dv}{dt} = a$  может быть определена по формуле

$$\frac{dv}{dt} = a = \frac{f_{\text{пуск}}^{\text{уд}} - (\omega_0^m + i_k)}{102(1 + \gamma)}, \quad (86)$$

где  $f_{\text{пуск}}^{\text{уд}}$  — удельная пусковая сила тяги, равная максимальной удельной силе тяги, допускаемой по условиям сцепления колёс с рельсами, т. е.

$$f_{\text{пуск}}^{\text{уд}} = \frac{1000 P_k \psi_k}{P + Q}.$$

Так, например, принимая величину коэффициента сцепления в пределах  $\psi_k = 0,16 \div 0,18$ , основное удельное сопротивление движению  $\omega_0^m = 5 \text{ кг/м}$  (для скоростей до 40 км/час), величину расчётного подъёма в пределах станционной площадки подземного железнодорожного диаметра  $i_k = 3\text{‰}$ , можно определить для различных схем секций, которые могут обращаться на подземном диаметре (1/0, 1/1, 2/1 и 6/2), максимально возможное ускорение по условиям сцепления. Расчётные данные приведены в табл. 27.

Таблица 27

Расчётные значения пускового ускорения для исследуемых типов поездных единиц

Тип поезда единицы	Вес брутто вагона в $t$		Полный вес брут- то секции или со- става $P+Q$ в $t$	Кэффи- циент инерции $\gamma$	Максимальное зна- чение удельной пус- ковой силы тяги $f_{\text{пуск}}^{\text{уд}}$ в $\text{кг/м}$		Максимально воз- можное пусковое ускорение $a$ в $\text{м/сек}^2$	
	мотор- ного $P$	при- цепно- го $Q$			$\psi_k = 0,16$	$\psi_k = 0,18$	$\psi_k = 0,16$	$\psi_k = 0,18$

Вагон длиной 22 м

1/0	69	—	69	0,15	160	180	1,27	1,44
1/1	69	53,0	122,1	0,12	90	102	0,72	0,82
2/1	69	53,0	191,0	0,13	114	130	0,92	1,06
6/2	69	50,3	515,0	0,14	128	148	1,02	1,20

Вагон длиной 23,6 м

1/0	73	—	73	0,15	160	180	1,27	1,44
1/1	73	58	131	0,12	90	102	0,72	0,82
2/1	73	58	204	0,13	114	130	0,92	1,06
6/2	73	55,2	548,4	0,14	128	148	1,02	1,20

Приведённые в табл. 27 расчётные данные показывают, что максимально возможная величина пускового ускорения может

быть достигнута при схеме секции 1/0 (все моторные) и типе поездной единицы 6/2 (шесть моторных и два прицепных вагона).

Так, например, величина пускового ускорения (по сцеплению) для схемы секции 1/0 и коэффициенте сцепления  $\psi_k = 0,16$  составляет  $a = 1,27 \text{ м/сек}^2$  и для типа поездной единицы 6/2  $a = 1,02 \text{ м/сек}^2$ . Повышение коэффициента сцепления (применение противобоксовочного реле) до  $\psi_k = 0,18$  позволяет реализовать более высокие значения пускового ускорения: при схеме секции 1/0 — до  $a = 1,44 \text{ м/сек}^2$ , типе поездной единицы 6/2 — до  $a = 1,2 \text{ м/сек}^2$ .

Выбор величины пускового ускорения и тормозного замедления для условий смешанной работы должен производиться с учётом длины перегона и требований к скорости, которая должна быть реализована на наиболее трудном перегоне.

Практика эксплуатации электрифицированных линий магистральных железных дорог с длинными перегонами и пригородных участков с моторвагонной тягой и короткими перегонами показывает, что:

а) для магистральных железных дорог с электровозной тягой при больших длинах перегонов величины пускового ускорения и замедления не играют существенной роли, так как путь разгона и торможения имеет незначительный удельный вес в общей длине перегона. В этом случае потери электроэнергии, связанные с остановкой поезда и в пусковых приспособлениях при разгоне, составляют примерно 20%; остальные 80% энергии при движении поезда расходуются на преодоление основного сопротивления движению уклонов и кривых;

б) для пригородных и городских железных дорог с частыми остановками и короткими перегонами реализация высокой ходовой скорости движения в значительной степени зависит от величин пускового ускорения и замедления, так как пути разгона и торможения имеют большой удельный вес в общей длине перегона.

Так, на перегоне длиной 1000 м при  $v_x = 50 \text{ км/час}$ , ускорении  $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$  и замедлении  $b = 1,0 \text{ м/сек}^2$  удельный вес элементов пути разгона и торможения в общей длине перегона составляет 29%, а при  $v_x = 75 \text{ км/час}$  — 65%; при повышении же ускорения до  $1 \text{ м/сек}^2$  удельный вес элементов пути разгона и торможения в общей длине перегона уменьшается при  $v_x = 50 \text{ км/час}$  до 19% и при  $v_x = 75 \text{ км/час}$  — до 43%.

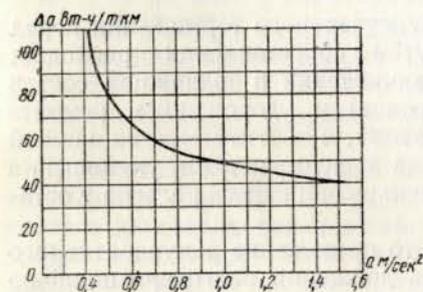
Таким образом, повышение начального ускорения моторвагонного подвижного состава является целесообразным не только с точки зрения реализации высоких скоростей движения, но и с точки зрения экономии электроэнергии.

На фиг. 46 показан график  $\Delta a \frac{\text{вт-ч}}{\text{ткм}} = f(a)$  зависимости удельного расхода энергии от величины ускорения при постоянной средней скорости для условий метрополитена на перегонах длиной 1,0—1,5 км.

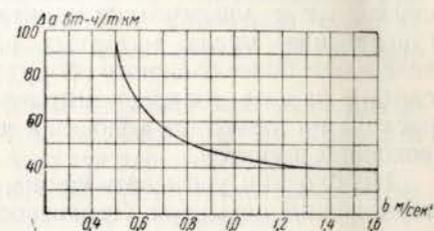
Как видно из графика, при заданной постоянной скорости движения уменьшение ускорения вызывает резкое увеличение расхода энергии. Однако увеличение ускорения свыше 0,8—1,0 м/сек<sup>2</sup> не оказывает уже существенного влияния на удельный расход энергии.

Поэтому можно считать, что чем выше величина пускового ускорения при коротких перегонах, тем меньше удельный расход энергии. Однако повышение ускорения свыше 1,0—1,2 м/сек<sup>2</sup> неприемлемо по условиям безопасности движения.

Установление величины пускового ускорения для наземных условий работы моторвагонного подвижного состава должно производиться исходя из наиболее рационального режима движения



Фиг. 46. График удельного расхода электроэнергии в зависимости от величины пускового ускорения



Фиг. 47. График удельного расхода электроэнергии в зависимости от величины коэффициента замедления

моторвагонного поезда (реализация максимально допустимой ходовой и технической скорости движения, расход электроэнергии и др.).

Как показывают расчёты, увеличение тормозного замедления позволяет повышать ходовые скорости движения за счёт возрастания тормозного эффекта, уменьшающего длину тормозного пути.

Повышение тормозного замедления и уменьшение потребного тормозного пути сокращают минимальный интервал между поездами, увеличивая пропускную способность. Зависимость удельного расхода энергии от коэффициента замедления при торможении показана на фиг. 47.

Из кривой  $\Delta a \frac{\text{вт-ч}}{\text{ткм}} = f(b)$  видно, что при повышении тормозного замедления до 0,7—0,8 м/сек<sup>2</sup> расход энергии резко снижается, при больших же значениях  $b$  (порядка 1,0—1,2 м/сек<sup>2</sup>) снижение расхода энергии происходит уже очень незначительно.

Исходя из этого можно считать, что увеличение замедления на линиях с короткими перегонами является эффективным до 1 м/сек<sup>2</sup>, так как дальнейшее увеличение замедления при малой экономии в расходе энергии требует значительного усиления мощ-

ности тормозной системы, увеличивает износ подвижного состава и создаёт неудобства для пассажиров.

Так как расход энергии, связанный с торможением поезда перед остановками, при коротких перегонах составляет 25—40% общего расхода энергии на движение поезда, то целесообразно в условиях смешанного движения с частыми остановками применение рекуперативного торможения. Эффективность рекуперативного торможения перед остановками будет тем больше, чем выше среднетехническая скорость и меньше расстояние между остановочными пунктами.

Однако получение среднего замедления при торможении поезда с рекуперативным торможением не ниже, чем при механическом торможении, т. е. порядка 0,7—1,0 м/сек<sup>2</sup>, требует увеличения числа моторных вагонов.

Эффективность применения рекуперативного торможения перед остановками устанавливается путём сопоставления расходов, связанных с увеличением капиталовложений в подвижной состав (увеличение числа моторных вагонов) и удорожанием ремонта вследствие более сложного оборудования, с достигаемой экономией средств за счёт сокращения расхода электроэнергии, уменьшения расхода на тормозные колодки и уменьшения износа рельсов у остановочных пунктов.

Необходимо учитывать также, что применение рекуперативного торможения повышает безопасность движения благодаря наличию на моторвагонном подвижном составе двух систем торможения (электрического и пневматического).

Определение потребной пусковой мощности электродвигателей может быть произведено по следующей формуле:

$$KW_{\text{пуск}} = \frac{F_{\text{пуск}} v_a}{367 m \eta}, \quad (87)$$

где  $F_{\text{пуск}}$  — пусковая сила тяги состава (секции) в кг;

$v_a$  — скорость выхода на автоматическую характеристику при полном возбуждении двигателя;

$m$  — число двигателей в составе (секции);

$\eta$  — коэффициент полезного действия двигателя (0,89).

Как известно, скорость выхода на автоматическую характеристику  $v_a$  определяется расчётной величиной ускорения  $a$  и длительностью пускового периода  $t$ , т. е.  $v_a = at$  м/сек.

При коротких длинах перегонов и высоких скоростях движения длительность пускового периода при параллельном соединении двигателей можно принять равной 9—11 сек. и при последовательном соединении — 4—5 сек.

При применении для пускового периода последовательно-параллельного соединения двигателей (с последующим включением реостатов) продолжительность пускового периода колеблется в пределах 10—12 сек.

В соответствии с расчётными значениями пусковой силы тяги и скорости выхода на автоматическую характеристику для иссле-

дуемых типов поездной единицы могут быть определены значения потребной пусковой, а также часовой мощности двигателя.

Минимальная пусковая мощность  $KW_{\text{пуск}}$  двигателя получается при отсутствии выбега на перегоне, т. е. когда двигатель за всё время движения вагона по перегону, за исключением тормозного пути, находится под током.

Максимальная пусковая мощность двигателя при заданных скоростях движения поезда по перегону, а следовательно, при фиксированном времени хода получается при максимальном выбеге, т. е. когда за счёт резкого сокращения периода пускового режима двигатель выходит на автоматическую характеристику с выключением тока.

Исходя из полученных значений минимальной  $KW_{\text{пуск}}^{\text{min}}$  и максимальной  $KW_{\text{пуск}}^{\text{max}}$  пусковой мощности устанавливаются границы, в которых может лежать пусковая мощность двигателя при заданной ходовой и технической скорости движения поездов, а следовательно, и заданном времени хода поезда по труднейшему перегону.

На основании полученных значений пусковой мощности двигателя можно перейти к определению предварительной мощности тягового двигателя для заданных эксплуатационных условий.

При очень коротких перегонах, соответствующих рассматриваемым условиям работы моторвагонного подвижного состава на подземном железнодорожном диаметре, перегрузка двигателя допускается такая, при которой пусковой ток превосходит часовой не более чем на 75%, т. е.  $I_{\text{пуск}} = 1,75 I_{\text{час}}$ , что в свою очередь определяет соотношение между пусковой и часовой силой тяги двигателя.

Потребная часовая мощность двигателя может быть определена по следующей формуле:

$$KW_{\text{час}} = \frac{F_{\text{пуск}} v_a}{367 m \eta (1 + \kappa)}, \quad (88)$$

где  $\kappa$  — допускаемая перегрузка двигателя при разгоне поезда от часовой мощности в процентах.

Указанный коэффициент определяется на основании соотношения тока в период пуска двигателя и тока часового режима, т. е.

$$\kappa = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{час}}}.$$

Полученные значения пусковой и часовой мощности двигателя, установленные для подземного железнодорожного диаметра, являются определяющими для режима смешанной работы моторвагонного подвижного состава.

