

А. М. КОРНАКОВ
Кандидат технических наук

РАЗВЯЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ В УЗЛАХ

ВСЕСОЮЗНОЕ
ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
Москва 1962

В книге изложены основные вопросы теории и практики проектирования развязок железнодорожных линий в узлах, рассмотрена методика расчета, усиления пропускной способности и условия применения развязок, определены критерии перехода от пересечений в одном уровне к строительству путепроводов, разработан метод расчета оптимального угла пересечения путей в путепроводных развязках, дан анализ схем развязок в узлах различного типа и приведены данные об их плане и профиле.

Книга рассчитана на инженеров, занимающихся проектированием железнодорожных узлов, работников научно-исследовательских институтов, преподавателей и студентов высших учебных заведений железнодорожного транспорта.

Рецензент *инж. С. А. Карловский*

Редактор *инж. Е. С. Шишлыков*

Редакция литературы по организации движения поездов, грузовой работы и пассажирских перевозок

Начальник редакции *инж. Г. Б. ШАВКИН*

ОТ АВТОРА

В соответствии с историческими решениями XXII съезда КПСС осуществляется дальнейшее техническое перевооружение железнодорожного транспорта в целях полного удовлетворения потребностей народного хозяйства во всех видах перевозок.

Важное значение при этом имеет повышение скоростей движения поездов и увеличение пропускной и провозной способности железных дорог.

Пропускная способность железнодорожной сети, ее маневренность в осуществлении перевозок в значительной степени зависят от полноты, характера и схемы развязок железнодорожных линий в узлах. Немалую роль в увеличении пропускной способности призваны сыграть реконструктивные работы по развитию узлов и станций и, в частности, работы по замене многочисленных внутриузловых и станционных пересечений маршрутов пропуска поездов и маневровых передвижений развязками в разных уровнях.

В настоящее время значительное число решений по расплетению подходов грузонапряженных магистралей в крупных узлах нашей сети и на линиях с большим пассажирским движением приходится на долю путепроводных развязок, а в будущем число таких развязок еще более увеличится. Особенно повышается роль путепроводных развязок в условиях неуклонного роста скоростей движения поездов при автоматизации их вождения и управления процессами работы железных дорог.

Проектирование путепроводных развязок в узлах и на станциях должно производиться с тщательным, хорошо обоснованным выбором их схемы, правильным и экономически выгодным размещением всех устройств в плане и профиле, с учетом неуклонного снижения расходов по сооружению и эксплуатации развязок.

Однако правильность проектных решений по развязкам линий в узлах, в частности, применение той или иной схемы, решение о переходе от развязки в одном уровне к путепроводной, выбор наибо-

лее целесообразного угла пересечения путей во многом еще зависят от личного опыта и искусства инженера-проектировщика.

Автор ставит своей целью изложить в систематическом виде основные вопросы теории и практики проектирования развязок железнодорожных линий в узлах и этим помочь проектировщикам в отыскании правильных решений. Понимая трудность поставленной задачи, а также учитывая, что некоторые вопросы совершенствования теории и принципов выбора рациональных решений по развязкам разработаны здесь впервые, автор с благодарностью примет критические замечания и предложения по настоящей работе.

ГЛАВА I

РАЗВЯЗКИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ В ОДНОМ УРОВНЕ, ШЛЮЗОВЫЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ИХ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О РАЗВЯЗКЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

В каждом узловом пункте железнодорожных линий обычно имеются пересечения маршрутов движения поездов.

Развязками называют комплекс путевых устройств и сооружений (путепроводов), предназначенных для пропуска подвижного состава по взаимно пересекающимся маршрутам.

Необходимость в развязке возникает при пересечении самостоятельных линий на перегоне или на подходах к узловым станциям, при расплетении главных путей на подходах к узлам в соответствии со специализацией парков или самих станций по направлениям или роду движения, а также внутри узлов и станций на пересечениях маршрутов движения поездов или локомотивов.

На принципиальную схему развязки подходов в узлах в большей или меньшей степени оказывают влияние следующие факторы: число главных путей на развязываемых линиях; допустимость или недопустимость пересечения отдельных путей в одном уровне без путепроводов; геометрическая схема (тип) узла; взаимное расположение основных элементов узла (станций, парков) в схеме и их назначение; направление поездопотоков, характер и размеры движения через узел; условия рельефа местности трассирования развязки и положение существующих путей в плане и профиле.

Развязки пересечений в зависимости от положения пересекающихся путей в вертикальной плоскости (в профиле) бывают двух родов: развязки в одном уровне и развязки в разных уровнях или путепроводные развязки.

К развязкам в одном уровне относятся посты без путевого развития в местах пересечения линий, посты-шлюзы (посты с путевым развитием), параллельные съезды и стрелочные улицы в горловинах станций. К развязкам в разных уровнях следует отнести пересечения линий с помощью путепроводов на перегоне, путепроводные развязки подходов линий к узлам и внутриузловые развязки путей в разных уровнях.

Развязки в одном уровне, являясь наиболее простыми видами расплетения линий и ветвей, часто применяют в железнодорожных

узлах для линий с относительно небольшими размерами движения. Эти развязки не могут обеспечить независимости движения поездов по каждой из отдельных линий, сходящихся в узловом пункте и, кроме того, требуют благоприятных профильных условий подхода расплетаемых линий. Однако при расположении пунктов пересечения в одном уровне на местности с равнинным рельефом они представляют значительный интерес тем более, что строительные затраты на их сооружение в этих условиях обычно невелики, а развитие современных средств СЦБ создает достаточные гарантии безопасного движения поездов через пересечения.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

Во всех случаях применения развязок в одном уровне необходимо, чтобы пропускная способность самого пересечения не лимитировала пропускной способности пересекающихся направлений.

Пропускная способность N любого элемента (точка пересечения, стрелка, отрезок пути или перегон) определяется как частное от деления полного суточного времени (1 440 мин) на время занятия $T_{зан}$ элемента пропуском единицы подвижного состава (поезда, пары поездов)

$$N = \frac{1\,440}{T_{зан}}. \quad (1)$$

Для перегона при движении поездов в одну сторону время его занятия складывается из времени t хода поезда и времени τ на производство операций по отправлению другого поезда на освободившийся перегон. Тогда

$$N = \frac{1\,440}{t + \tau}. \quad (2)$$

Однако время занятия перегона поездом имеет некоторые отклонения от его среднерасчетных величин. При определении перегонных времен хода поездов в основу расчета закладывают средние величины сопротивления подвижного состава движению в то время, как фактически обращаются поезда с различными характеристиками, причем отклонения могут быть как в сторону увеличения принятых расчетных величин сопротивления движению, так и в сторону их уменьшения, что и определяет в свою очередь характер отклонений скоростей движения и перегонных времен хода.

При насыщенном графике движения эти отклонения перегонных времен хода, очевидно, будут отражаться на общем наибольшем числе поездов, которое возможно пропустить по перегону в течение суток, т. е. на пропускной способности перегона.

Действительно, если время хода данного поезда окажется больше расчетного на величину Δt , то он задержит последующие, идущие за ним с минимальным интервалом поезда на эту величину.

Если же время хода поезда окажется меньше расчетного, то хотя он и освободит перегон быстрее, но последующий поезд не сможет вступить на него ранее назначенного по графику времени, если он не следует тоже с некоторым опережением времени Δt . Вероятность таких совпадений, однако, ничтожно мала.

По исследованиям канд. техн. наук Б. Э. Пейсахзона [11], величины наиболее вероятных отклонений фактических перегонных времен хода от расчетных зависят от трудности профиля линии, от длины перегонов и от того, является линия однопутной или двухпутной. Эти величины в процентах к расчетному времени (для всех видов тяги) приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Эквивалентный уклон $i_э$ в ‰	Величина отклонений перегонных времен хода от расчетных в %				
	на однопутных линиях с длиной перегона в км				на двухпутных линиях с длиной перегона в км
	8	10	12	15	15—30
0	9,5	10,5	11,5	12,5	19,5
0,5	8,0	9,0	10,0	10,5	15,0
1,0	7,5	8,0	9,0	9,0	12,5
1,5	7,0	7,0	8,0	8,0	10,5
2,0	6,0	6,5	7,0	7,0	9,0
2,5	6,0	6,0	6,0	6,5	8,0
3,0	5,0	5,5	6,0	6,0	7,0
3,5	5,0	5,0	5,0	6,0	6,5

Для наиболее типичных условий (среднесетевые, при $i_э = 1,5\text{‰}$) величину наиболее вероятных отклонений на однопутных линиях можно принимать 7—8%, а на двухпутных — 10—11%. Для легких профилей величины вероятных отклонений следует несколько повышать, а для трудных профилей, наоборот, снижать (см. табл. 1).

Отсюда в формулу (2) пропускной способности перегона (отрезка пути) надо внести поправку на величину вероятного отклонения времени хода Δt . Поскольку Δt выражается в долях от t , то

$$N = \frac{1\,440}{t(1 + \Delta t) + \tau} \quad (3)$$

При автоблокировке формула пропускной способности перегона (блок-участка) с учетом поправки на вероятные отклонения времен хода поездов примет вид

$$N = \frac{1\,440}{I(1 + \Delta t)}, \quad (4)$$

где Δt — отклонение в долях от величины интервала попутного следования поездов I .