Имея в виду, что на наземных пригородных линиях должны быть реализованы более высокие ходовые скорости, необходимо

произвести проверку выбранной мощности двигателя по режиму работы наземных пригородных линий.

Часовая мощность двигателя для работы моторвагонного подвижного состава на наземных пригородных линиях в изолированных условиях, т. е. без учёта пропуска его на подземные железнодорожные линии, обычно устанавливается путём сопоставления результатов двух расчётов:

а) часовой мощности, определённой из условий допускаемой перегрузки двигателя при пусковом режиме, по формуле

$$KW_{час} = \frac{F_{пуск} v_a}{367 m \tau_i (1 + \kappa)}; \quad (89)$$

б) часовой мощности, определённой из условий реализации на пригородном участке максимальных ходовых скоростей движения, по формуле

$$KW_{час} = \frac{(\omega_0^H + i_s)(P + Q) v_{max}}{367 m \tau_i}, \quad (90)$$

где  $\omega_0^H$  — основное удельное сопротивление в наземных условиях при  $v_{max}$  в кг/м;

$i_s$  — эквивалентный уклон рассматриваемого участка в ‰;

$(P + Q)$  — вес состава (секции) в т;

$v_{max}$  — максимальная ходовая скорость, которая должна быть реализована на наземных пригородных участках, в км/час.

Произведённое исследование в рассматриваемых эксплуатационных условиях работы моторвагонного подвижного состава позволяет установить ориентировочные значения потребной часовой мощности электродвигателей для смешанной работы. Расчётные значения потребной часовой мощности двигателя приведены в табл. 28.

Таблица 28

Тип по- ездной единицы	Потребная часовая мощность для железнодорожного диаметра $KW_{час}$ в квт								Потребная часовая мощность в квт для наземных пригородных линий при $v_{max} = 120$ км/час
	при $v_{час} = 50$ км/час				при $v_{час} = 60$ км/час				
	$a=0,7$ м/сек <sup>2</sup>	$a=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$a=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$a=1,0$ м/сек <sup>2</sup>	$a=0,7$ м/сек <sup>2</sup>	$a=0,8$ м/сек <sup>2</sup>	$a=0,9$ м/сек <sup>2</sup>	$a=1,0$ м/сек <sup>2</sup>	
1/0	95,5	115	119	135	116	138	142	162	78
1/1	174	—	—	—	206	—	—	—	140
2/1	134	157	171	—	187	187	205	—	110
3/1	119	144	153	167	143	171	183	205	105

Анализ приведённых в табл. 28 данных показывает, что для условий смешанной работы моторвагонного подвижного состава на подземном железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях определяющим условием для установления расчётной ча-

совой мощности двигателя для всех типов поездных единиц является подземный железнодорожный диаметр.

Учитывая, что до сооружения подземного железнодорожного диаметра наиболее широкое применение должна получить схема секции 1/1 с последующим переходом на схему 3/1 или 1/0, целесообразно унифицировать часовую мощность двигателей для всех рассматриваемых вариантов схем секций.

## 5. ВЫБОР ТИПА ПОЕЗДНОЙ ЕДИНИЦЫ (СХЕМЫ СЕКЦИИ) И КОМПОЗИЦИИ СОСТАВА МОТОРВАГОННЫХ ПОЕЗДОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ СМЕШАННОЙ РАБОТЫ

На базе произведённого исследования представляется возможным выбрать оптимальный тип поездной единицы и установить значения потребной часовой мощности двигателей для заданных условий смешанной работы.

При выборе вариантов возможных схем секций и композиций состава моторвагонных поездов необходимо исходить в первую очередь из соображений общегосударственного порядка, диктуемых интересами развития планового социалистического хозяйства, максимального улучшения обслуживания пригородных пассажиров, комплексного развития всех видов городского и пригородного транспорта и др.

Технико-экономическая оценка сравниваемых вариантов может быть произведена по капитальным и эксплуатационным затратам для каждого варианта в отдельности.

При сравнении капитальных затрат учитывается только стоимость моторвагонного подвижного состава и тоннельных станций (в связи с удлинением платформ), так как установленную мощность подстанций и сечение контактных проводов можно практически принять одинаковыми для всех сравниваемых типов поездных единиц.

Технико-экономическая оценка сравниваемых вариантов по капитальным и эксплуатационным затратам может быть произведена по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{сут} = & \frac{\kappa (f_1 m_1 + f_2 m_2) p_{зод} + \Delta a c_s (P m_1 + Q m_2) S_{сум} \kappa}{365 \cdot 100} + \frac{S_{сум} \kappa}{1000} + \\ & + \frac{2L_{ср}}{v_{экспл}} N_{сум} b + \frac{A_{ст}^{диам}}{365 \cdot 100} p_{от} \text{ руб/сутки}, \end{aligned} \quad (91)$$

где  $\mathcal{E}_{сут}$  — суточные расходы, зависящие от выбранных параметров моторвагонного подвижного состава;

$\kappa$  — потребное число секций, определяемое исходя из структуры пассажиропотока (с распределением его по часам суток), реализуемых эксплуатационных скоростей движения, типа применяемого графика и т. д.;

- $f_1$  — стоимость моторного вагона в руб.;  
 $m_1$  — число моторных вагонов;  
 $f_2$  — стоимость прицепного вагона в руб.;  
 $m_2$  — число прицепных вагонов в поездной единице;  
 $P_{год}$  — ежегодные расходы по моторвагонному подвижному составу, складывающиеся из амортизационных отчислений  $p_1$ , отчислений  $p_2$ , установленных исходя из сроков окупаемости капиталовложений и расходов  $p_3$  по текущему ремонту моторвагонного подвижного состава, в %;  
 $c_э$  — отпускная цена 1 квт-ч электроэнергии в руб.;  
 $P$  — вес моторного вагона с учётом пассажиров, в т;  
 $\Delta a$  — удельный расход электроэнергии в вт-ч/ткм;  
 $Q$  — вес прицепного вагона с учётом пассажиров, в т;  
 $S_{сут}$  — среднесуточный пробег секции в км;  
 $L_{ср}$  — средневзвешенная дальность пробега моторвагонного поезда в км;  
 $v_{экспл}$  — средняя эксплуатационная скорость моторвагонного поезда в км/час;  
 $N_{сут}$  — суточное число поездов;  
 $b$  — стоимость одного часа работы бригады моторвагонного поезда (машинист, пом. машиниста, главный кондуктор и проводники) в руб.;  
 $A_{ст}^{диам}$  — капиталовложения в тоннельные станции, связанные с длиной платформ, в руб.;  
 $P_{от}$  — отчисления, устанавливаемые исходя из сроков окупаемости капиталовложений и расходов на содержание тоннельных станций (платформ), в %.

В указанной формуле элемент  $\frac{\kappa(f_1 m_1 + f_2 m_2) P_{год}}{365 \cdot 100}$  определяет суточные расходы, связанные с приобретением и содержанием потребного моторвагонного подвижного состава; элемент  $\Delta a c_э (P m_1 + Q m_2) \frac{S_{сут} \kappa}{1000}$  характеризует суточные расходы, связанные с оплатой электроэнергии, затрачиваемой на поездную работу; элемент формулы  $\frac{2L_{ср}}{v_{экспл}} N_{сут} b$  учитывает суточные расходы на содержание бригад, обслуживающих моторвагонные поезда; последний элемент формулы  $\frac{A_{ст}^{диам}}{365 \cdot 100} P_{от}$  определяет отчисления от потребных капиталовложений на устройство станций подземного железнодорожного диаметра (в зависимости от длины составов), отнесённые аналогично к суточному периоду работы.

Анализ приведённой формулы показывает, что при больших размерах движения и высокой строительной стоимости тоннельных станций определяющими факторами для выбора поездной единицы и композиции состава моторвагонных поездов будут расходы, связанные с затратой электроэнергии на движение поездов, и капиталовложения в устройство тоннельных станций.

При определении расходов, связанных с затратой электроэнергии на поездную работу, удельный расход  $\Delta a$  электроэнергии может быть определён по следующей формуле<sup>1</sup>:

$$\Delta a = \frac{1}{\eta_{лс} \eta_{кс}} \left[ \frac{2,725 (\omega_{ср} + i_э)}{\eta_{ср}} + \frac{10,5 (1 + \gamma) \left( \frac{v_m^2}{\eta_{ср}} + \kappa_n v_n^2 \right) + \frac{\Delta P_{собщ}}{Q v_э}}{1000 \cdot L_n} \right] \text{ вт-ч/ткм}, \quad (92)$$

- где  $\Delta a$  — удельный расход электроэнергии в вт-ч/ткм;  
 $\eta_{кс}$  — к. п. д. контактной сети;  
 $\eta_{лс}$  — к. п. д. тяговой подстанции;  
 $\eta_{ср}$  — средний к. п. д. электродвигателя;  
 $\omega_{ср}$  — удельное сопротивление подвижного состава при расчётной ходовой скорости в кг/т;  
 $i_э$  — средний эквивалентный подъём в ‰;  
 $\gamma$  — коэффициент инерции вращающихся масс поезда;  
 $v_m$  — скорость в момент начала торможения в км/час;  
 $v_n$  — скорость в конце пуска двигателей в км/час;  
 $\kappa_n$  — коэффициент, учитывающий порядок пуска электродвигателей моторов (при последовательно-параллельной схеме  $\kappa_n = 0,75$ );  
 $L_n$  — средняя длина перегона в км;  
 $Q$  — расчётный вес поезда в т.  
 Основные слагаемые расхода электроэнергии на движение поезда следующие:  
 $2,725 \omega_{ср}$  — работа, идущая на преодоление основного сопротивления движению;  
 $2,725 i_э$  — дополнительная работа, зависящая от профиля и трассы, т. е. работа, затрачиваемая на кривых и на изменение потенциальной энергии поезда, а также теряемая в тормозах на крутых спусках;  
 $v_m^2$  — потери в тормозах при остановках поездов;

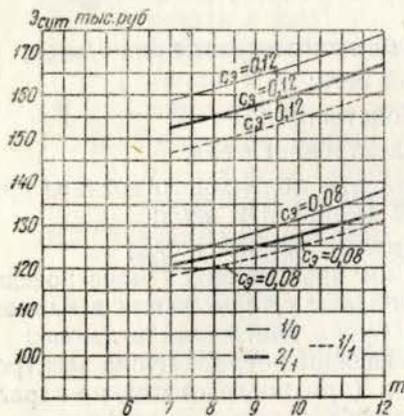
<sup>1</sup> В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, С. Е. Кузин. Электрические железные дороги. Трансжелдориздат, 1951, стр. 222.

$v_n^2$  — потери в пусковых приспособлениях (потери в двигателе и передаче учитываются делением первых трёх слагаемых членов формулы на средний к. п. д.  $\eta_{cp}$ );

$\frac{\Delta P_{собст}}{Qv_s}$  — удельный расход энергии на питание собственных нужд поезда, где  $v_s$  — эксплуатационная скорость в км/час.

Удельный расход электроэнергии в условиях смешанной работы моторвагонного подвижного состава должен определяться отдельно для подземного железнодорожного диаметра и наземных пригородных линий в соответствии с пробегом подвижного состава на железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях.

Расчёт составных элементов формулы, определяющий приведённые суточные расходы, связанные с работой моторвагонного подвижного состава на диаметре и наземных пригородных линиях, позволяет установить зависимость общих расходов от типа поездной единицы и стоимости электроэнергии  $\mathcal{E}_{сут} = f(m, c_s)$ , показанную на фиг. 48.



Фиг. 48. График приведённых расходов в зависимости от схемы секции и композиции состава моторвагонных поездов

Как видно из приведённого графика, в условиях смешанной работы моторвагонного подвижного состава увеличение длины поезда влечёт за собой рост приведённых расходов. Указанное объясняется тем, что увеличение длины состава связано с удлинением платформ тоннельных станций железнодорожного диаметра, что сопряжено с крупными дополнительными капиталовложениями, которые не компенсируются относительно небольшим снижением части эксплуатационных расходов, связанных с расходом бригадо-часов по обслуживанию меньшего числа моторвагонных поездов.

Произведённые технико-экономические расчёты показывают, что наиболее экономичной является схема секции 1/1 (один моторный и один прицепной).

Применение типа поездной единицы 3/1 по общим расходам даёт такие же результаты, как и схема 1/0.

Сравнение различных типов поездных единиц показывает, что основными вариантами при восьмивагонных составах явля-

ются схемы секций 1/1 (один моторный и один прицепной) и 1/0 (все моторные) с возможным подвариантом типа поездной единицы 3/1 (три моторных и один прицепной).

Условиям реализации на железнодорожном диаметре максимальной пропускной способности отвечают тип поездной единицы 3/1 и схема секции 1/0, позволяющие реализовать пусковое ускорение не ниже  $1,0 \text{ м/сек}^2$  (при коэффициенте сцепления  $\psi_k = 0,16$  или  $\psi_k = 0,18$ ); схема секции 1/1, наиболее экономичная по приведённым расходам, обеспечивает максимально возможное ускорение  $a = 0,72 \text{ м/сек}^2$  (при коэффициенте сцепления  $\psi_k = 0,16$ ) и  $a = 0,82 \text{ м/сек}^2$  (при коэффициенте сцепления  $\psi_k = 0,18$ ).

Следует отметить, что до сооружения диаметра и на первый период сооружения сквозного железнодорожного диаметра для условий смешанной работы моторвагонного подвижного состава может быть применена схема секции 1/1 с переходом в дальнейшем к типу поездной единицы 3/1 (три моторных и один прицепной) и в конечном результате к схеме секции 1/0, т. е. ко всем моторным вагонам в составе электрического поезда, обеспечивающей реализацию максимально возможной пропускной способности и наибольшей манёвренности в работе моторвагонного подвижного состава.

## Раздел VI

### ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ

#### 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ

Сооружение железнодорожных диаметров, предназначенных для выполнения массовых пассажирских перевозок, предъявляет исключительно высокие требования к организации движения и в целом к эксплуатации диаметров.

Это определяется в первую очередь большими размерами движения на железнодорожном диаметре и переходом от изолированных электрифицированных линий железных дорог к единой системе электрифицированных линий, требующей комплексной увязки работы пригородного и внутригородского транспорта.

Основными условиями правильной организации движения на железнодорожном диаметре являются достижение максимально возможной экономии времени в поездке каждого пригородного пассажира, полное обеспечение безопасности движения и удобное и рациональное сообщение города с пригородными линиями.

Комплексная увязка организации работы железнодорожного диаметра с пригородным и внутригородским транспортом предусматривает:

- 1) размещение отдельных пунктов на железнодорожном диаметре;
- 2) установление оптимального числа зон в пригородном движении;
- 3) определение числа примыкающих к железнодорожному диаметру пригородных линий и обслуживаемых зон;
- 4) определение внутригородских и пригородных пассажиропотоков на железнодорожном диаметре;
- 5) специализацию поездов, обращающихся на железнодорожном диаметре;
- 6) разработку основных принципов построения сквозных графиков движения на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях;
- 7) организацию работы станций примыкания;

- 8) расчёт потребного числа моторвагонного подвижного состава;
- 9) установление рациональной системы руководства движением поездов на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях.

При этом необходимо учитывать, что на двухпутных железнодорожных диаметрах как по условиям безопасности движения поездов, так и обеспечения наилучших удобств пассажиров предусматривается применение только параллельного графика с остановкой каждого поезда на каждом остановочном пункте городского участка железнодорожного диаметра.

При указанных условиях организация движения собственно на железнодорожном диаметре определяется главным образом специализацией поездов и выбранными устройствами СЦБ.

Специализация должна предусматривать обращение поездов следующих категорий:

а) пригородные поезда колебательного графика с пропуском их с одной магистрали на другую через город по диаметру, причём в пределах городского участка пригородные поезда подчиняются режиму работы, установленному для диаметра, т. е. имеют остановку на каждом остановочном пункте и курсируют по принципу параллельного графика;

б) пригородные поезда с оборотом на зонных и конечных станциях подземного железнодорожного диаметра;

в) городские поезда, курсирующие только в пределах железнодорожного диаметра, с оборотом их на конечных станциях (станциях примыкания).

При сооружении железнодорожных диаметров поезда колебательного графика позволяют разгрузить тупиковые станции пригородных линий, сократить потребность в подвижном составе и улучшить обслуживание пригородных пассажиров.

Так как интенсивные часы по прибытию пригородных поездов в город не совпадают с интенсивными часами по отправлению, то возможна некоторая недонаселённость этих поездов при пропуске их через диаметр и на противоположные пригородные участки, а следовательно, и перепробеги поездов маятникового графика.

Для того чтобы определить целесообразность назначения поездов каждой из перечисленных выше категорий, число их и условия обращения на железнодорожном диаметре, необходимо знать мощность пассажиропотоков, условия растекания пригородных пассажиров по районам города и количество городских жителей, тяготеющих к железнодорожному диаметру.

При решении различных вопросов, связанных с организацией движения на железнодорожном диаметре, необходимо учитывать также, что сооружение диаметра сопряжено с некоторым уменьшением частоты движения поездов на обслуживаемых зонах пригородных линий.

Это связано с тем, что часть поездов отклоняется на тупиковые станции, в результате чего несколько увеличиваются потери пассажирочасов, вызванные ожиданием поездов соответствующей специализации, т. е. поездов, следующих на диаметр или тупиковую станцию.

Указанное обстоятельство в значительной степени предопределяет число дорог, выводимых на железнодорожный диаметр, а также число зон, обслуживаемых диаметром на каждой пригородной линии.

## 2. РАЗМЕЩЕНИЕ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ

При размещении промежуточных и зонных станций на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях необходимо учитывать следующие основные факторы:

- а) конфигурацию пассажиропотоков, определяющую изменение мощности пассажиропотоков по зонам и эффективность сооружения в указанных переломных пунктах зонных станций;
- б) оптимальную длину перегона на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях;
- в) реальные условия трассировки линий, определяющие в значительной степени размещение зонных станций.

Основным требованием, предъявляемым к выбору оптимальной длины перегона, на линиях, обслуживающих пассажирские перевозки, является ускорение доставки пассажиров и создание наибольших удобств в их обслуживании.

Оптимальное решение в выборе длины перегона может быть получено на базе комплексной оценки интересов пассажиров и железнодорожного транспорта.

Исследование вопроса о влиянии длины перегона на пропускную способность железнодорожного диаметра и установление зависимости  $N_{\max}^{acc} = f(v_{\max}, l)$  показало, что увеличение длины перегона, например, с 800 до 3000 м, при  $v_{\max} = 75$  км/час и точечной авторегулировке повышает пропускную способность железнодорожного диаметра с 32 до 36 пар поездов в час, или на 12,5%.

Если учесть ещё, что увеличение длины перегона сокращает расход энергии, ускоряет оборот подвижного состава и в целом уменьшает эксплуатационные расходы, то можно заключить, что с точки зрения чисто транспортных интересов максимально возможное увеличение длины перегона является всегда выгодным.

Однако, как уже указывалось выше, отыскание оптимальной длины перегона должно производиться с учётом интересов пассажиров, для которых частота остановок имеет первостепенное значение.

Определение оптимальной длины перегона исходя из наименьшей затраты времени пассажиром на перемещение может быть произведено следующим образом.

Как известно, суммарное время, затрачиваемое пассажиром на поездку по железнодорожному диаметру в одном направлении, складывается из четырёх основных элементов, а именно: времени на подход к остановке от места нахождения пассажира, времени ожидания поезда на остановке, времени нахождения в пути следования в пределах маршрута следования и времени ходьбы от остановки (высадки) до пункта целевой поездки. Вполне понятно, что время ожидания пассажиром поезда не связано с длиной перегона, а расстояние от места нахождения пассажира до линии транспорта зависит от плотности сети всех видов транспорта и может быть определено по формуле

$$l_0 = \frac{1}{3s}, \quad (93)$$

где  $s$  — плотность сети всех видов транспорта в км/км<sup>2</sup>.

В соответствии с этим общее время на поездку может быть определено по следующей формуле:

$$T = \frac{2 \cdot 60 \left( l_0 + \frac{l_0}{4} \right)}{v_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} t + t_{cm} \left( \frac{L_{cp}}{l_0} - 1 \right) \text{ мин.}, \quad (94)$$

где  $l_0$  — средняя длина перегона в км;

$L_{cp}$  — средняя дальность поездки пассажира в км;

$v_{neu}$  — средняя скорость передвижения пешехода в км/час;

$t_{cm}$  — средняя стоянка поезда на остановочном пункте в минутах;

$t$  — время хода поезда по перегону в минутах.

Так как время хода по перегону может быть выражено в виде

$$t = \frac{v_x}{2a} + t_x + \frac{v_x}{2b},$$

где  $a$  и  $b$  — расчётные величины начального ускорения и замедления в м/сек<sup>2</sup>, то, подставляя значение  $t$  в формулу (94), получим

$$T = \frac{2 \cdot 60 \left( \frac{1}{3s} + \frac{l_0}{4} \right)}{v_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} \left( \frac{v_x}{2a} + t_x + \frac{v_x}{2b} \right) + t_{cm} \left( \frac{L_{cp}}{l_0} - 1 \right) \text{ мин.},$$

или

$$T = \frac{120 \left( \frac{1}{3s} + \frac{l_0}{4} \right)}{v_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} t_x + \frac{L_{cp}}{l_0} \left( \frac{v_x}{2a} + \frac{v_x}{2b} + t_{cm} \right) - t_{cm} \text{ мин.}$$

Обозначая

$$\frac{v_x}{2a} + \frac{v_x}{2b} + t_{cm} = z,$$

получим

$$T = \frac{40}{sv_{neu}} + \frac{30l_0}{sv_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} t_x + \frac{L_{cp}}{l_0} z - t_{cm} \text{ мин.},$$

или

$$T = \frac{40}{sv_{neu}} + \frac{30l_0}{sv_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} (t_x + z) - t_{cm} \text{ мин.} \quad (95)$$

Для отыскания оптимальной длины перегона ( $l_0$ ) берём первую производную от  $T$ . Учитывая, что  $t_x = \frac{l_0}{v_x}$ , имеем

$$\frac{dT}{dl_0} = \frac{30}{sv_{neu}} - \frac{z L_{cp}}{l_0^2} = 0,$$

откуда

$$l_0^2 = \frac{szv_{neu} L_{cp}}{30},$$

или

$$l_0 = \sqrt{\frac{szv_{neu} L_{cp}}{30}} \text{ км.} \quad (96)$$

Так, например, если принять  $z = \frac{v_x}{2a} + \frac{v_x}{2b} + t_{cm} = 35 \div 40$  сек., т. е. 0,6 — 0,7 мин.,  $v_{neu} = 3,6$  км/час,  $s = 1,2$  км/км<sup>2</sup> и  $L_{cp} = 15$  км, то получим

$$l_0 = \sqrt{\frac{1,2 \cdot 0,7 \cdot 15 \cdot 3,6}{30}} \approx 1,2 \text{ км.}$$

Оптимальная длина перегона, определённая по наименьшей затрате времени пассажиром на перемещение, не учитывает эксплуатационных расходов на электроэнергию, оборот подвижного состава, содержание бригад и т. д. Как известно, увеличение длины перегона способствует уменьшению эксплуатационных расходов (за счёт повышения скорости движения) и, наоборот, уменьшение длины перегона связано с возрастанием расходов.

При комплексной оценке оптимальной длины перегона на железнодорожном диаметре необходимо учитывать также транспортные затраты, т. е. расход энергии и другие эксплуатационные расходы, связанные с содержанием и обслуживанием моторвагонного подвижного состава.

Поэтому для определения оптимальной длины перегона необходимо, кроме затрат времени пассажиром на передвижение, оцениваемых в денежном выражении, учесть также затраты, связанные с работой железнодорожного транспорта

Таким образом, если оценивать все элементы, функционально связанные с длиной перегона, в денежном выражении, то формула для определения оптимальной длины перегона получит следующее выражение:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{nacc} = & \left[ \frac{40}{sv_{neu}} + \frac{30l_0}{sv_{neu}} + \frac{L_{cp}}{l_0} (t_x + z) - t_{cm} \right] c_{nacc} + \\ & + \left[ \frac{0,012 (1 + \gamma) (\kappa v_0^2 + v_m^2) L_{cp}}{l_0} \cdot \frac{P + Q}{A_n} \right] \frac{100}{\eta_{дв}} c_э + \\ & + \left[ \frac{L_{cp}}{l_0} t + t_{cm} \left( \frac{L_{cp}}{l_0} - 1 \right) \right] \frac{c_{мс}}{A_n}, \end{aligned} \quad (97)$$

где  $c_{nacc}$  — стоимость 1 мин. времени пассажира;

$\left[ \frac{0,012 (1 + \gamma) (\kappa v_0^2 + v_m^2) L_{cp}}{l_0} \cdot \frac{P + Q}{A_n} \right] \frac{100}{\eta_{дв}}$  — расход электроэнергии

на одного пассажира в связи с остановкой поезда, причём  $A_n$  — населённость поезда;

$c_э$  — цена 1 квт-ч электроэнергии;

$\left[ \frac{L_{cp}}{l_0} t + t_{cm} \left( \frac{L_{cp}}{l_0} - 1 \right) \right] \frac{c_{мс}}{A_n}$  — элемент формулы, учитывающий

затраты, связанные с оборотом состава, причём  $\frac{c_{мс}}{A_n}$  определяет расходы, связанные с оборотом подвижного состава, приходящиеся на 1 мин. передвижения пассажира.