Введение поправок в расчетные формулы пропускной способности является правомерным. Это видно хотя бы из того, что на двухпутных линиях с автоблокировкой и сигналами, расставленными на интервал следования поездов $I = 10$ мин, пропускная способность при расчетных скоростях, принятых при расстановке сигналов, практически никогда не достигала 144 пар поездов.

Величина же $N = \frac{1\,440}{10(1 + 0,10)} = \frac{1\,440}{11} \approx 130$ пар поездов является вполне реальной.

Следует заметить, что сигналы автоблокировки для обеспечения пропускной способности 130 пар поездов в сутки, разумеется, должны быть расставлены на интервал в 10, а не 11 мин*. Поэтому во избежание недоразумений величину поправок Δt лучше вводить не в знаменатель, а в числитель расчетных формул (с обратным знаком). Тогда

$$N = \frac{1\,440(1 - \Delta t)}{I}, \quad (4a)$$

что при наиболее распространенных значениях Δt до 10—15% дает незначительную погрешность в точности расчета.

Теперь представим себе, что на перегоне имеется пересечение путей в одном уровне. Пропускная способность пересечения зависит от времени его занятия поездами по каждому из взаимно пересекающихся маршрутов. При проследовании поездов через пересечение точно так же будут некоторые отклонения от расчетных времен хода, и продолжительность занятия пересечения по сравнению с расчетной будет изменяться пропорционально этим отклонениям. Отсюда следует, что в формулы для расчета пропускной способности пересечений необходимо вносить такую же поправку на наиболее вероятные отклонения времен его занятия поездами в долях от расчетного времени.

Другое весьма важное обстоятельство, которое необходимо учитывать в расчетах пропускной способности пересечений, заключается в том, что при пропуске через пересечение поездов по разным линиям не исключена вероятность их задержек, в случаях одновременного подхода к точке пересечения.

Конечно, график движения поездов позволяет увязать моменты пропуска поездов по разным линиям через определенную точку их пересечения так, чтобы избежать остановки поезда непосредственно перед закрытым сигналом, ограждающим пересечение. Для этого достаточно передвинуть нитки графика поездов, одновременно подо-

* Для того чтобы реализовать пропускную способность 144 пары поездов, расстановка сигналов автоблокировки должна быть произведена на интервал, равный 9 мин. Практически так и получилось, что на некоторых линиях, оборудованных автоблокировкой, при введении новых локомотивов и повышении скоростей движения поездов сигналы автоблокировки оказались как бы заранее расставленными на интервал 8—9 мин.

шедших к пересечению, на величину времени задержки одного из поездов¹.

Если график движения не насыщен, то передвижка отдельных его ниток не отразится на общих размерах движения поездов через пересечение. Если же поезда следуют один за другим с минимальными интервалами, то сдвижка отдельных ниток хода поездов неизбежно вызовет соответствующую передвижку всех остальных ниток и часть поездов будет снята с графика.

В результате в течение расчетного периода работы данного пересечения образуются свободные, ничем не заполненные промежутки времени — «окна». Каждое из этих окон невелико, менее времени занятия пересечения операцией по пропуску поезда, однако в сумме они могут составить ощутимую величину, которая должна быть внесена в расчетные формулы пропускной способности. Число случаев задержки поездов из-за пересечения маршрутов их следования, а также время этих задержек может быть определено построением графиков работы пересечения, увязанных с работой прилегающих участков, или с достаточной для аналитического расчета пропускной способности точностью по теории вероятностей.

Таким образом, в расчетные формулы пропускной способности пересечений в дальнейшем вводятся две поправки.

Учитывая, что пересечений в одном уровне на линиях с трудным профилем подходов следует избегать по условиям безопасности движения, величины поправок Δt для наиболее характерных случаев пересечений на однопутных линиях со средним по трудности и легким профилем могут быть приняты равными 7—10%, а для пересечений на двухпутных линиях — 10—20% (см. табл. 1). Соответственно величина $(1-\Delta t)$, вводимая в числитель расчетной формулы пропускной способности, составит 0,93—0,90 для пересечений на однопутных линиях и 0,9—0,8 — на двухпутных.

Расчет поправок на вероятность одновременного подхода и определение времени задержек поездов в различных случаях слияния или пересечения линий приведен в приложении.

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ДВУХ ОДНОПУТНЫХ ЛИНИЙ НА ПЕРЕГОНЕ

Простейший тип развязки двух однопутных линий на перегоне представляет собой обычное глухое пересечение. Безопасность движения поездов через пересечение обеспечивается надлежащим ограждением его сигналами, а при неблагоприятных условиях профиля подходов, кроме того, предохранительными тупиками.

Схема пересечения и расположения поездов при движении их при автоблокировке на зеленый огонь показана на рис. 1.

Расстояние, проходимое поездом по пересечению, или длина маршрута пересечения, составляет

¹ При этом задержки поездов вообще не устраняются, а лишь переносятся на другие отдельные пункты, вызывая соответствующее увеличение времени стоянок поездов на станциях, предусмотренное графиком [2].

$$L_{\text{пер}} = l_a + l_c + 2l_T + l_n, \quad (5)$$

где l_n — длина пересечения в м;

l_c — расстояние от ближайшей ограждаемой точки пересечения до сигнала ограждения в м;

l_T — расстояние между сигналами автоблокировки, равное тормозному пути поезда, но не менее 1000 м;

l_n — длина поезда в м.

Принимая, что поезд проходит пересечение со средней скоростью v км/ч, получим время прохода пересечения одним поездом

$$t = 0,06 \frac{l_a + l_c + 2l_T + l_n}{v} + t_m + t_{\text{вс}}, \quad (6)$$

где t_m — время на установку маршрута, открытие сигнала и последующую разборку маршрута после прохода поездом пересечения в мин;

$t_{\text{вс}}$ — время на восприятие сигнала машинистом в мин.

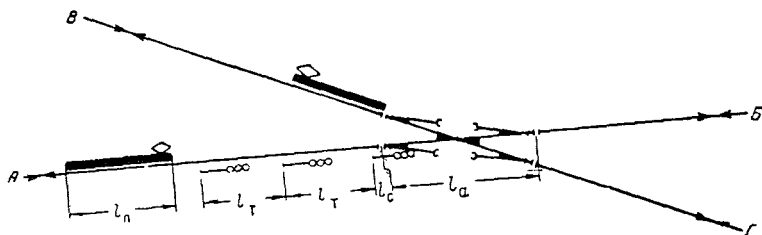


Рис. 1

Если движение поезда через пересечение нормально производится на желтый огонь светофора, то формула (6) принимает вид

$$t = 0,06 \frac{l_a + l_c + l_T + l_n}{v} + t_m + t_{\text{вс}}, \quad (7)$$

однако скорость движения v при этом снижается.

Скорость прохода поезда через пересечение следует устанавливать тяговыми расчетами в зависимости от профиля пути, веса поезда и т. п. Величина l_c принимается в зависимости от условий подхода к пересечению и видимости сигнала и должна быть не менее 50 м. Длина поезда — максимальная из обращающихся на участке. Во всех последующих расчетах l_n принята равной 850 м. Величина t_m может быть принята по данным табл. 2: при механической централизации стрелок и сигналов — 1,5 мин, при электрической централизации и автоблокировке — 1,0 мин. Время на восприятие машинистом сигнала $t_{\text{вс}}$ — 0,1 мин.

Наименование операций	Время в мин на приготовление и последующую разборку маршрута при проходе пересечения поездом при	
	полуавтоматической блокировке и механической централизации	автоблокировке и электрической централизации
Приготовление маршрута	0,4	0,15
Открытие сигнала	0,15	0,1
Контроль проследования поезда	0,5	0,5
Разборка маршрута	0,4	0,15
Итого с округлением	1,5	1,0

Выбор длины тормозного пути l_T требует некоторого обоснования.

На рис. 2 построены графическим методом кривые длин тормозного пути грузовых поездов для различных условий профиля подходов к пересечению.

Максимальные значения тормозного пути грузовых поездов превышают 1 200 м, но это при скоростях движения по затяжному уклону, больших 85 км/ч. При обычных же скоростях движения поезда по пересечению, не превышающих 60—80 км/ч с подхода, расположенного на площадке или спуске, получим длину тормозного пути от 800 до 1 000 м. Следовательно, можно остановиться на расчетной длине тормозного пути $l_T = 1\,000$ м.

Последняя из неизвестных в формуле (6) или (7) величина l_a , т. е. длина самого пересечения определяется измерением ее в натуре или по масштабному плану. Для ориентировочных расчетов длину пересечения по рис. 1 можно принять с некоторым запасом равной 300 м.

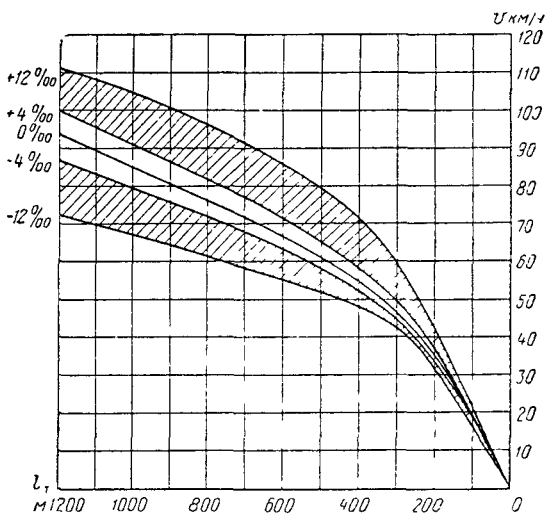


Рис. 2

Подставляя в формулу (6) различные значения v , получим время t занятия одним поездом маршрута пересечения (табл. 3).

Таблица 3

Средняя скорость в км/ч	Время занятия маршрута пересечения в мин	
	при электрической централизации и автоблокировке	при механической централизации стрелок и сигналов
20	10,7	11,2
30	7,5	8,0
40	5,9	6,4
50	5,0	5,5
60	4,3	4,8
70	3,9	4,4

В общем виде пропускная способность пересечения двух однопутных линий определяется уравнением

$$N_A(t_{AB} + t_{BA}) + N_B(t_{BG} + t_{GB}) + \dots \leq 1440(1 - \Delta t) - T_{зд}, \quad (8)$$

где N_A — число пар поездов на линии AB ;

N_B — число пар поездов на линии BG ;

t_{AB}, t_{BA}, t_{BG} и t_{GB} — время прохода пересечения одним поездом соответственно в направлениях AB, BA, BG и GB ;

$T_{зд}$ — общее время задержек поездов при одновременном их подходе к точке пересечения, определяемое по теории вероятностей;

Δt — поправка на увеличение времени занятия пересечения из-за отклонения от расчетного ходового времени (для пересечения однопутных линий при среднем по трудности профиле принимаем $\Delta t = 0,08$).

Для пересечения двух однопутных линий (см. приложение, 5-й случай) заменяем $T_{зд}$ на $\frac{N_A N_B (t_{AB}^2 + t_{BA}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{1440}$ и, решая уравнение (8) относительно N_A , получим

$$N_A = \frac{1440(1 - \Delta t) - N_B(t_{BG} + t_{GB})}{t_{AB} + t_{BA} + \frac{N_B(t_{AB}^2 + t_{BA}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{1440}}. \quad (9)$$

Задаваясь величиной N_B , т. е. числом пар поездов, проходящих через пересечение по линии BG , и зная время прохода поездов по пересечению в каждом из направлений, можно определить N_A . Складывая затем значения N_A и N_B , получим $\sum N$ — пропускную способность самого пересечения.

Определение пропускной способности собственно пересечения еще не дает ответа на вопрос, какое же количество пар поездов мож-

но пропустить по перегонам двух однопутных линий, на которых устроено это пересечение.

Очевидно, на однопутных линиях с движением поездов в обе стороны по каждой линии максимальная пропускная способность пункта пересечения не может быть реализована по той простой причине, что при освобождении самого пересечения после прохода первой пары поездов¹ оно вновь может быть занято только по прошествии определенного времени, в течение которого первая пара поездов должна достигнуть своих раздельных пунктов, ограничивающих перегоны пересечения, и вторая пара поездов, отправленная с этих раздельных пунктов, подойдет к пункту пересечения линий.

Для расчета пропускной способности перегонов, на которых лежит пересечение, примем парный параллельный график и идентичные перегоны AB и $B\Gamma$ (рис. 3). Периоды графика по каждому из перегонов, разумеется, будут равны между собой. В благоприятном случае они могут не быть сдвинуты один по отношению другого и тогда

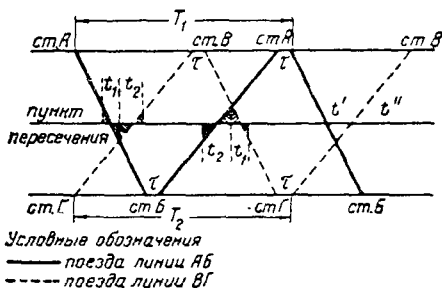


Рис. 3

$$\sum N = \frac{2 \cdot 1440 (1 - \Delta t)}{t' + t'' + 2\tau}, \quad (10)$$

где $\sum N$ — пропускная способность в парах поездов в сумме по обоим пересекающимся линиям;
 $t' + t'' + 2\tau$ — период графика (см. рис. 3).

При совпадении времени подхода одного поезда к пересечению со временем подхода другого периоды графика должны быть сдвинуты на величину до $\frac{t_1 + t_2}{2}$, а в среднем на $\frac{t_1 + t_2}{4}$, где $t_1 + t_2$ — время прохода пары поездов через пересечение. Тогда

$$\sum N = \frac{2 \cdot 1440 (1 - \Delta t)}{t' + t'' + 2\tau + \left(\frac{t_1 + t_2}{4} \right)}. \quad (11)$$

В выводе формулы (11) допущена условность, предполагающая совпадение времени подхода поездов разных линий к пересечению во всех случаях пропуска их через это пересечение. Поэтому формула (11) должна дать несколько заниженную величину пропускной способности.

¹ Под парой здесь подразумеваются два поезда пересекающихся линий.

Если сначала определить вероятное число случаев одновременного подхода поездов разных линий к пункту пересечения и затем уже среднюю в течение суток величину сдвига периода графика, то получим формулу

$$\sum N = \frac{1440 \left[\sqrt{(t' + t'' + 2\tau)^2 + 4(t_1^2 + t_2^2)(1 - \Delta t)} - (t' + t'' + 2\tau) \right]}{t_1^2 + t_2^2}, \quad (12)$$

дающую более точные результаты, но зато более сложную для расчета.

Пример. Сравним результаты подсчета пропускной способности по обеим формулам, приняв $t' + t'' = 36$ мин; $\tau = 6$ мин и $t_1 = t_2 = 8$ мин (из табл. 3, при $v = 30$ км/ч), $1 - \Delta t = 0,92$.

Решение. Пропускная способность перегонов пересечения по формуле (11) составит

$$\sum N = \frac{2 \cdot 1440 \cdot 0,92}{36 + 2 \cdot 6 + \left(\frac{16}{4}\right)} \approx 51 \text{ пару поездов,}$$

или 25 пар поездов по каждой линии.

По формуле (12) пропускная способность составит

$$\begin{aligned} \sum N &= \frac{1440 \left[\sqrt{48^2 + 4(8^2 + 8^2) \cdot 0,92} - 48 \right]}{8^2 + 8^2} = \\ &= \frac{1440 \cdot 4,7}{128} \approx 52 \text{ пары поездов,} \end{aligned}$$

или 26 пар по каждой линии.

Разница не превышает одной пары поездов для каждой из пересекающихся линий, следовательно, при приближенных расчетах можно пользоваться формулой (11), как более простой и удобной для вычисления.

Расчетные размеры движения с учетом 20% резервирования пропускной способности можно принять в данном случае равными около 18—20 пар поездов по каждой из пересекающихся линий.

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ ПО КАЖДОМУ ИЗ НИХ ТОЛЬКО В ОДНУ СТОРОНУ

Пересечение двух подходов с движением по каждому из них только в одну сторону часто встречается в развязке двухпутных железнодорожных линий, когда один из главных путей первой линии пересекается лишь с одним путем второй линии. Такие пересечения могут быть попутными (рис 4, положение I) или встречными (рис. 4, положение V).

Нетрудно убедиться, что расчет пропускной способности того и другого пересечения одинаков, так как в принципе эти пересечения не отличаются друг от друга. Если в попутном пересечении увеличивать угол β между пересекающимися путями АБ и ВГ (см. рис. 4), то после перехода его через предельное значение (90°) пересечение становится из попутного встречным.

В отношении безопасности движения поездов попутное пересечение прежде считалось более благоприятным, так как при подходе поездов к точке пересечения некоторое время они движутся по почти параллельным маршрутам. Машинист задерживаемого поезда видит другой поезд, приближающийся к пересечению, и имеет больше времени на приведение тормозов в действие для остановки у закрытого сигнала.

Ныне, с развитием современных средств СЦБ и повышением надежности действия автотормозов, различие между попутным и встречным пересечением путей на подходах к узлам по существу устранено. Поэтому не следует избегать встречных пересечений там, где устройство их дает экономию в строительных и эксплуатационных расходах и упрощает схему развязки подходов к узлу. Устройство постов-шлюзов для развязки подходов в одном уровне и, в частности, принцип безостановочного шлюзования поездов,

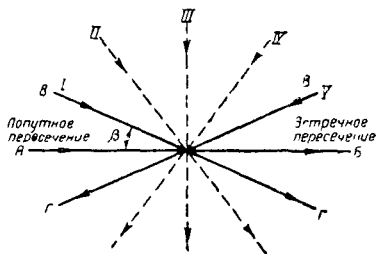


Рис. 4

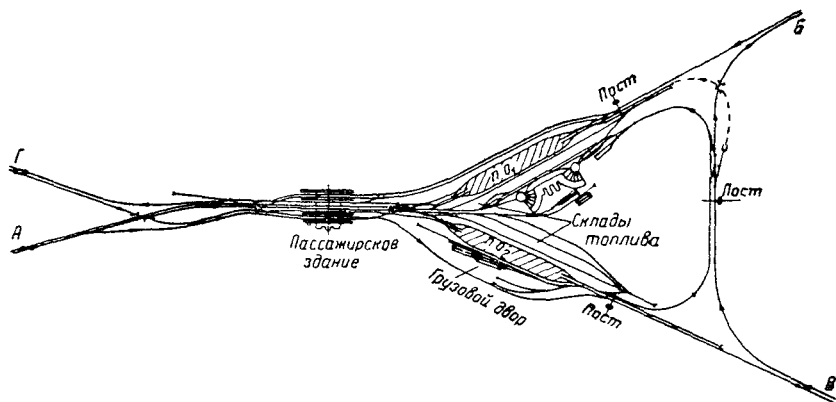


Рис. 5

описанный ниже, основаны на широком применении встречных пересечений.