Обозначим элемент формулы, определяющий расход энергии,

$$\left[ \frac{0,012 (1 + \gamma) (\kappa v_0^2 + v_m^2) L_{cp}}{l_0} \cdot \frac{P + Q}{A_n} \right] \frac{100}{\eta_{дв}} \text{ через } f.$$

Тогда для установления оптимальной длины перегона, беря первую производную  $\frac{d\mathcal{E}_{nacc}}{dl_0}$ , получим

$$l_0 = \sqrt{\frac{szL_{cp}v_{neu}}{30} + fc_э + L_{cp}(t + t_{cm}) \frac{c_{мс}}{A_n}} \text{ км.} \quad (98)$$

Из сравнения приведённых формул определения оптимальной длины перегона видно, что  $\frac{d\mathcal{E}_{nacc}}{dl_0} > \frac{dT}{dl_0}$ , так как подрадикальное выражение при  $\frac{d\mathcal{E}_{nacc}}{dl_0}$  больше на величину стоимости расхода энергии и стоимости содержания моторвагонного подвижного состава.

При полной оценке элементов, связанных с длиной перегона (расход на содержание бригад, износ подвижного состава, верхнего строения пути и др.), получим действительное значение оптимальной длины перегона.

Если принять условно  $c_{пасс} = 4$  коп., стоимость потери энергии, связанной с остановкой поезда, 5 р. 45 к. при цене 1 квт-ч 8 коп., то при средней населённости поезда  $A_n$  дополнительные расходы на одного пассажира составят 0,6 коп.; дополнительные потери в обороте моторвагонного подвижного состава при строительной стоимости одного моторного вагона 554 тыс. рублей можно принять 0,7 коп. на каждую минуту передвижения пассажира.

При указанных условиях получим, что транспортные расходы, связанные с остановкой поезда, составят минимально  $\frac{0,6+0,7}{4}100 = 35\%$  расходов, связанных с передвижением пассажира.

Таким образом, оптимальная длина перегона при комплексной оценке для рассматриваемого примера составит

$$l_0 = \sqrt{1,35 \frac{1,2 \cdot 0,7 \cdot 15 \cdot 3,6}{30}} \approx \sqrt{2,04} \approx 1,4 \text{ км.}$$

Если учесть также дополнительные расходы на содержание поездных бригад и износ подвижного состава и рельсов, обусловленные каждой остановкой поезда, то получим, что оптимальная длина перегона на железнодорожном диаметре составляет примерно 1,5 км.

Полученные теоретические значения оптимальных длин перегонов подлежат корректировке в каждом конкретном случае в зависимости от мощности и конфигурации пассажиропотоков, особенностей обслуживаемых районов города и реальных условий трассировки линий подземного железнодорожного диаметра.

Изложенная выше методика определения оптимальной длины перегона на железнодорожном диаметре может быть использована также для расчёта оптимальных длин перегонов на наземных пригородных линиях с внесением соответствующих коррективов, обусловленных их работой.

При размещении отдельных пунктов на наземных пригородных линиях особое внимание должно быть уделено размещению зонных станций, требующих сравнительно больших капиталовложений на их сооружение.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ЗОН НА ПРИГОРОДНЫХ УЧАСТКАХ, ПРИМЫКАЮЩИХ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ДИАМЕТРУ

Для определения возможного числа пригородных линий, примыкающих к железнодорожному диаметру, а следовательно, и числа зон, которое может быть выведено на диаметр, и разработки

сквозных графиков движения поездов необходимо исходить из условий зонного графика, получившего широкое применение на пригородных участках магистральных железных дорог.

Как известно, общая теория зонного графика, разработанная проф. Фроловым, предусматривает сравнение обыкновенного (параллельного) и зонного (непараллельного) графиков по пробегу поездокилометров, расходу поездоочасов, пропускной способности пригородных участков и затрате пассажирочасов на передвижение. Если исходить из одной и той же частоты движения и населённости поездов при параллельном и зонном графиках, то, естественно, что переход на зонный график даёт сокращение поездокилометров пробега и поездоочасов работы, т. е. сокращает расходы железной дороги.

Пропускная способность пригородного участка при параллельном графике может быть определена по формуле

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{3600}{I_{\min}},$$

где  $I_{\min}$  — минимальный (расчётный) интервал между поездами параллельного графика в секундах.

Пропускная способность зонного (непараллельного) графика, по которому организовано движение поездов с различными скоростями движения, «тихоходов», имеющих остановки на всех станциях по пути следования, и «скороходов», следующих без остановки по предшествующим зонам и останавливающихся только на станциях зон назначения этих поездов, может быть определена по формуле

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{60\kappa}{T_{\text{пер}}^{\text{пак}}}, \quad (99)$$

где  $\kappa$  — число поездов в пакете;

$T_{\text{пер}}^{\text{пак}}$  — период графика.

Как видно из формулы (99), пропускная способность непараллельного графика определяется числом поездов в пакете и периодом графика.

Для создания равномерного интервала между поездами отдельных зон наиболее целесообразным является группировка пакетов по прибытию сначала поездов ближних зон, а затем дальних и по отправлению сначала дальних, а затем ближних.

Тогда период графика составит

$$T_{\text{пер}}^{\text{пак}} = I_{\min}(\kappa - 1) + \Delta_s + I_{\text{пр}}, \quad (100)$$

где  $I_{\text{пр}}$  — интервал прибытия между поездами неодинаковой скорости;

$\Delta_s$  — зонный интервал как разность во времени между «тихоходом» и «скороходом», т. е.

$$\Delta_s = \frac{l_s}{v_{\text{уч}}^{\text{тих}}} - \frac{l_s}{v_{\text{уч}}^{\text{ск}}}, \quad (101)$$

где  $l_s$  — длина зоны в км;

$v_{уч}^{тих}$  — участковая скорость «тихохода» в км/час;

$v_{уч}^{ск}$  — участковая скорость «скорохода» в км/час.

Если принять, что  $I_{min} = I_{np}$ , то период графика определится по формуле

$$T_{пер}^{пак} = I_{min} \kappa + \Delta_s.$$

Таким образом, максимальная пропускная способность первой зоны пригородного участка составляет

$$N_{max}^{час} = \frac{60\kappa}{I_{min} \kappa + \Delta_s}. \quad (102)$$

Из приведённых формул наглядно видно, что при переходе на зонный график расчётный интервал увеличивается на величину  $\frac{\Delta_s}{\kappa}$  с соответствующим снижением пропускной способности участка.

В отношении же расхода пассажирочасов сравнение параллельного и зонного графиков показывает, что при параллельном графике с пробегом поездов по всему участку пригородный пассажир любой зоны затрачивает меньше времени на ожидание поезда, так как имеет возможность выехать любым поездом. Время ожидания пригородным пассажиром поезда может ориентировочно приниматься равным половине расчётного интервала между поездами, т. е.

$$t_{ож} = \frac{I_{min}}{2}.$$

При зонном графике пригородный пассажир вынужден ожидать отправления поезда своей зоны, имеющего остановки на каждом остановочном пункте данной зоны.

В этом случае время ожидания пассажиром поезда определяется величиной

$$t_{ож} = \frac{60}{2r_n},$$

где  $r_n$  — среднее число пакетов в час.

В соответствии с этим суточная затрата времени всех пассажиров на проезд в одном направлении при параллельном графике составит

$$\left( \frac{L}{v_x p} + t \right) \left[ a_1 + 2a_2 + 3a_3 + sa_k + (s+1)b_1 + (s+2)b_2 + \dots + (s+r)b_k + \dots + (s+r+u)m_k \right] + \frac{I_{min}}{2} (a_1 + a_2 + \dots + b_1 + b_2 + \dots + m_k). \quad (103)$$

При зонном графике соответственно получим:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{L_1}{v_x s} + t \right) (a_1 + 2a_2 + 3a_3 + \dots + sa_s) + \frac{60}{2r_n} (a_1 + a_2 + \dots + a_s) + \\ & + \left( \frac{L_2 - L_1}{v_x r} + t \right) (b_1 + 2b_2 + 3b_3 + \dots + rb_r) + \\ & + \left( \frac{60}{2r_n} + \frac{L_1}{v_x} \right) (b_1 + b_2 + \dots + b_r) + \dots + \\ & + \left( \frac{L - L_{k-1}}{v_x u} + t \right) (m_1 + 2m_2 + 3m_3 + \dots + um_k) + \\ & + \left( \frac{60}{2r_n} + \frac{L_{k-1}}{v_x} \right) (m_1 + m_2 + \dots + m_k), \end{aligned} \quad (103a)$$

где  $a_1, a_2, \dots, m_k$  — суточный пассажиропоток между отдельными пунктами пригородного участка;

$L_1, L_2, \dots, L_{k-1}, L_k$  — протяжённость зон от головной станции;

$p = s + r + u$  — число отдельных пунктов на пригородном участке с разбивкой по зонам ( $s, r, u$ );

$t$  — средняя стоянка пригородного поезда на остановочном пункте с учётом потери времени на разгон и замедление;

$v_x$  — средняя ходовая скорость.

Анализ приведённых формул для параллельного и непараллельного (зонного) графика показывает, что зонный график обеспечивает сокращение затраты поездок километров и расхода поездочасов и поэтому для железной дороги всегда даёт сокращение расходов. Однако с точки зрения интересов пассажиров обслуживание пригородного движения непараллельным (зонным) графиком оправдывает себя только при больших размерах транзитных пассажиропотоков, так как пассажиры ближних зон при введении зонного графика вследствие неизбежного снижения частоты движения поездов, обслуживающих эти зоны, всегда проигрывают на ожидании поездов своих зон и экономия времени при этом достигается только для пассажиров более дальних зон в связи с устранением излишних для них остановок на каждом остановочном пункте.

Разработанная проф. Фроловым теория зонного графика была в дальнейшем развита проф. Васильевым И. И. в направлении определения наиболее экономичного числа зон для пригородного движения в зависимости от протяжения пригородных участков, интенсивности пригородного пассажиропотока и изменения пассажиропотоков в пунктах наибольшей посадки или высадки пассажиров<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Проф. И. И. Васильев. Определение оптимального числа зон пригородного пассажирского движения. Труды ЛИИЖТ, вып. 138. Транспорт, 1948.

Оптимальное число зон в пригородном движении исходя из минимального расхода пассажирочасов определяется по следующей формуле:

$$x = \pi \sqrt{\frac{M_{cm}^{cp} \tau}{m}}, \quad (104)$$

где  $\pi$  — общее число обслуживаемых станций на пригородном участке;

$M_{cm}^{cp}$  — среднее число пассажиров в час по остановочному пункту;

$\tau$  — дополнительная затрата времени на каждую остановку (разгон, стоянка и замедление);

$m$  — число пассажиров в поезде.

Анализ приведённой формулы показывает, что с увеличением числа обслуживаемых станций  $\pi$  на пригородном участке и мощности пассажиропотока  $M_{cm}^{cp}$  увеличивается расчётное число зон.

Однако уменьшение величины  $\tau$ , т. е. потери времени, связанной с разгоном и замедлением поезда на каждой остановке, и увеличение населённости пригородных поездов  $m$  вызывает сокращение расчётного числа зон.

При необходимости установления оптимального числа зон в конкретных условиях должно быть произведено также технико-экономическое сравнение вариантов с учётом необходимых капиталовложений, связанных с устройством зонных станций, приобретением потребного подвижного состава и общими расходами.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ПРИМЫКАЮЩИХ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ДИАМЕТРУ ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЙ И ОБСЛУЖИВАЕМЫХ ЗОН

Изучение зонного графика показывает, что:

а) пропускная способность пригородных участков определяется пропускной способностью первой зоны, которая должна обеспечивать пропуск поездов всех зон участка («скороходов» и «тихоходов»);

б) число зон на пригородном участке в зависимости от мощности пассажиропотока, протяжённости пригородного участка и числа раздельных пунктов на нём изменяется в довольно широких границах.

Исходя из этого определение числа пригородных линий, примыкающих к железнодорожному диаметру, зависит от следующих основных факторов:

1) мощности пригородного пассажиропотока и растекания пригородных пассажиров рассматриваемых линий по различным районам города;

2) пропускной способности железнодорожного диаметра;

3) выбранной схемы специализации поездов, определяющей условия и число поездов, направляемых с пригородных линий на железнодорожный диаметр и на тупиковые станции.

Мощность пассажиропотока и характер растекания пригородных пассажиров каждой пригородной линии по районам города определяются специальным экономическим обследованием, результаты которого кладутся в основу всего проекта сооружения железнодорожного диаметра.

Пропускная способность подземного железнодорожного диаметра при оборудовании его наиболее совершенными устройствами СЦБ — системой непрерывной авторегулировки — может обеспечить пропуск в интенсивный час движения 40—42 пар поездов.

При указанных условиях число линий, выводимых на железнодорожный диаметр, будет в свою очередь определяться организацией движения поездов на диаметре, т. е. системой использования пропускной способности диаметра, а именно:

а) пропуском только пригородных поездов, обслуживающих также и городских пассажиров;

б) выделением части пропускной способности для чисто городских поездов с обращением их в пределах городской части диаметра.

В первом случае, т. е. когда пропускная способность железнодорожного диаметра используется только для пропуска пригородных поездов, число пригородных линий, выводимых на диаметр, может быть определено по формуле

$$p = \frac{N_{\max}^{\text{диам}}}{\alpha N_{\max}^{\text{пр}}}, \quad (105)$$

где  $p$  — число пригородных линий, выводимых на железнодорожный диаметр;

$N_{\max}^{\text{диам}}$  — максимальная пропускная способность железнодорожного диаметра в час;

$N_{\max}^{\text{пр}}$  — максимальная пропускная способность первой зоны пригородной линии в час;

$\alpha$  — число пригородных поездов, отклоняемых на железнодорожный диаметр, в %.

Однако этот вариант использования пропускной способности железнодорожного диаметра для пропуска только пригородных поездов не может быть положен в основу расчётов, так как он не учитывает интересов городских пассажиров и необоснованно снижает эксплуатационные требования к сооружению подземных железнодорожных диаметров.

Во втором случае число выводимых на диаметр линий корректируется введением коэффициента  $\beta$ , т. е.

$$p = \frac{\beta N_{\max}^{\text{диам}}}{\alpha N_{\max}^{\text{пр}}}, \quad (106)$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий использование части пропускной способности железнодорожного диаметра для пропуска городских поездов, обращающихся только в пределах городской части железнодорожного диаметра.

Изменение величины  $\alpha$  (процент пригородных поездов, отклоняемых на железнодорожный диаметр) можно принять в границах 0,5—0,8 и изменение величины  $\beta$ , определяющей долю пропускной способности диаметра, выделяемую для пропуска пригородных поездов, — в границах 0,7—0,8. Максимальная пропускная способность пригородного участка (первой зоны) при числе поездов в пакете  $\kappa = 4$ ,  $I_{\min}^{np} = 3$  мин. и  $\Delta_s = 5$  мин. составит

$$N_{\max}^{np} = \frac{60\kappa}{I_{\min}^{np} \kappa + \Delta_s} = \frac{60 \cdot 4}{3 \cdot 4 + 5} = \frac{240}{17} \approx 14 \text{ пар.}$$

Произведённые для данных условий расчёты показывают, что число пригородных линий, которое может быть выведено на железнодорожный диаметр при изменении его пропускной способности в пределах 30—40 пар поездов в час и изменении величин  $\alpha$  в границах 0,5—0,8 при  $\beta = 0,7$ , составляет в среднем от 2 до 3 линий, а при  $\beta = 0,8$  — от 2 до 4.

Если принять расчётную пропускную способность железнодорожного диаметра в 40 пар поездов в час,  $\beta = 0,7$  и  $\alpha = 0,7$ , то число пригородных линий, которое по условиям пропускной способности может быть выведено с каждой стороны диаметра, составляет не более трёх.

Приведённые в разделе «Эксплуатационно-техническая характеристика железнодорожных диаметров» принципиальные схемы примыкания железнодорожного диаметра к наземным пригородным линиям определяют следующие условия организации движения:

а) при наличии мощных пассажиропотоков к железнодорожному диаметру может примыкать одна или две пригородные линии, которые уравниваются одной или двумя пригородными линиями с другого конца диаметра.

Указанный вариант обеспечивает большую гибкость в работе железнодорожного диаметра и значительно облегчает регулировку движения при различных отклонениях от графиков движения поездов;

б) при меньших пассажиропотоках с одного конца железнодорожного диаметра могут примыкать две-три пригородные линии, пассажиропотоки которых уравниваются также двумя или тремя пригородными линиями на противоположном конце диаметра.

При указанных условиях требуется большой резерв в пропускной способности железнодорожного диаметра и несколько осложняется регулировка движения.

Вывод на железнодорожный диаметр более трёх пригородных линий практически нецелесообразен, тем более что при этом ухуд-

шается обслуживание пригородных пассажиров за счёт снижения частоты движения.

Установление числа пригородных линий, которое может примыкать к железнодорожному диаметру, позволяет определить также число зон, обслуживаемых диаметром.

Указанное число зон может быть определено по следующей формуле:

$$x = \frac{\beta N_{\max}^{\text{диам}}}{\varphi n_{\text{зон}}}, \quad (107)$$

где  $x$  — число зон, обслуживаемых диаметром;

$\beta N_{\max}^{\text{диам}}$  — пропускная способность железнодорожного диаметра, выделяемая для пригородных поездов;

$n_{\text{зон}}$  — число пригородных поездов каждой из зон в час, определяемое из условий минимальной частоты движения (4 поезда в час при  $I_{\min}^{\text{зон}} = 15$  мин.);

$\varphi$  — коэффициент, учитывающий увеличение числа поездов по сравнению с минимальным для зон, где обрабатывается более четырёх поездов в час.

Так, например, если принять, что для пропуска пригородных поездов выделяется пропускная способность диаметра, равная  $\beta N_{\max}^{\text{диам}} = 30$  пар,  $n_{\text{зон}} = 4$  и  $\varphi = 1,1$ , то получим

$$x = \frac{\beta N_{\max}^{\text{диам}}}{\varphi n_{\text{зон}}} = \frac{30}{1,1 \cdot 4} \approx 7 \text{ зон.}$$

Что касается вопроса о том, какие зоны выводить на железнодорожный диаметр, то необходимо исходить из следующих основных предпосылок:

1) на тупиковые станции целесообразно выводить пригородные поезда дальних зон, имеющих сравнительно небольшие размеры движения (3—4 пары поездов в час максимального движения), исключая их деление на две части, т. е. для направления на тупиковую станцию и железнодорожный диаметр;

2) при наличии больших размеров пассажиропотока представляется возможным выпускать часть поездов дальних зон на железнодорожный диаметр, что должно быть подтверждено необходимыми расчётами.

Минимальная потребная мощность пассажиропотока дальней зоны для вывода её на железнодорожный диаметр может быть определена по следующей формуле:

$$P_{\text{сут}}^{\text{дз}} = \frac{n_{\min}^{\text{дз}} a_{\min}^{\text{дз}}}{\psi}, \quad (108)$$

где  $P_{сут}^{дс}$  — суточный пассажиропоток дальней зоны;  
 $n_{мин}^{дс}$  — минимальное число поездов дальней зоны в час;  
 $a_{мин}^{дс}$  — минимальная населённость поезда в неинтенсивные часы движения;  
 $\psi$  — процент суточного пассажиропотока, приходящийся на неинтенсивные часы движения.

Учитывая, что при восьмивагонных составах поездов  $a_{мин}^{дс} = 500$  пассажиров (из расчёта 50% заполнения мест для сиденья, т. е.  $128 \cdot 0,5 \cdot 8 \approx 500$  пассажиров) и  $\psi = 0,04$ , находим, что минимальный суточный пассажиропоток дальней зоны должен составлять примерно 38 тыс. пассажиров.

При необходимости можно предусматривать формирование поездов дальних зон из двух частей: одной, следующей на диаметр, и второй — на тупиковую станцию.

В последнем случае поезд расцепляется на станции примыкания и каждая часть следует по своему назначению, причём в обратном направлении происходит объединение указанных частей, т. е. предусматривается обращение пригородных поездов с формированием их по принципу групповых поездов.

При незначительных размерах пассажиропотока, не позволяющих выпускать поезда дальних зон на диаметр, в качестве одного из вариантов может быть предусмотрено объединение двух смежных зон с выпуском поездов объединённых зон на диаметр.

В этом случае пассажиры объединённых зон будут иметь некоторую потерю времени при передвижении вследствие некоторого снижения участковой скорости (увеличение стоянок, потери на разгон и замедление) по объединённым зонам, но эта потеря времени будет компенсироваться преимуществами беспересадочного сообщения пригородных пассажиров дальних зон с центральными районами города.

В качестве одного из вариантов при одностороннем направлении пригородных поездов дальних зон на диаметр или в тупик может быть предусмотрена также пересадка части пассажиров на станции примыкания подземного железнодорожного диаметра к наземным пригородным линиям.

### 5. СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПЕЗДОВ И РАСЧЁТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ИХ ПО ОТДЕЛЬНЫМ КАТЕГОРИЯМ

Поезда, обращающиеся по железнодорожному диаметру и наземным пригородным линиям, можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) целевому признаку — на городские и пригородные;
- 2) условиям обращения и дальности пробега — на сквозные, зонные и обращающиеся по колебательному графику;

3) скоростям движения — на «тихоходы» и «скороходы».

Городские поезда назначаются исключительно для перевозки в пределах железнодорожного диаметра городских пассажиров с оборотом составов по конечным станциям железнодорожного диаметра либо по зонным станциям, сооружаемым на железнодорожном диаметре в пунктах резкого перелома пассажиропотоков.

Пригородные поезда предназначаются преимущественно для перевозки пригородных пассажиров, однако в пределах железнодорожного диаметра указанные поезда могут использоваться и для перевозки городских пассажиров.

В целях создания больших удобств для пассажиров, ускорения оборота составов и сокращения пробега поездов последние по дальности пробега и условиям обращения делятся на: сквозные, обращающиеся в пределах диаметра и одной из пригородных линий, примыкающей к нему; зонные, обращающиеся только в пределах части обслуживаемой линии и заканчивающие своё движение на зонных станциях диаметра; колебательного графика, пропускаемые через железнодорожный диаметр с одной пригородной линии на другую.

По скоростям движения пригородные поезда делятся на «тихоходы», имеющие остановки на всех станциях или только в пределах части зон своего маршрута следования, и «скороходы», имеющие остановки только в пределах одной из зон и проходящие без остановок все остальные зоны по маршруту своего следования.

Расчёт потребного числа поездов с разбивкой их по отдельным категориям может быть произведён по следующей методике.

1. Число поездов в час интенсивного движения для обслуживания пригородных линий, примыкающих к железнодорожному диаметру, определяется по следующей формуле:

$$\sum N_{\max}^{\text{час}} = \frac{P'_{сут} \psi}{A'_n} + \frac{P''_{сут} \psi}{A''_n} + \dots + \frac{P^{\kappa}_{сут} \psi}{A^{\kappa}_n}, \quad (109)$$

где  $P'_{сут}, \dots, P^{\kappa}_{сут}$  — суточный поток пригородных пассажиров в одном направлении по каждой из пригородных линий;

$\psi$  — процент пассажиров, приходящийся на час интенсивного движения;

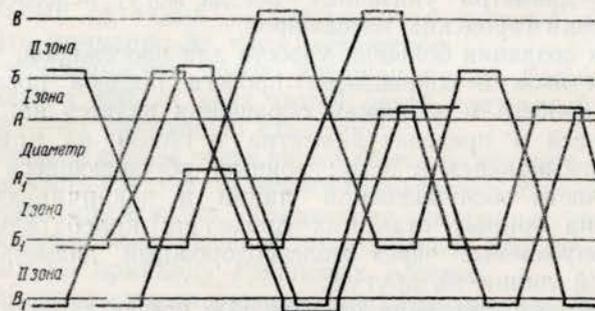
$A'_n, \dots, A^{\kappa}_n$  — населённость поезда в час интенсивного движения.