Попутные пересечения целесообразно применять при развязке двухпутных подходов в узлах с раздвинутыми парками или целыми станциями, образующими значительный угол между продольными их осями (рис. 5).

Если не строить путепровода, развязывающего подход железнодорожной линии от В с выходом из узла на линию Б (см. рис. 5), заменив его пересечением путей в одном уровне, то получим попут-

ное пересечение этих подходов на посту, изображенное схематически на рис. 6.

В случае расположения подходов от *Б* и *В* по рис. 5 через пост пересечения удобно осуществлять передачи угловых вагонов из парка *ПО*₁ в парк *ПО*₂ и обратно, а также пропускать поезда между линиями *Б* и *В* без захода в узел. Если такие маршруты в схеме

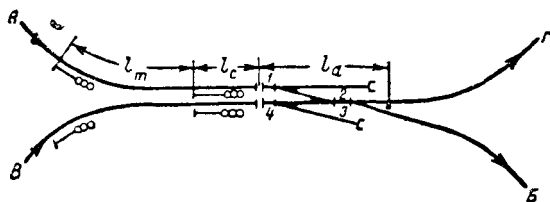


Рис 6

по рис. 5 не предполагаются, то вместо стрелочных переводов № 2 и 3 (см. рис. 6) лучше укладывать глухое пересечение.

При междупутье 5,3 м и стрелочных переводах марки $\frac{1}{11}$ или $\frac{1}{18}$ минималь-

ная длина пересечения ($l_a + l_c$) равна соответственно около 205 и 310 м.

Время занятия маршрута пересечения одним поездом при длине поезда 850 м, тормозном пути 1 000 м и при различных скоростях движения приведено в табл. 4.

Таблица 4

Скорость движения поезда v в км/ч	Стрелочные переводы марки	Время t занятия маршрута пересечения в мин		
		при автоблокировке		при полуавтоматической блокировке и semaфорной сигнализации
		движение на зеленый огонь	движение на желтый огонь	
20	$\frac{1}{11}$	10,3	7,3	7,8
30	$\frac{1}{11}$	7,2	5,3	5,8
40	$\frac{1}{11}$	5,7	4,2	4,7
50	$\frac{1}{18}$	4,9	—	—
60	$\frac{1}{18}$	4,3	—	—
70	$\frac{1}{18}$	3,9	—	—

Скорость движения поезда, а отсюда и время его прохода через пересечение следует определять, как было указано выше, построением кривых v и t одним из точных графических методов, применяемых в тяговых расчетах. Для приближенных расчетов выбор величины скорости можно сделать с достаточной для этой цели точностью, исходя из следующих соображений. Минимальная скорость поезда $v = 20$ км/ч, очевидно, будет только при затяжном подъеме в профиле перед пересечением, по крутизне равном или близком к руководящему. При этом движение поездов может осуществляться нормально на желтый огонь светофора. Значит, верхние пределы t соответствуют примерно 7,3—7,8 мин.

В наиболее благоприятном случае, когда профиль подходов не ограничивает скорости движения, последняя при проходе поезда по стрелочным переводам марки $\frac{1}{11}$ на отклоненный путь не долж-

на быть более 40 км/ч. Отсюда наименьшее время занятия пересечения одним поездом будет составлять 4,2 или около 4 мин (см. табл. 4).

В средних условиях можно принять скорость движения поезда $v = 30$ км/ч, но при этой скорости расчет надо вести на движение поезда нормально на желтый огонь светофора. Следовательно, расчетное время прохода поезда через пересечение равно 5,3 мин.

Здесь и в последующих случаях расчета пропускной способности пересечений на перегоне время t определено исходя из средней скорости движения поездов 30 км/ч на желтый огонь светофора или при скорости, равной 40 км/ч, но при движении поездов на зеленый огонь. В этих случаях оба значения t близки между собой и колеблются от 5,3 до 5,7 мин.

Определение пропускной способности пункта попутного или встречного пересечения двух подходов в общем виде сводится к решению уравнения

$$n_1 t_1 + n_2 t_2 = 1440 (1 - \Delta t) - \frac{n_1 n_2 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440}, \quad (13)$$

где n_1 и n_2 — число поездов, проходящих через пересечение по главному пути первой и второй линии;

t_1 и t_2 — время занятия пересечения одним поездом первой и второй линии,

$\frac{n_1 n_2 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440}$ — общее время задержки поездов в течение суток при одновременном их подходе к пункту пересечения¹.

Решая уравнение (13) относительно n_1 , получим

$$n_1 = \frac{1440 (1 - \Delta t) - n_2 t_2}{t_1 + C_1}, \quad (14)$$

где $C_1 = \frac{n_2 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440}$ — общее время задержки поездов, отнесенное на один поезд первой линии.

Зная размеры движения n_2 по второй линии и подставляя их в формулу (14), можно определить n_1 — число поездов, проходящих через пересечение по первой линии, и затем, суммировав их, получить пропускную способность самого пересечения $\sum n$ в поездах в сутки

При равном числе поездов по обоим пересекающимся путям пропускная способность пункта пересечения выражается формулой

$$\sum n = \frac{2 \cdot 1440 \left[\sqrt{(t_1 + t_2)^2 + 2(1 - \Delta t)(t_1^2 + t_2^2)} - (t_1 + t_2) \right]}{t_1^2 + t_2^2}, \quad (15)$$

которую легко вывести из формулы (13), приравняв $n_1 = n_2 = n$.

¹ См. приложение.

Нетрудно убедиться, что пропускная способность собственно пункта пересечения весьма велика.

Пример. При $t_1 = t_2 = 5,7$ мин (из табл. 4, при $v = 40$ км/ч и при движении поездов на зеленый огонь светофора автоблокировки) и приняв $(1 - \Delta t) = 0,8$ для подходов двухпутных линий, получим

$$\sum n = \frac{2 \cdot 1440 [\sqrt{11,4^2 + 2 \cdot 0,8 \cdot 64,8} - 11,4]}{64,8} \approx 172 \text{ поезда в сутки,}$$

или 86 поездов по каждому из пересекающихся путей.

Как в ранее рассмотренном, так и в данном случае пропускную способность пункта пересечения двух подходов нельзя определять в отрыве от пропускной способности того перегона, на котором находится само пересечение.

Прежде чем перейти к определению пропускной способности перегонов, на которых находится пересечение, необходимо выяснить,

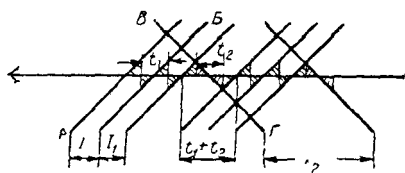


Рис. 7

при каких условиях вообще возможно осуществить пропуск через пересечение двух поездов разных линий. Для того чтобы обеспечить пропуск поезда второй линии (BG) через пересечение, в графике движения поездов первой линии должно быть окно по величине не менее $t_1 + t_2$ (рис. 7), т. е. не менее, чем сумма времени занятия пункта пересечения парой поездов. Если интервал I_1 между поездами первой линии по своей величине больше или равен $t_1 + t_2$, то в каждый интервал между ними может быть пропущено через пересечение не менее чем по одному поезду второй линии. В случае, если интервал меньше величины $t_1 + t_2$, то каждый поезд второй линии при пропуске его через пересечение будет снимать с графика поезда первой линии (AB).

Величина сдвигки ниток графика для пропуска через пересечение одного поезда второй линии равна $t_1 + t_2 - I_1$. При n_2 поездов по второй линии общая сдвигка поездов в графике первой линии составит $n_2(t_1 + t_2 - I_1)$, откуда величина съема в поездах n_{1c} составит

$$n_{1c} = \frac{n_2(t_1 + t_2 - I_1)}{I_1}. \quad (16)$$

Допустим, интервал между поездами первой линии больше $t_1 + t_2$, что обычно при полуавтоматической блокировке. Пропускная способность перегона, если на нем нет пересечения, выражается уже известной формулой

$$n_1 = \frac{1440(1 - \Delta t)}{t_1 + \tau},$$

а при наличии пересечения на перегоне

$$n_1 = \frac{1\,440(1 - \Delta t)}{t'_1 + \tau + n_2 \left(\frac{t_1^2 + t_2^2}{2 \cdot 1\,440} \right)}, \quad (17)$$

при этом, естественно, что подставляемая в формулу величина n_2 не может быть больше, чем $\frac{1\,440(1 - \Delta t)}{t'_2 + \tau}$.