2. Число пригородных поездов, отклоняемых в час интенсивного движения на железнодорожный диаметр, определяется исходя из суточного пассажиропотока, коэффициента часовой неравномерности в период интенсивного движения и населённости поезда по следующей формуле:

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{\beta' P_{\text{сут}} \psi}{A_n} + \frac{\beta'' P_{\text{сут}} \psi}{A_n'} + \dots + \frac{\beta^k P_{\text{сут}}^k \psi}{A_n^k}, \quad (110)$$

где  $\beta$  — процент пригородных поездов, отклоняемых на железнодорожный диаметр.

3. Число пригородных поездов, пропускаемых в час интенсивного движения через железнодорожный диаметр по маятниковому графику (фиг. 49), определяется с учётом того, что пунктами обо-



Фиг. 49. График маятникового движения между пригородными линиями, примыкающими к железнодорожному диаметру

рота для составов моторвагонных поездов являются как зонные станции пригородных линий, так и конечные станции железнодорожного диаметра, на которых заканчивают движение пригородные поезда соответствующих зон после проследования диаметра.

При этом обслуживание поездов маятниковым графиком может быть организовано прикрепленными или сменными составами.

Если на рассматриваемых пригородных линиях пригородные поезда в течение суток распределяются равномерно как по прибытию, так и по отправлению, то построение графика с маятниковым движением не вызывает трудностей.

Однако в большинстве случаев на пригородных линиях распределение пассажиропотоков в течение суток неравномерно, т. е. обычно утром имеет место массовое прибытие поездов в город, а вечером — отправление.

При указанных условиях размеры движения по прибытию и отправлению на противоположных пригородных линиях, примыкающих к диаметру, не совпадут и, следовательно, не все составы будет целесообразно пропускать с одного участка на другой по маятниковому графику.

Оборот составов, не участвующих в маятниковом движении (между пригородными линиями), может осуществляться на зонных станциях либо на конечных станциях железнодорожного диаметра.

Расчёт необходимого числа пригородных поездов, обращающихся по колебательному графику, может быть произведён по формуле:

$$N_{\text{час}}^{\text{колеб}} = 4 \sum x_{\text{зон}}, \quad (111)$$

где  $\sum x_{\text{зон}}$  — число зон, обслуживаемых железнодорожным диаметром по колебательному графику;

4 — соответствует минимальному числу поездов каждой зоны исходя из 15-минутного интервала между поездами.

Расчётный интервал между поездами 15 мин. принят на том основании что дальнейшее увеличение его вызовет чрезмерное накопление пассажиров на платформах подземного диаметра и ухудшит обслуживание пассажиров.

Расчёт числа поездов маятникового графика производится исходя из минимально возможной частоты обслуживания зон, имея в виду, что периоду наиболее интенсивного прибытия пригородных пассажиров в город соответствует наименьшее отправление пассажиров из города на примыкающие пригородные линии.

4. Число пригородных поездов, оборачивающихся на зонных станциях железнодорожного диаметра, определяется исходя из общего числа пригородных поездов, отклоняемых на железнодорожный диаметр, за исключением поездов колебательного графика, т. е.

$$N_{\text{час}}^{\text{зон}} = N_{\text{час}}^{\text{диам}} - N_{\text{час}}^{\text{колеб}}, \quad (112)$$

где  $N_{\text{час}}^{\text{зон}}$  — число пригородных поездов, заканчивающих движение на зонных или конечных станциях железнодорожного диаметра.

5. Число городских поездов, обращающихся по железнодорожному диаметру с оборотом их по станциям примыкания, может быть определено по формуле

$$N_{\text{час}}^{\text{гор}} = \frac{\alpha_ч P_{\text{сут}}^{\text{гор}}}{A_n}, \quad (113)$$

где  $P_{\text{сут}}^{\text{гор}}$  — суточный поток городских пассажиров, обслуживаемых диаметром в одном направлении;

$\alpha_ч$  — процент пассажиров, приходящийся на час интенсивного движения.

6. Суточное число поездов, обращающихся на подземном железнодорожном диаметре, может быть определено по формуле

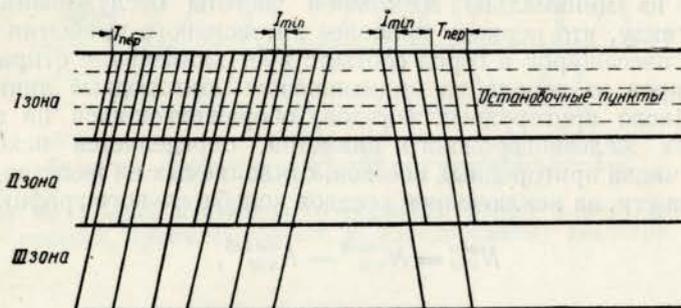
$$N_{\text{сут}}^{\text{диам}} = \psi_I N_{\text{час}}^{\text{колеб}} + \psi_{II} N_{\text{час}}^{\text{зон}} + \psi_{\text{гор}} N_{\text{час}}^{\text{гор}}, \quad (114)$$

где  $\psi$  — процент, учитывающий на основании практических данных соотношение между суточным числом поездов и числом поездов в час интенсивного движения.

## 6. РАЗРАБОТКА СКВОЗНЫХ ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ Поездов на ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДИАМЕТРЕ и ПРИМЫКАЮЩИХ НАЗЕМНЫХ ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЯХ

Сооружение железнодорожного диаметра, на котором предусматривается обращение свыше 40 пар поездов в час, предъявляет высокие требования к организации движения в условиях смешанной работы моторвагонного подвижного состава на подземном железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях.

При разработке сквозных графиков необходимо обеспечить в интенсивные часы полное использование пропускной способности железнодорожного диаметра и ближних зон пригородных участков и вместе с тем установить наиболее рациональное согласование расписаний поездов, обращающихся на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях.



Фиг. 50. Параллельный график движения поездов

Наиболее сложным является согласование работы железнодорожного диаметра с примыкающими пригородными линиями при организации маятниковой движения пригородных поездов, т. е. при пропуске пригородных поездов через город по диаметру с одной пригородной линии на другую.

Для правильной разработки графиков движения поездов на железнодорожном диаметре необходимо предварительно определить пропускную способность ближних зон пригородных участков и установить основные принципы организации движения при зонном и колебательном графиках.

Как известно, к крупным столичным центрам обычно примыкают двухпутные линии, а особенно загруженные по пригородному движению направления имеют три или четыре пути с выносом пассажирского движения на самостоятельные пути. Выделение самостоятельных, изолированных путей для пассажирского движения имеет особо важное значение при организации колебательного движения и значительно упрощает в этом случае увязку графика движения поездов по железнодорожному диаметру и примыкающими к нему пригородными линиями.

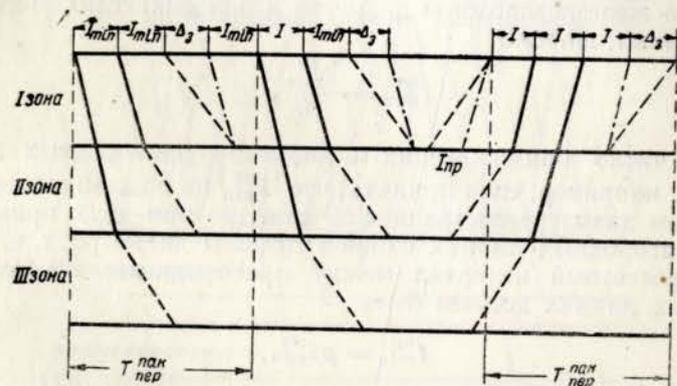
В зависимости от конкретных условий на пригородных участках могут получить применение следующие типы графиков:

1) параллельный график, предусматривающий остановку всех поездов на всех остановочных пунктах рассматриваемых зон.

Как видно из фиг. 50, параллельный график создаёт по частоте движения наиболее благоприятные условия для пассажиров ближних зон, но ухудшает обслуживание пассажиров дальних зон в связи с наличием излишних для этой категории пассажиров остановок;

2) непараллельный график, предусматривающий обращение поездов разных скоростей, т. е. «тихоходов» и «скороходов» (фиг. 51).

Как известно, пропускная способность зонного (непараллельного) графика, предусматривающего остановку поездов только в пределах той зоны, которую он обслуживает, и безостановочное



Фиг. 51. Непараллельный график движения поездов

движение в пределах предшествующих зон по сравнению с параллельным графиком, получившим применение на городских железных дорогах, снижается на величину  $\frac{\Delta_z}{k}$ , т. е.

$$N_{\max}^{\text{час}} = \frac{60k}{T_{\text{пак}}} = \frac{60k}{I_{\min}k + \Delta_z},$$

где  $k$  — число группируемых поездов в пакете.

При этом для создания наиболее равномерного интервала между поездами отдельных зон целесообразно группировать по прибытию на конечную станцию поезда ближних зон, а затем дальних и по отправлению — вначале дальних, а затем ближних зон.

Особенностью организации движения при смешанных условиях работы моторвагонного подвижного состава на подземном железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях является необходимость увязки параллельного графика железнодорожного

диаметра и зонного (непараллельного) графика наземных пригородных линий.

При примыкании к диаметру двух пригородных линий построение колебательного графика должно вестись при обязательном обеспечении следующего условия:

$$\frac{60}{I_{min}^{cm}} = \beta' \frac{60\kappa'}{I_{min} \kappa' + \Delta_s} + \beta'' \frac{60\kappa''}{I_{min} \kappa'' + \Delta_s} + N_{час}^{zop}, \quad (115)$$

где  $\beta'$  и  $\beta''$  — число отклоняемых на железнодорожный диаметр поездов с пригородных линий в %.

Для создания наибольшей гибкости в работе железнодорожного диаметра и примыкающих пригородных линий целесообразно также обеспечить следующее соотношение между расчётным интервалом на железнодорожном диаметре и примыкающих наземных пригородных линиях:

$$I_{min}^{cm} = \frac{I_{min}^{np}}{p},$$

где  $p$  — число примыкающих к диаметру пригородных линий.

Так, например, если принять, что  $I_{min}^{cm}$  на подземном железнодорожном диаметре составляет 90 сек., то при двух примыкающих пригородных линиях с одной стороны диаметра, т. е. когда  $p = 2$ , расчётный интервал между пригородными поездами на наземных линиях должен быть

$$I_{min}^{np} = p I_{min}^{cm}, \quad (116)$$

т. е.  $I_{min}^{np} = 2 \cdot 90 = 180$  сек., или 3 мин.

В основу построения графика движения моторвагонных поездов на диаметре и наземных пригородных линиях должен быть положен принцип типовой группировки пригородных и городских поездов в пакете.

Построение типового пакета должно отвечать следующим требованиям:

1. Число поездов в пакете должно быть равно числу обслуживаемых зон  $x$  и соответствующему числу городских поездов, обращающихся только в пределах диаметра.

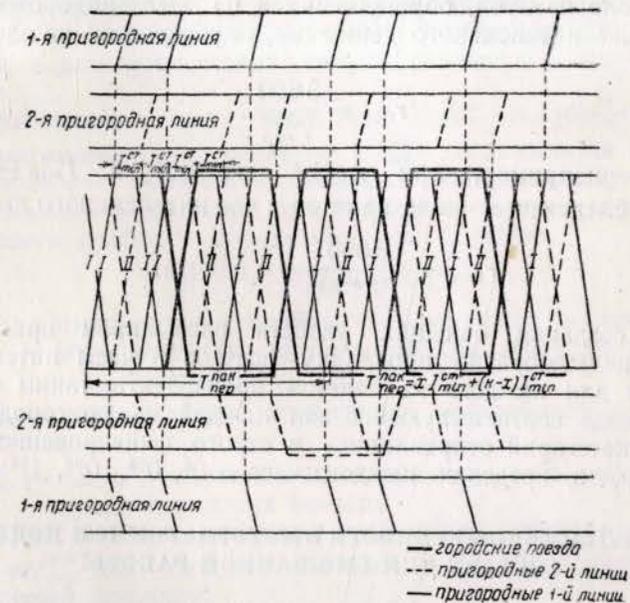
При более интенсивном пассажиропотоке на отдельных зонах в пакете должна быть предусмотрена возможность прокладки дополнительных поездов соответствующих зон.

Так, например, при обслуживании диаметром 7 зон примыкающих двух пригородных линий и удельном весе городских поездов 30% от общего числа поездов железнодорожного диаметра получим, что в пакете должно быть  $\frac{7}{0,7} \approx 10$  поездов, из которых семь поездов назначением на каждую зону пригородного уча-

стка и три поезда городских, курсирующих только в пределах железнодорожного диаметра.