Для перегона второй линии получим аналогичную формулу

$$n_2 = \frac{1\,440(1 - \Delta t)}{t'_2 + \tau + n_1 \left(\frac{t_1^2 + t_2^2}{2 \cdot 1\,440} \right)}, \quad (17a)$$

где в свою очередь n_1 не должно быть более, чем $\frac{1\,440(1 - \Delta t)}{t'_1 + \tau}$.

При равном числе поездов на обеих линиях и при идентичных перегонах, к чему следует стремиться для получения максимальной пропускной способности пересечения, последняя выразится формулой

$$\sum n = \frac{2 \cdot 1\,440 \left[\sqrt{(t' + \tau)^2 + 2(1 - \Delta t)(t_1^2 + t_2^2)} - (t' + \tau) \right]}{t_1^2 + t_2^2}, \quad (18)$$

где $\sum n = n_1 + n_2$ при $n_1 = n_2$ и $t' = t'_1 = t'_2$.

Если интервал между поездами менее $t_1 + t_2$, что характерно для линий, оборудованных автоблокировкой, то пропускная способность перегонов, на которых находится пересечение, определяется по формулам.

для первой линии

$$n_1 = \frac{1\,440(1 - \Delta t) - n_2(t_1 + t_2 - I_1)}{I_1 + n_2 \left(\frac{t_1^2 + t_2^2}{2 \cdot 1\,440} \right)} \quad (19)$$

и для второй линии

$$n_2 = \frac{1\,440(1 - \Delta t) - n_1(t_1 + t_2 - I_2)}{I_2 + n_1 \left(\frac{t_1^2 + t_2^2}{2 \cdot 1\,440} \right)}, \quad (19a)$$

которые легко выводятся из формул (16), (17) и (17a), при замене $t' + \tau$ на I .

Формулы (19) и (19a) так же, как и предыдущие, могут быть применимы лишь в определенных пределах. Очевидно, при $I_1 < t_1 + t_2$ съезд поездов с графика первой линии для образования интервалов, равных $t_1 + t_2$, чтобы пропустить через пересечение поезда второй линии, будет продолжаться до тех пор, пока не будет запол-

нена пропускная способность перегона второй линии Это заполнение наступит, когда интервал между поездами второй линии I_2 будет тоже равен $t_1 + t_2$, или $I_1 = I_2 = t_1 + t_2$.

Отсюда следует, что максимальные размеры движения по перегонам пересечения будут достигнуты при равном числе поездов на каждой из пересекающихся линий и они не могут быть больше пропускной способности самого пересечения, определяемой по формуле (15)

Рассмотрим пропускную способность пересечения подходов двух линий (см. рис. 6) при различном соотношении размеров движения по ним и различных способах сношений по движению поездов. Примем следующие исходные данные: перегоны идентичные при $t'_1 = t'_2 = 12 \text{ мин}$; $t_1 = t_2 = 5,7 \text{ мин}$; τ при полуавтоматической блокировке равно 4 мин ; $I_1 = I_2$ при автоблокировке 10 мин ; $(1 - \Delta t) = 0,8$.

Очевидно, определение пропускной способности пересечения для линий, оборудованных полуавтоматической блокировкой, следует вести по формулам (17) и (17а), а для линий с автоблокировкой — по формулам (19) и (19а), так как $16 > 11,4$, но $10 < 11,4$.

Подставляя принятые данные: $t'_1 = 12 \text{ мин}$, $t_1 = t_2 = 5,7 \text{ мин}$, $\tau = 4 \text{ мин}$ и $I_1 = 10 \text{ мин}$ в формулы (17) и (19) при переменном значении n_2 , получим величины $n_1 = f_{1,2}(n_2)$, $\sum n$ и сведем их в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Средства сношений при движении поездов	Показатели пропускной способности	Пропускная способность пересечения в поездах при n_2 , равном									
		0	6	12	18	24	36	48	60	72	86
Полуавтоматическая блокировка	$n_1 = f_1(n_2)$	72	72	71	71	70	69	68	67	66	—
	$\sum n$	72	78	83	89	94	105	116	127	138	—
Автоблокировка	$n_1 = f_2(n_2)$	115	113	111	108	106	102	98	94	90	86
	$\sum n$	115	119	123	126	130	138	146	154	162	172

Совершенно аналогичную таблицу можно получить для значений $n_2 = f_{1,2}(n_1)$, подставляя переменную n_1 в формулы (17а) и (19а), при прежних значениях постоянных величин.

По данным табл. 5 на рис. 8 построены графики функций $n_1 = f_{1,2}(n_2)$ и $n_2 = f_{1,2}(n_1)$.

Из графика на рис. 8 видно, что:

1) сумма координат любой точки кривых $n_1 = f_{1,2}(n_2)$ и $n_2 = f_{1,2}(n_1)$ дает значение $\sum n$ — пропускной способности пересечения в сово-

купности с работой перегонов, на которых находится это пересечение;

2) максимальная пропускная способность пересечения при $I > t_1 + t_2$ определяется точками o и p пересечения кривых $n_1 = f_1(n_2)$ и $n_2 = f_1(n_1)$ с прямыми (показаны тонкой линией) максимальной пропускной способности перегонов, на которых расположено пересечение железнодорожных линий;

3) при $I \leq t_1 + t_2$, что обычно, если пересекающиеся линии оборудованы автоблокировкой, максимальная пропускная способность пересечения линий определяется точкой m — пересечения кривых $n_1 = f_2(n_2)$ и $n_2 = f_2(n_1)$ между собой.

Изложенное выше позволяет сделать заключение, что пересечение двух подходов железнодорожных линий обеспечивает достаточно высокую пропускную способность по пересекающимся путям этих линий. С учетом резервирования около 15% пропускной способности для двухпутных линий размеры движения в 72 поезда в сутки по каждому из пересекающихся главных путей можно считать допустимыми для пересечения двух подходов в одном уровне.

Пересечения двух однопутных линий и пересечения однопутного подхода двухпутной линии с другим тоже однопутным подходом являются простейшими типами пересечений, поддающимися аналитическому расчету их пропускной способности. Следует отметить, что даже и в этих простейших случаях аналитический расчет дает ориентировочное определение размеров пропускной способности. Пересечения однопутных линий с двухпутными и взаимные пересечения двухпутных линий требуют в большинстве случаев графического расчета и лишь по некоторым из них применение теории вероятностей позволяет дать приближенный ответ по методу аналитического подсчета пропускной способности.

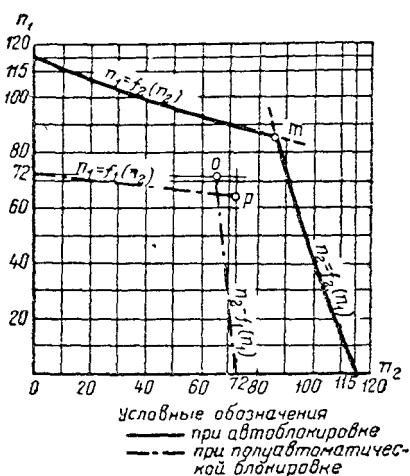


Рис. 8

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ОДНОПУТНОЙ ЛИНИИ С ДВУХПУТНОЙ

Схема пересечения приведена на рис. 9. Для пропуска поездов по однопутной линии необходимо, чтобы окна между четными и нечетными поездами двухпутной линии совпадали между собой. При этом величина окна должна быть не меньше суммы времени занятия точки пересечения парой взаимно пересекающихся поездов.

Убедиться в совпадении окон между четными и нечетными поездами возможно лишь совмещением графиков движения поездов. Иначе говоря, точный расчет пропускной способности такого пересечения возможен только с применением графических методов.

Ориентировочный аналитический подсчет для этого случая нередко делают путем суммирования времени занятия пересечения поездами всех направлений $n_{AB} t_{AB} + n_{BA} t_{BA} + n_{BG} t_{BG} + n_{GB} t_{GB}$ (хотя фактически маршруты поездов n_{AB} и n_{BA} не пересекаются), т. е. ориентируются на полное и наиболее невыгодное несовпадение окон двухпутного графика. Такой расчет дает несколько заниженную пропускную способность, ибо как бы неудачно с точки зрения занятия пересечения не был проложен график, все же

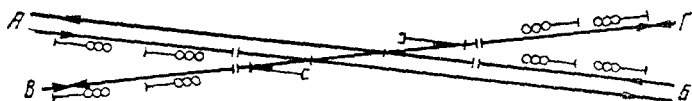


Рис. 9

часть поездов двухпутной линии, идущих по разным путям ее, совпадет между собой по времени прохода через сечение ВГ.

Если воспользоваться теорией вероятностей для определения возможного числа случаев совпадения во времени прохода нечетных и четных поездов по двухпутной линии, то формула для расчета пропускной способности такого пересечения будет иметь вид

$$N_B = \frac{1440(1 - \Delta t) - N_A \left(t_{\max} + t_{\min} - \frac{N_A t_{\max} t_{\min}}{1440} \right)}{t_{BG} + t_{GB} + \frac{N_A [(2t_{\max} + t_{\min})(t_{\max} + t_{\min}) + 2(t_{BG}^2 + t_{GB}^2)]}{2 \cdot 1440}}, \quad (20)$$

где $t_{\max}$ и $t_{\min}$ — наибольшее и наименьшее значения времени занятия пересечения поездами, проходящими по двухпутной линии в разных направлениях. Остальные обозначения известны из предыдущего.

Пользуясь формулой (20), можно при заданных размерах движения по двухпутной линии определить максимальную пропускную способность перескаемой ею однопутной линии.

Длина пересечения по схеме на рис. 9 может быть принята в 280—330 м, считая между сигналами ограждения.

Принимая время занятия пересечения одним поездом одинаковым для всех направлений и равным 8 мин, что соответствует скорости движения поезда 30 км/ч, получим, что пропускная способность пересечения колеблется от 60 до 78 пар поездов в сутки. Возможные по пропускной способности комбинации движения поездов через пересечение приведены в табл. 6.

Характеристика линии	Пропускная способность в парах поездов			
Двухпутная	36	48	60	72
Однопутная	24	18	12	6
Суммарно по пересечению .	60	66	72	78

Из табл. 6 видно, что при увеличении размеров движения по однопутной линии пропускная способность пересечения падает. Устройство такого пересечения в одном уровне в узлах возможно для малодейственных линий, когда размеры движения по однопутной ветви незначительны. Так, при шести парах поездов на однопутной ветви пропускная способность двухпутной линии теоретически достигает 72 пар поездов в сутки.

С учетом оставления некоторого резерва пропускной способности расчетные размеры движения на пересечении в одном уровне однопутной линии с двухпутной могут быть приняты равными 48 парам поездов в сутки при 18 парах поездов параллельного графика по однопутной линии и 30 парах поездов по двухпутной.

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ДВУХ ДВУХПУТНЫХ ЛИНИЙ

Пересечения в одном уровне двух двухпутных линий на перегоне, распространенные на железных дорогах США, в практике нашей железнодорожной сети не встречаются. Определение пропускной способности таких пересечений аналитическим методом с применением теории вероятностей приводит к выводу чрезвычайно громоздких расчетных формул, пользование которыми затруднительно и не может быть рекомендовано. Единственно целесообразной здесь может быть только графическая проверка пропускной способности пересечения по одной из линий при заданных размерах движения по другой.

Поскольку экономическая целесообразность сооружения вторых путей возникает при размерах движения около 30—36 пар поездов, то уже одно это обстоятельство обычно предопределяет необходимость развязки пересечения двух двухпутных линий в разных уровнях, если это пересечение находится на перегоне.

Однако пересечения двухпутных линий в одном уровне на перегоне могут применяться в качестве запасных в особых условиях при обходе узлов и станций.

УПРОЩЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

Приведенные примеры расчета пропускной способности пересечений в одном уровне показывают, что определение поправок на вероятность одновременного подхода поездов непосредственно

в расчетных формулах пропускной способности в той или иной мере усложняет эти формулы.

Если сначала определить относительную долю величины этих поправок в общем суточном времени работы пересечения $\left(\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}\right)$, то, очевидно, расчетные формулы могут быть упрощены. Подставляя в ранее выведенные формулы различное время занятия пересечения одним поездом (от 4 до 10 мин), нетрудно убедиться, что отношение $\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}$ при максимальных значениях n_1 и n_2 или N_A и N_B оказывается величиной практически постоянной. Для пересечений на двухпутных линиях значение величины $\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}$ равно приблизительно 0,85, а на однопутных линиях соответственно 0,75. Отсюда можно составить таблицу поправочных коэффициентов $(1 - \Delta t)$ и $\left(\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}\right)$ для пересечений (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Профиль	Величина поправочных коэффициентов для линий			
	однопутных		двухпутных	
	$1 - \Delta t$	$\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}$	$1 - \Delta t$	$\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}$
Легкий	0,90	0,75	0,80	0,85
Средний	0,93		0,90	
Трудный	0,94		0,93	

Обозначая через α произведение $(1 - \Delta t) \left(\frac{1\,440 - T_{\text{зд}}}{1\,440}\right)$, получим лишь один поправочный коэффициент, величины которого при разных условиях профиля линий приведены в табл. 8. Коэффициент α можно назвать коэффициентом полезной работы пересечения или коэффициентом полезного использования его во времени.

Т а б л и ц а 8

Профиль	Величина коэффициента α полезной работы пересечения на линиях	
	однопутных	двухпутных
Легкий	0,68	0,68
Средний	0,70	0,76
Трудный	0,71	0,80

Незначительная разница между величинами коэффициента α для пересечений на однопутных линиях позволяет в дальнейшем, при ориентировочных расчетах, принимать его округленно равным 0,7. Для пересечений на двухпутных линиях в зависимости от трудности профиля величину α следует принимать от 0,68 до 0,8.

Введение только одного поправочного коэффициента α значительно упрощает расчетные формулы. Например, формула (15) для пересечения двух подходов при равном числе поездов, пропускаемых по каждому из них только в одну сторону, примет вид

$$\sum n = \frac{2 \cdot 1440 \alpha}{t_1 + t_2}. \quad (15a)$$

Пример. При $t_1 + t_2 = 5,7$ мин и $\alpha = 0,68$ для легких профильных условий получим

$$\sum n = \frac{2 \cdot 1440 \cdot 0,68}{11,4} \approx 172 \text{ поезда в сутки,}$$

т. е. то же число, что и в примере на стр. 18.

Аналогично формула (20) для пересечения однопутной линии с двухпутной примет вид

$$N_B = \frac{1440 \alpha - N_A \left(t_{\max} + t_{\min} - \frac{N_A t_{\max} t_{\min}}{1440} \right)}{t_{BГ} + t_{ГВ}}. \quad (20a)$$

Пример. При заданных по двухпутной линии 48 парам поездов и прежних условиях расчета (см. табл. 6) получим пропускную способность N_B по однопутной линии равной 18 парам поездов, а суммарно по пересечению $48 + 18 = 66$ парам поездов в сутки.

ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НА ПОСТАХ-ШЛЮЗАХ

Пересечение железнодорожных линий и ветвей может осуществляться в одном уровне на раздельных пунктах, называемых постами-шлюзами.

Пересечение путей при помощи шлюза хорошо известно в практике проектирования станций и узлов и его обычно применяют для пропуска локомотивов через главные пути в горловинах станций или отдельных парков при значительных размерах движения поездов. Шлюзы же для пропуска поездов при пересечении линий и ветвей применяют довольно редко. Их стараются избегать, предпочитая устраивать в пункте пересечения станцию с более или менее значительным путевым развитием.

Между тем, посты-шлюзы, имея минимальное путевое развитие, обеспечивают безопасность движения поездов через пересечение, обладают достаточно высокой пропускной способностью и могут быть с успехом применены в тех случаях пересечения линий, когда между последними нет взаимной корреспонденции вагонопотоков, требующей развития пункта пересечения в станцию.

ШЛЮЗ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ДВУХ ОДНОПУТНЫХ ЛИНИЙ

На рис. 10 изображен пост-шлюз на пересечении двух однопутных линий. Принцип его работы заключается в следующем. Поезда линии AB можно пропускать по прямому главному или по обгонному пути, между которыми располагается шлюзовой путь. Последний должен иметь длину, достаточную для размещения наиболее длинного из поездов, обращающихся на линии $BГ$.

При подходе поезда из $Г$ назначением на $В$ его принимают на шлюзовой путь с пересечением обгонного пути. Пропуск поездов линии AB в это время производят по прямому главному пути. После того как поезд из $Г$ прибыл и остановился на шлюзовом пути, движение поездов линии AB переводится на обгонный путь и поезд из $Г$ может следовать далее на $В$ с пересечением прямого главного пути, свободного в это время от движения поездов. Аналогично производится и «шлюзование» поездов, следующих из $В$ на $Г$.

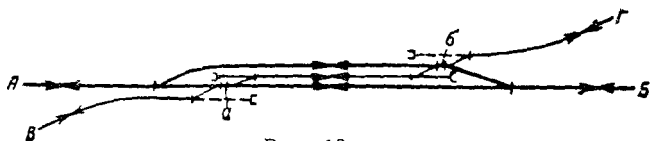


Рис. 10

Расчет пропускной способности поста-шлюза сводится к расчету пропускной способности точек пересечения a и $б$ (см. рис. 10) при совместной их работе по пропуску поездов.

При пропуске поездов через шлюз точка a занимается всеми поездами, прибывающими из $В$ и отправляющимися на $В$, и лишь частью поездов, следующих по линии AB . Другая часть поездов, обращающихся на линии AB , пропускается по обгонному пути, занимая маршрут пересечения в точке $б$. В свою очередь точка $б$, помимо пропуска через нее части поездов, обращающихся на линии AB , занимается всеми поездами, прибывающими из $Г$ и отправляющимися на $Г$.

Трудность задачи аналитического расчета пропускной способности шлюза заключается в том, что соотношение числа поездов, пропускаемых по главному и обгонному путям линии AB , может быть самым разнообразным.

Если во избежание значительного снижения скоростей при следовании поездов по обгонному пути применять укладку стрелочных переводов с пологими крестовинами, то продолжительность занятия маршрута в точках a и $б$ поездами, пропускаемыми по линии AB , можно принять одинаковой. Тогда различие в упомянутом соотношении числа поездов не отразится на расчете пропускной способности и задача последнего упрощается.