2. Распределение поездов внутри пакета должно быть произведено исходя из основного принципа равномерной прокладки поездов каждой категории (городских и пригородных).

Так, например, при семи пригородных поездах, направляемых на две пригородные линии, и трёх городских поездах чередование их в пакете должно производиться с таким расчётом, чтобы го-



Фиг. 52. Типовой пакет графика движения поездов на железнодорожном диаметре и примыкающих пригородных линиях

родские поезда прокладывались через три «нитки» и пригородные поезда любой из зон каждой из примыкающих пригородных линий обращались через одну «нитку».

3. Прокладка поездов в пакете на железнодорожном диаметре должна производиться с расчётным интервалом между ними, равным  $I_{min}^{cm}$ .

Выпуск же поездов со станции примыкания на каждую пригородную линию, примыкающую к диаметру, должен производиться исходя из расчётного интервала между поездами пригородных наземных линий, т. е.  $I_{min}^{np} = p I_{min}^{cm}$ .

Типовой пакет на железнодорожном диаметре приведён на фиг. 52.

Период пакета на железнодорожном диаметре может быть определен по следующей формуле:

$$T_{пер}^{пак} = x I_{мин}^{см} + (\kappa - x) I_{мин}^{см}, \quad (117)$$

где  $x$  — число зон, обслуживаемых железнодорожным диаметром;  
 $\kappa$  — число поездов в пакете;

$I_{мин}^{см}$  — расчётный интервал между поездами на железнодорожном диаметре.

4. Число пакетов, обращающихся на железнодорожном диаметре в час интенсивного движения, определяется по следующей формуле:

$$r_{пак} = \frac{3600}{T_{пер}^{пак}}. \quad (118)$$

Так, например, при  $\kappa=10$  поездов и  $I_{мин}^{см}=90$  сек. получим следующее число пакетов в час интенсивного движения:

$$r_{пак} = \frac{3600}{10 \cdot 90} = 4 \text{ пакета.}$$

Для создания больших удобств пассажирам пригородных поездов целесообразно прокладку поездов в часы интенсивного движения для каждого из пакетов производить таким образом, чтобы поезда соответствующих зон каждой из пригородных линий или категорий отправлялись в строго фиксированное время (например, в пределах каждого часа в  $0^5$ ,  $0^{20}$ ,  $0^{35}$ ,  $1^{00}$  и т. д.).

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МОТОРВАГОННОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ДЛЯ СМЕШАННОЙ РАБОТЫ

Определение потребности в моторвагонном подвижном составе для условий смешанной работы на подземном железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях может быть произведено двумя способами.

1. Исходя из заданных размеров пассажиропотока, дальности поездки пригородного и городского пассажира и суточной производительности вагона.

Потребное число вагонов в этом случае может быть определено по следующей формуле:

$$n = \frac{P_{сут} l_{ср}}{g_s s}, \quad (119)$$

где  $n$  — потребное число вагонов;

$P_{сут}$  — суточный пассажиропоток;

$l_{ср}$  — средняя дальность поездки пассажира в км;

$g_s$  — средняя населённость вагона;

$s$  — среднесуточный пробег вагона в км.

Определение необходимого числа моторных и прицепных вагонов производится исходя из принятой схемы секции.

2. По режиму работы подземного железнодорожного диаметра и примыкающих к нему наземных пригородных линий в час интенсивного движения.

Учитывая специфические условия работы подземного железнодорожного диаметра, требующего обеспечения пропуска 40 пар поездов в час интенсивного движения, расчёт потребного моторвагонного подвижного состава производится отдельно для поездов, обращающихся в пределах только городской части диаметра, и для пригородных поездов сквозного и маятниково-графиков.

Как указывалось выше, часть пропускной способности подземного железнодорожного диаметра ( $N_{max}^{час}$ ) используется для пропуска городских поездов. Остаточная пропускная способность железнодорожного диаметра для пропуска поездов сквозного и маятниково-графиков определяется по формуле

$$N_{max}^{np} = N_{max}^{час} - \alpha N_{max}^{час}, \quad (120)$$

где  $N_{max}^{np}$  — пропускная способность подземного железнодорожного диаметра, выделяемая для пропуска пригородных поездов;

$N_{max}^{час}$  — максимальная пропускная способность диаметра в час;

$\alpha N_{max}^{час}$  — часть пропускной способности, выделяемая для пропуска городских поездов.

Потребность в моторвагонном подвижном составе для обеспечения  $\alpha N_{max}^{час}$  пар городских поездов может быть установлена по следующей формуле:

$$K_{гор} = \alpha N_{max}^{час} t_{гор}, \quad (121)$$

где  $t_{гор}$  — время оборота состава городских поездов.

Потребность в моторвагонном подвижном составе для обеспечения  $N_{max}^{np}$  пар поездов сквозного и маятниково-графиков может быть определена по формуле

$$K_{np} = N_{max}^{np} t_{np}, \quad (122)$$

где  $t_{np}$  — время оборота состава пригородных поездов.

Величина  $t_{np}$  определяется по формуле

$$t_{np} = 2[(t_1 + t_2) + t_{ос}],$$

где  $t_1$  — время пробега поезда по диаметру;

$t_2$  — время пробега поезда по пригородным участкам;

$t_{ос}$  — время оборота состава на зонных станциях.

Общая потребность в вагонах рабочего парка по режиму интенсивного часа составит:

$$K = K_{гор} + K_{np}. \quad (123)$$

Потребное число вагонов инвентарного парка с учётом больших вагонов, резерва и т. д. может быть определено по формуле

$$K_{инв} = \frac{K}{\alpha}, \quad (124)$$

где  $\alpha$  — коэффициент использования моторвагонного подвижного состава.

Графический способ определения потребного числа моторвагонного подвижного состава для выполнения заданного объёма пригородных пассажирских перевозок является более точным, так как он наглядно отражает для каждого поезда выход с начального пункта, движение по участку и стоянки состава в пунктах оборота. Графический расчёт потребного числа секций производится на основе графика движения поездов в час максимальных размеров движения.

При построении графика движения поездов и оборота составов в каждом конкретном случае в целях сокращения потребного числа секций может быть предусмотрен засыл составов в направлении неинтенсивного движения.

### 8. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНЦИИ ПРИМЫКАНИЯ

Организация работы станции примыкания, сочетающей работу подземного железнодорожного диаметра и пригородных линий, должна обеспечивать быстрое и чёткое выполнение операций по приёму и отправлению поездов на железнодорожный диаметр и примыкающие пригородные линии.

Объём работы и соответствующее путевое развитие станции примыкания зависят от возлагаемых на неё функций:

а) при раздельном устройстве станции примыкания и зонных станций пригородных линий станция примыкания получает минимально необходимое путевое развитие, определяемое потребным числом сквозных путей (фиг. 53, а);

б) при устройстве объединённой станции примыкания с зонными станциями примыкающих пригородных линий требуется большее путевое развитие с устройством необходимого числа сквозных путей и тупиков для оборота составов (фиг. 53, б).

Расчёт потребного числа оборотных устройств на зонных и конечных станциях железнодорожного диаметра и их пропускной способности, приведённый в разделе «Пропускная и провозная способность железнодорожных диаметров», показал, что устройство двух оборотных тупиков обеспечивает реализацию максимальной пропускной способности диаметра  $N_{max}^{час} = 40$  пар поездов в час.

Потребное число сквозных путей на станции примыкания может быть установлено по формуле

$$m = \frac{t}{I_{min}}, \quad (125)$$

где  $m$  — потребное число сквозных путей;

$t$  — полное время занятия поездом сквозного пути в минутах;

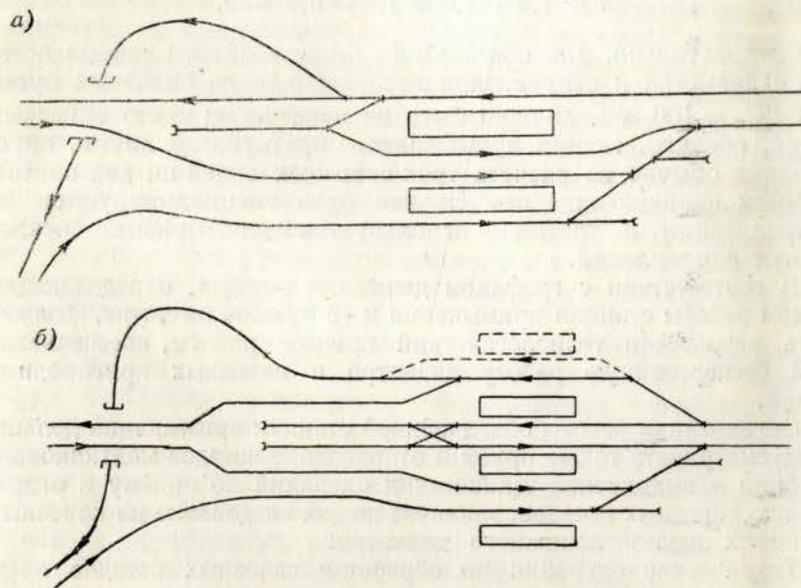
$I_{min}$  — расчётный интервал между поездами обслуживаемого направления (диаметра или пригородной линии).

Полное время занятия сквозного пути поездом складывается из следующих элементов:

$$t = t_{np} + t_{cm} + t_{om}, \quad (126)$$

где  $t_{np}$  — время, необходимое для приёма поезда и приготовления маршрута, равное

$$t_{np} = \frac{L_{ex} \cdot 60}{v_{ex}} + t_m \text{ мин.} \quad (127)$$



Фиг. 53. Схемы раздельной и объединённой станций примыкания

Принимая  $L_{ex} = 400 \div 500$  м ( $L_{ex} = l_m + l_{cmp}$ ),  $v_{ex} = 35 \div 40$  км/час и время приготовления маршрута при электрической централизации с секционным размыканием маршрута, равное  $t_m = 0,5$  мин., имеем

$$t_{np} = \frac{60 \cdot 0,4}{35} + 0,5 = 0,7 + 0,5 = 1,2 \text{ мин.};$$

$t_{cm}$  — время стоянки на станции примыкания (принимается для пригородных поездов 1 мин.);

$t_{om}$  — время занятия сквозного пути при отправлении поезда со станции.

Это время определяется по формуле

$$t_{om} = \frac{60 L_{om}}{v_{om}} + t_{\mu}. \quad (128)$$

Принимая  $L_{om} = 350 \div 400$  м, получим, что

$$t_{om} = \frac{60 \cdot 0,4}{35} + 0,5 = 1,2 \text{ мин.}$$

Таким образом, полное время занятия сквозного пути по приёму, стоянке и отправлению поезда составит

$$t = 1,2 + 1,0 + 1,2 = 3,4 \text{ мин.}$$

Следовательно, для обеспечения бесперебойного приёма поездов с диаметра и отправления на диаметр число сквозных путей при  $I_{\min}^{cm} = 100$  сек. должно быть не менее двух; число сквозных путей, обслуживающих примыкающие пригородные линии, определяется обычно из расчёта трёх сквозных путей на два примыкающих направления, причём два пути специализируются по направлениям, а третий — используется для приёма поездов с двух направлений.

В соответствии с графиком движения поездов, определяющим режим работы станции примыкания и её путевое развитие, должен быть разработан технологический процесс работы, обеспечивающий бесперебойную работу диаметра и наземных пригородных линий.

Организация работы объединённой станции примыкания должна предусматривать также приём и отправление поездов маятникового графика и выполнение технических операций по приёму и отправлению сквозных поездов, заканчивающих следование на конечных станциях железнодорожного диаметра.

Технические операции по обработке сквозных поездов предусматривают приём их в тупик, перемену направления движения и в случае надобности по условиям движения (в часы неинтенсивного движения) разъединение электропоезда на две части, из которых одна участвует в движении, а другая остаётся на тупиковом (зонном) пути.

### 9. РУКОВОДСТВО ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Большая густота движения поездов на железнодорожном диаметре и примыкающих к нему пригородных линиях, необходимость взаимной увязки расписаний всех поездов, связанных с работой железнодорожного диаметра, и исключительно высокие требования к обеспечению безопасности движения выдвигают вопрос о созда-

нии новых, наиболее совершенных форм руководства движением поездов на железнодорожном диаметре.

Одним из основных условий правильной организации движения является создание централизованной системы руководства движением поездов, включающей в себя управление движением на железнодорожном диаметре и примыкающих к нему наземных пригородных линиях.