Суммируя время занятия маршрутов пересечения в точке a всеми поездами, проходящими через эту точку, и приравнявая его числу минут работы пересечения в сутки, будем иметь

$$N_B (t_{B_{пр}} + t_{B_{от}}) + m_1 N_A (t_{AB} + t_{BA}) = 1440 \alpha.$$

Поступая так же и для пересечения в точке δ , получим другое уравнение

$$N_B (t_{Гпр} + t_{Гот}) + m_2 N_A (t_{АБ} + t_{БА}) = 1440\alpha,$$

где N_B — число пар поездов в сутки на однопутной линии $ВГ$;
 N_A — число пар поездов в сутки на однопутной линии $АБ$;
 $t_{Впр}$ и $t_{Вот}$ — время занятия маршрута пересечения в точке a соответственно поездом, прибывающим из $В$, и поездом, отправляющимся на $В$, в мин;
 $t_{Гпр}$ и $t_{Гот}$ — время занятия маршрута пересечения в точке δ поездом, прибывающим из $Г$, и поездом, отправляющимся на $Г$, в мин;
 $t_{АБ}$ и $t_{БА}$ — время занятия маршрута пересечения соответственно поездом, следующим из $А$ в $Б$ и из $Б$ в $А$, в мин;
 m_1 и m_2 — доля поездов, следующих через поста-шлюз по линии $АБ$ соответственно по главному и по обгонному путям. Сумма $m_1 + m_2 = 1$.

Решая совместно оба уравнения относительно N_A^* , получим пропускную способность поста-шлюза по однопутной линии $АБ$ при заданных размерах движения через пересечение по другой однопутной линии $ВГ$ в парах поездов в сутки

$$N_A = \frac{2 \cdot 1440\alpha - N_B (t_{Впр} + t_{Вот} + t_{Гпр} + t_{Гот})}{t_{АБ} + t_{БА}}. \quad (21)$$

Пропускная способность шлюза по обоим линиям выражается суммой

$$N = N_A + N_B.$$

Длину поста-шлюза (см. рис. 10) между крайними стрелками по главному пути можно принимать в пределах от 1 200 до 1 300 и 1 500 м при полезной длине шлюзового пути соответственно 720, 850 и 1 050 м.

Пример. Определим пропускную способность поста-шлюза, расположенного в неблагоприятных условиях профиля подходов, при следующих данных: $t_{АБ} = t_{БА} = 12,7$ мин, $t_{Впр} = t_{Гпр} = 10,5$ мин, $t_{Вот} = t_{Гот} = 7,5$ мин, $\alpha = 0,70$ и при размерах движения на линии $ВГ$ в 36 пар поездов в сутки. Подставив перечисленные данные в формулу (21), получим, что по линии $АБ$ можно пропустить 28 пар поездов в сутки.

Исследование пропускной способности постов-шлюзов по схеме на рис. 10 показывает, что даже при весьма неблагоприятных условиях, когда подходы линий расположены на подъемах крутизной до руководящего и скорости следования поездов через шлюзовые пересечения не превышают 20—25 км/ч, пропускная способ-

* Если величина N_A задана, то уравнения следует решать относительно N_B .

ность шлюза остается достаточно высокой (до 30—32 пар поездов в сутки по каждой из линий).

Отсюда следует, что пост-шлюз на пересечении двух однопутных линий не ограничивает их пропускной способности. Посты-шлюзы по схеме на рис. 10 позволяют при необходимости производить обгон или скрещение поездов, обращающихся на линии *АБ*, но в этом случае стрелки примыкания ветвей *В* и *Г* должны быть ограждены укладкой предохранительных тупиков, показанных на схеме пунктиром.

ШЛЮЗ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ОДНОПУТНОЙ ЛИНИИ С ДВУХПУТНОЙ

Простейшая схема поста-шлюза на пересечении однопутной линии с двухпутной показана на рис. 11 и представляет собой в сущности просто рассредоточенное пересечение главных путей двухпут-

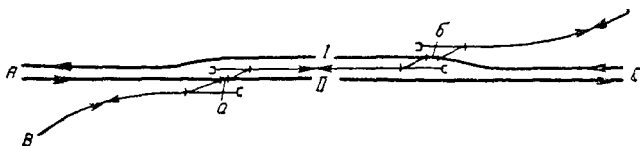


Рис 11

ной линии *АБ* другой, однопутной линией *ВГ*. Между раздвинутыми главными путями двухпутной линии помещается шлюзовой путь такой длины, которая позволяет установку на нем поезда.

При совпадении окон двухпутного графика между собой поезд, пересекающий двухпутную линию, может следовать через шлюз без остановки. В противном же случае, после пересечения одного из главных путей, поезд останавливается на шлюзовом пути и ожидает освобождения маршрута, занятого другим поездом, следующим по второму главному пути. Таким образом, пересечение каждого из главных путей может осуществляться одновременно и для пропуска поездов по однопутной линии не требуется обязательного совпадения окон в графике двухпутной линии.

Если предположить, что все поезда однопутной линии будут пропускаться через шлюз с остановкой из-за несовпадения окон в двухпутном графике или неполного их совпадения, недостаточного для сквозного пропуска поезда¹, то пропускная способность шлюза по рис. 11 определится по наиболее загруженной (по времени) точке пересечения однопутной линии с одним из главных путей двухпутной линии. Допустим, что это — точка *а*.

Чтобы обеспечить пропуск поезда по однопутной линии *ВГ* через пересечение *а* при приеме его на шлюзовую путь, в графике движения поездов по *II* главному пути двухпутной линии *АБ* должно

¹ Для обеспечения безопасности движения поездов в графике однопутной линии следует предусматривать остановку поезда при пропуске его через пост-шлюз, если пропуск поездов по двухпутной линии нормально будет производиться без остановки.

быть окно по величине не менее $t_{AB} + t_{пр}$ (рис. 12), где $t_{AB} + t_{пр}$ — сумма времени занятия пересечения парой взаимно «пересекающихся» поездов. Если I — интервал между поездами по двухпутной линии — по своей величине больше или равен $t_{AB} + t_{пр}$, то пересечение возможно. Если же интервал меньше величины $t_{AB} + t_{пр}$, то каждый поезд однопутной линии $BГ$ (см. рис. 11) при пропуске его через пересечение будет снимать с графика поезда двухпутной линии AB . То же самое будет происходить и при отправлении поезда по однопутной линии на B . Для осуществления пропуска через пересечение отправляющегося на однопутную линию поезда в графике движения поездов по II главному пути двухпутной линии тоже должно быть окно по величине не менее $t_{AB} + t_{от}$ (см. рис. 12).

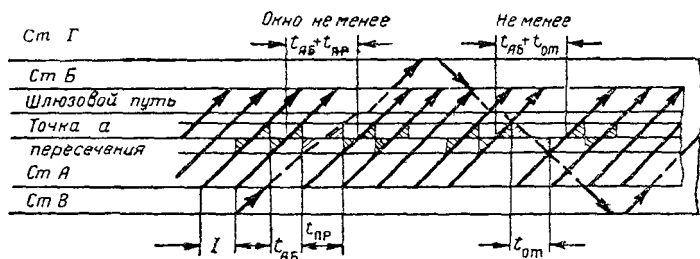


Рис. 12

Величина сдвигки ниток в графике двухпутной линии для пропуска через пересечение одного поезда при приеме его на шлюзовой путь равна $t_{AB} + t_{пр} - I$, при отправлении — $t_{AB} + t_{от} - I$. При N_I пар поездов в сутки на однопутной линии общая сдвигка ниток графика двухпутной линии равна

$$N_I (t_{AB} + t_{пр} - I) + N_I (t_{AB} + t_{от} - I),$$

или

$$N_I (2t_{AB} + t_{пр} + t_{от} - 2I),$$

откуда величина съема в поездах составит

$$\frac{N_I (2t_{AB} + t_{пр} + t_{от} - 2I)}{I}.$$

Исключая величину съема из размеров пропускной способности двухпутной линии $N_{II} = \frac{1440}{I}$ при автоблокировке и вводя коэффициент α , получим пропускную способность N_{II} поста-шлюза по одному из главных путей двухпутной линии AB при заданных размерах движения и при обыкновенном (непакетном) графике на однопутной линии $BГ$

$$N_{II} = \frac{1440\alpha - N_I (2t_{AB} + t_{пр} + t_{от} - 2I)}{I}. \quad (22)$$

Для пакетного графика движения поездов на однопутной линии (рис. 13) окно между поездами в графике пересекаемого главного пути двухпутной линии должно быть не менее:

при приеме каждого поезда с однопутной линии

$$t_{AB} + I_0(k-1) + t_{пр},$$

при отправлении каждого поезда на однопутную линию

$$t_{AB} + I_0(k-1) + t_{от},$$

где k — число поездов в пакете (остальные обозначения см. на рис. 13).