В соответствии с этим организационная структура отделения или дороги в крупных узлах должна предусматривать создание объединённого диспетчерского отдела, в состав которого должны входить диспетчеры разных специальностей, обслуживающие движение поездов на железнодорожном диаметре и примыкающих к нему наземных пригородных линиях.

Общее руководство диспетчерским отделом должно быть возложено на главного диспетчера, которому подчиняются поездные диспетчеры, тяговые диспетчеры, диспетчеры энергоснабжения и др.

Руководство движением поездов на железнодорожном диаметре должно быть возложено на специального поездного диспетчера.

В отношении оборудования железнодорожного диаметра и примыкающих пригородных линий устройствами, обеспечивающими непрерывное руководство движением поездов и позволяющими диспетчеру действительно осуществлять «секундное командование», необходимо предусматривать введение наиболее совершенных систем диспетчерского руководства движением поездов и применение всех достижений науки и техники в области улучшения эксплуатации железных дорог.

Исходя из этого нужно считать, что диспетчерские кабинеты с селекторной связью должны быть дополнительно оборудованы приборами телевидения, позволяющими контролировать движение любого поезда в пределах железнодорожного диаметра и примыкающих к нему зонных станций, а также должно быть предусмотрено устройство двусторонней радиосвязи с движущимися поездами как на железнодорожном диаметре, так и на примыкающих пригородных линиях.

Для контроля за прохождением поездов по расписанию в диспетчерских кабинетах и на остановочных пунктах железнодорожного диаметра должны быть установлены специальные электрочасы, указывающие интервалы между поездами, и приборы для автоматической регистрации прохождения поездов.

Возможно также применение различных радиолокационных устройств в целях повышения безопасности движения и создания необходимой связи как в условиях нормальной эксплуатации, так и при введении форсированного режима работы на железнодорожном диаметре и примыкающих к нему наземных пригородных линиях.

С точки зрения регулирования движения поездов особо важное значение имеют методы ликвидации опозданий, вызываемых различными нарушениями графика.

Необходимо иметь в виду, что при выборе расчётного интервала между поездами предусматривается известный запас в размере 5—7 сек., предназначенный для того, чтобы использовать его при возникающих опозданиях впереди идущего поезда.

Вполне понятно, что если впереди идущий поезд опоздал, допустим, на 20 сек., то при сохранении заданных перегонных времён хода и установленных стоянок поездов на остановочных пунктах указанное опоздание при наличии пятисекундного резерва в графике будет полностью ликвидировано после прохода  $\frac{20}{5} = 4$  поездов, идущих вслед за опоздавшим поездом, и не отразится на графике движения последующих поездов.

Для быстрой ликвидации последствий опоздания поезда и уменьшения его влияния на другие поезда возможно допустить сокращение стоянок поездов, идущих вслед за опоздавшим.

Как крайнее мероприятие может применяться нагон поездов на перегонах в пределах допустимого по условиям безопасности повышения ходовых скоростей.

Методы руководства движением поездов на железнодорожных диаметрах в целом приближаются к методам, применяемым на линиях метрополитена, и должны обеспечивать секундную точность в их работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Большая Советская Энциклопедия. Союз Советских Социалистических Республик. ОГИЗ СССР, 1947.
2. Большая Советская Энциклопедия, т. XII, изд. 2-е, 1952.
3. Планировка пригородной зоны. М., 1951. Академия архитектуры СССР. Институт градостроительства.
4. О. А. Константинов. Географические сдвиги в размещении больших городов СССР. «Известия Всесоюзного географического общества», т. 73, вып. 1, 1941.
5. О. А. Константинов. Географические различия в динамике городского населения СССР. «Известия Всесоюзного географического общества», т. 75, вып. 6, 1943.
6. О. А. Константинов. Темпы роста городов СССР и капиталистических стран. «Известия Всесоюзного географического общества», т. 81, вып. 6, 1949.
7. О. А. Константинов. Изменения в географии городов СССР за советский период. География хозяйства СССР (1917 — 1947 гг.). Географгиз, 1947.
8. В. Н. Образцов. Станции и узлы. Трансжелдориздат, 1949.
9. В. Н. Образцов и Ф. И. Шаульский. Водный, воздушный, автомобильный, городской транспорт. Трансжелдориздат, 1948.
10. В. Н. Образцов. Перспективы электрификации железнодорожного транспорта в СССР. Изд-во «Правда», 1948.
11. П. В. Бартенев. Станции и узлы. Трансжелдориздат, 1949.
12. С. Г. Писарев. Городской транспорт. Изд. М-ва коммунального хозяйства РСФСР, 1948.
13. И. И. Васильев. Определение оптимального числа зон пригородного пассажирского движения. Сборник ЛИИЖТ, вып. 138, Трансжелдориздат, 1948.
14. Организация движения на железнодорожном транспорте, под ред. А. П. Петрова. Трансжелдориздат, 1952.
15. Ф. П. Кочнев. Организация пригородных пассажирских перевозок на железных дорогах СССР. Трансжелдориздат, 1947.
16. Б. Э. Пейсахзон, В. В. Повороженко. Организация движения на железнодорожном транспорте. Трансжелдориздат, ч. I, 1937; ч. II, 1939.
17. В. А. Маковский. Тоннели. Изд. Академии архитектуры, 1948.
18. А. Х. Зильберталь. Проблемы городского пассажирского транспорта, Гострансиздат, 1937.
19. В. Н. Орлов, А. С. Чудов. Калькуляция и анализ себестоимости железнодорожных перевозок. Трансжелдориздат, 1952.
20. В. П. Ходатаев. Железнодорожный транспорт в планировке городов. Гос. изд. лит. по строительству и архитектуре, 1952.
21. А. М. Якшин. Планировка транспортных сетей. Опыт градостроительного исследования. Государственное архитектурное издательство, 1946.
22. П. А. Куренков и С. Г. Кобзарь. Транспорт при планировке городов, ОНТИ, 1937.

23. Справочник по жилищно-коммунальному хозяйству, т. II, Изд. М-ва коммунального хозяйства РСФСР, 1952.

24. А. Солнцев, К. Кудринская. Устройство СЦБ и их содержание. Московский ордена Ленина метрополитен имени Л. М. Кагановича. Трансжелдориздат, 1948.

25. А. М. Бабичков, В. Ф. Егорченко. Тяговые расчёты. Трансжелдориздат, 1949.

26. Н. А. Ливенцев. Тяговые расчёты и испытания советских электровозов. Трансжелдориздат, 1938.

27. В. Е. Розенфельд, И. А. Рывкин, Н. П. Лакштовский. Электрическая тяга поездов. Трансжелдориздат, 1940.

28. В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, С. Е. Кузин. Электрические железные дороги. Трансжелдориздат, 1951.

29. В. А. Шевалин. Тяговые расчёты электрических железных дорог и трамваев. Кубуч, 1931.

30. Н. Д. Находкин. Тяговые электродвигатели постоянного тока. Основные размеры. Параметры. Нагревание. Труды Научно-исслед. ин-та электрификации ж. д., вып. XII.

31. А. Е. Алексеев. Тяговые электродвигатели. Трансжелдориздат, 1951.

32. М. З. Жиц. Электрическое оборудование подвижного состава типа Г Московского метрополитена. Трансжелдориздат, 1940.

33. Подвижной состав типа Б Московского метрополитена имени Л. М. Кагановича. Трансжелдориздат, 1938.

34. Вагоны типа В. Трансжелдориздат, 1939.

35. Г. А. Петров, Л. А. Кронкалн. Основные данные и характеристики моторвагонной секции серии СР (1 650/3 300 в постоянного тока). Труды ЦНИИ. Вып. 35. Трансжелдориздат, 1949.

36. Г. В. Птицын и Б. Н. Тихменев. Электрооборудование моторвагонного подвижного состава на два напряжения. Трансжелдориздат, 1949.

37. С. Р. Дадыко, И. И. Драйчик, С. З. Штерлинг. Вагоностроение. Машгиз, 1950.

38. Г. Г. Виноградов, И. М. Трещалин и Ж. Л. Правдин. Новые конструкции пассажирских вагонов. Труды ЦНИИ. Вып. 45. Трансжелдориздат, 1951.

39. Исследования работы устройств электрической тяги. Труды ЦНИИ. Вып. 42. Трансжелдориздат, 1951.

40. А. Л. Гальперин. Моторвагонный подвижной состав. Трансжелдориздат, 1950.

41. И. Т. Бинятян, А. И. Дорфман, Я. Г. Островский, М. Н. Соловьёв. Моторвагонный подвижной состав с индивидуальной системой управления. Трансжелдориздат, 1939.

42. А. М. Брылеев, П. М. Фонарёв, А. В. Шишляков. Кэб-сигнализация с непрерывным автостопом системы ЦНИИ. Труды ЦНИИ, вып. 36. Трансжелдориздат, 1950.

43. М. И. Дандуров. Тоннели. Трансжелдориздат, 1952.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<i>Раздел I. Развитие больших городов в СССР</i>	
1. Краткий исторический обзор развития городов . . . . .	5
2. Расселение населения и планировка городов . . . . .	12
3. Размещение железнодорожных устройств в больших городах . . . . .	20
<i>Раздел II. Организация пассажирских перевозок в больших городах</i>	
1. Транспортные средства больших городов . . . . .	28
2. Пригородное движение в больших городах . . . . .	35
3. Железнодорожные диаметры в больших городах . . . . .	39
<i>Раздел III. Эксплуатационно-техническая характеристика железнодорожных диаметров</i>	
1. Направление и трасса линии железнодорожных диаметров . . . . .	47
2. Схемы развязок подземного железнодорожного диаметра с наземными линиями . . . . .	50
3. Габариты железнодорожных диаметров . . . . .	53
4. Тоннельные станции железнодорожных диаметров . . . . .	55
<i>Раздел IV. Пропускная и провозная способность железнодорожных диаметров</i>	
1. Общие положения . . . . .	64
2. Выбор устройств СЦБ на железнодорожном диаметре . . . . .	66
3. Определение расчётного интервала между поездами . . . . .	76
4. Установление влияния на пропускную способность железнодорожного диаметра элементов, определяющих условия движения поездов . . . . .	80
5. Установление влияния на пропускную способность железнодорожного диаметра элементов, определяющих организацию работы станций . . . . .	118
6. Пропускная и провозная способность железнодорожных диаметров . . . . .	131
<i>Раздел V. Эксплуатационные требования к параметрам моторвагонного подвижного состава для смешанной работы на подземном железнодорожном диаметре и наземных пригородных линиях</i>	
1. Общие положения . . . . .	141
2. Выбор типа вагона для условий смешанной работы . . . . .	144
3. Методика установления скоростных характеристик моторвагонного подвижного состава . . . . .	147

	Стр.
4. Предварительный выбор мощности тягового двигателя для заданных эксплуатационных условий . . . . .	152
5. Выбор типа поезда единицы (схемы секции) и композиции состава моторвагонных поездов для условий смешанной работы . . . . .	161

**Раздел VI. Организация движения на железнодорожном диаметре**

1. Основные принципы организации движения на железнодорожном диаметре . . . . .	166
2. Размещение отдельных пунктов на железнодорожном диаметре . . . . .	168
3. Определение оптимального числа зон на пригородных участках, примыкающих к железнодорожному диаметру . . . . .	172
4. Определение числа примыкающих к железнодорожному диаметру пригородных линий и обслуживаемых зон . . . . .	176
5. Специализация поездов и расчёт необходимого количества их по отдельным категориям . . . . .	180
6. Разработка сквозных графиков движения поездов на железнодорожном диаметре и примыкающих наземных пригородных линиях . . . . .	184
7. Определение потребности в моторвагонном подвижном составе для смешанной работы . . . . .	188
8. Организация работы станции примыкания . . . . .	190
9. Руководство движением поездов . . . . .	192
<b>Л и т е р а т у р а . . . . .</b>	<b>195</b>

Технический редактор *Д. М. Юдзон*

---

Сдано в набор 8/VII 1953 г.  
 Подписано к печати 21/XI 1953 г.  
 Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумажных листов 6<sup>1</sup>/<sub>4</sub>.  
 Печатных листов 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Уч.-изд. листов 12,84.  
 Тир. 3 000 экз. Т08461.  
 ЖДИЗ 48691. Заказ 1433.  
 Цена без переплёта 9 р. Переплёт 1 р. 50 к.

---

1-я тип. Трансжелдориздата МПС  
 Москва, Б. Переяславская, 46