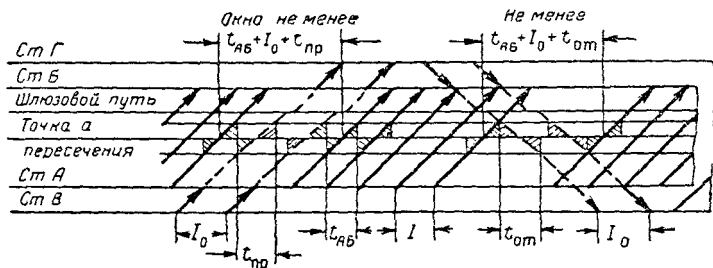


Рис. 13

Общая сдвигка ниток графика двухпутной линии составит: при приеме поездов с однопутной линии

$$\frac{N_I}{k} [t_{AB} + t_{пр} + I_0(k-1) - I],$$

при отправлении поездов на однопутную линию

$$\frac{N_I}{k} [t_{AB} + t_{от} + I_0(k-1) - I],$$

а суточная величина съема поездов на двухпутной линии равна

$$\frac{N_I}{kI} [2t_{AB} + t_{пр} + t_{от} + 2I_0(k-1) - 2I].$$

Отсюда формула (22) пропускной способности поста-шлюза для пакетного графика примет вид

$$N_{II} = \frac{1440\alpha - \frac{N_I}{k} [2t_{AB} + t_{пр} + t_{от} + 2I_0(k-1) - 2I]}{I}. \quad (23)$$

В табл. 9 приведены размеры пропускной способности поста-шлюза по схеме на рис. 11 при следующих расчетных данных. Время занятия маршрута пересечения при пропуске поездов по двухпутной линии $t_{AB} = 6$ мин; время занятия маршрута по прибытию

поездов с однопутной линии $t_{\text{пр}} = 10 \text{ мин}^*$; время занятия маршрута по отправлению на однопутную линию $t_{\text{от}} = 4 \text{ мин}$; расчетный интервал между поездами по двухпутной линии $I = 10 \text{ мин}$; расчетный интервал между поездами по однопутной линии (при пакетном графике) $I_0 = 10 \text{ мин}$; $\alpha = 0,8$. Расчет произведен по формуле (23).

Т а б л и ц а 9

Вид графика по однопутной линии	Размеры движения на однопутной линии в парах поездов	Пропускная способность в поездах	
		двухпутной линии (по одному пути)	шлюзового пересечения
Обыкновенный (непакетный)	24	100	148
То же	30	96	156
Пакетный ($k = 2$)	30	76	136
То же	36	68	140

Сопоставляя размеры пропускной способности поста-шлюза при обыкновенном параллельном и пакетном графиках движения поездов на однопутной линии, можно сделать следующие выводы.

1. Пропускная способность шлюзового пересечения зависит от вида графика движения поездов.

2. Пакетный график движения, являясь эффективным средством увеличения пропускной способности однопутных линий при автоблокировке, в случаях пересечения однопутной линии с двухпутной снижает пропускную способность последней по сравнению с обыкновенным (непакетным) графиком. Поэтому применение постов-шлюзов по схеме на рис. 11 на пересечениях с двухпутными линиями можно рекомендовать в тех случаях, когда размеры движения на однопутной линии относительно невелики и нет перспективы к переходу на пакетный график движения.

Следует отметить, что процесс «шлюзования» поездов широко применяют в практике работы станций с примыканием ветвей и узловых станций, не имеющих развязок подходов в разных уровнях [4]. На рис. 14 приведены две довольно распространенные схемы узловых станций. Одна из них находится на пересечении двух однопутных линий, другая — на пересечении однопутной линии с двухпутной. Схемы станций имеют одностороннее относительно главных путей положение приемо-отправочных парков.

Пропуск поездов через эти станции нередко производят по маршрутам, показанным на схемах более жирными линиями, т. е. поезд с боковой ветви стремятся принять на пути, расположенные в середине парков между приемо-отправочными путями главной ли-

* Прием с остановкой поезда; подход к шлюзу на подъеме, $v_{\text{пр}} = 25 \text{ км/ч}$ для тепловозной тяги (для электрической тяги можно принимать $v_{\text{пр}} = 40 \text{ км/ч}$).

нии, с тем чтобы эти поезда потом легче, с меньшим числом пересечений, можно было бы отправить на другую боковую ветвь. Сравнивая схемы маршрутов приема и отправления поездов на рис. 14 со схемами шлюзов на рис. 10 и 11, легко убедиться, что они между собой тождественны.

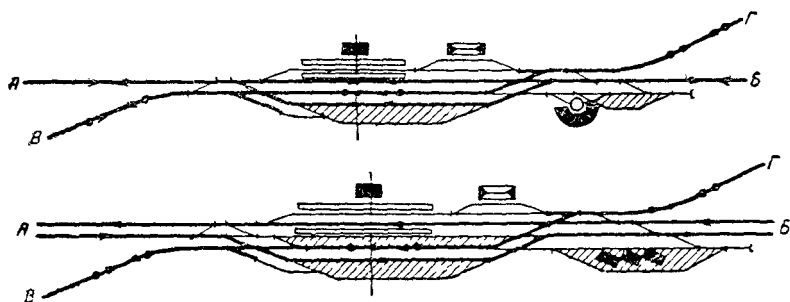


Рис. 14

Шлюзы можно применять также в пунктах примыкания (слияния или разветвления) линий на подходах к узлам (рис. 15) и в горловинах больших пассажирских станций (рис. 16).

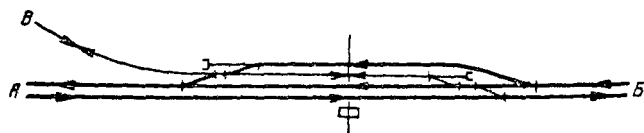


Рис. 15

Размещение поста-шлюза в плане не требует каких-либо специальных условий, кроме желательности расположения самого шлюзового пути на прямой и применения при раздвижке главных путей

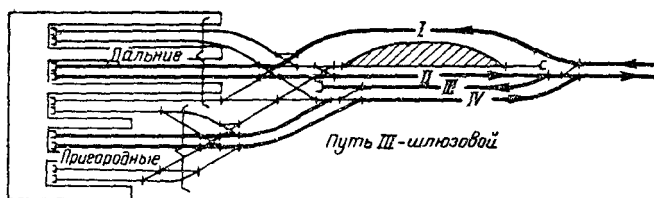


Рис. 16

кривых большого радиуса (более 2 000 м). Что касается продольного профиля путей, то по аналогии с разъездами и станциями без маневровой работы шлюзы можно устраивать на площадке или уклонах крутизной до 2,5‰, а в трудных условиях — на любом профиле, обеспечивающем остановку и трогание с места поезда, остановившегося на шлюзовом пути.

Исследование различных схем шлюзовых пересечений показывает, что они обладают значительно большей пропускной способностью по сравнению с простыми пересечениями в одном уровне. Можно считать, что устройство шлюза обеспечивает повышение пропускной способности пункта пересечения двух однопутных линий на величину до 30%, а пункта пересечения однопутной линии с двухпутной — до 60%.

ПРИНЦИП БЕЗОСТАНОВОЧНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ ПОЕЗДОВ

Применение постов-шлюзов, как было указано выше, предполагает при одновременном подходе двух поездов обязательную остановку одного из них на время пропуска другого. Остановки же поездов вызывают дополнительные затраты времени на разгон и замедление, увеличивают время занятия маршрута пересечения и, следовательно, влекут за собой определенные потери в пропускной способности. Для того чтобы уменьшить эти потери и еще более повысить пропускную способность шлюзовых пересечений, инженер В. Н. Вдовиченко предложил применить к ним принцип безостановочного скрещения поездов.

Если между расположенными рядом подходами двух главных путей, работающих в разных направлениях, уложить на достаточно большом расстоянии друг от друга две пары перекрестных съездов, то получится простейшая схема поста-шлюза (рис. 17)¹, позволяющая осуществлять безостановочный пропуск поездов по взаимно пересекающимся в одной или другой горловине шлюза маршрутам их следования. Происходящее при этом безостановочное скрещение, а точнее — «шлюзование» поездов осуществляется в пределах полезной длины поста-шлюза. Естественно, что применение принципа безостановочного шлюзования поездов возможно лишь при встречном пересечении двух подходов. В попутном пересечении имел бы место безостановочный обгон одного поезда другим, что можно осуществить лишь при чрезмерно длинных двухпутных участках шлюзования и при большой разнице в ходовой скорости поездов.

Поезда через пост-шлюз пропускают в следующем порядке. При одновременном приближении к шлюзу двух встречных поездов пересечение их маршрутов предусматривается в горловине, расположенной со стороны примыкания подхода основного направления, т. е. того направления, по которому размеры движения и скорость следования поездов больше. При неодновременном приближении встречных поездов пересечение маршрутов их следования осуществляется в горловине того направления, по которому поезд подходит к шлюзу первым. Во всех этих случаях и даже в наихудшем, когда поезда приближаются к посту-шлюзу одновременно, подход их к точке пересечения маршрутов все же будет происходить в раз-

¹ Рис. 17, 18 и принципы расчета поста-шлюза приведены здесь из предложения инж. В. Н. Вдовиченко. Железнодорожные развязки в одном уровне. Мосгипротранс, НТО железнодорожного транспорта, 1958.

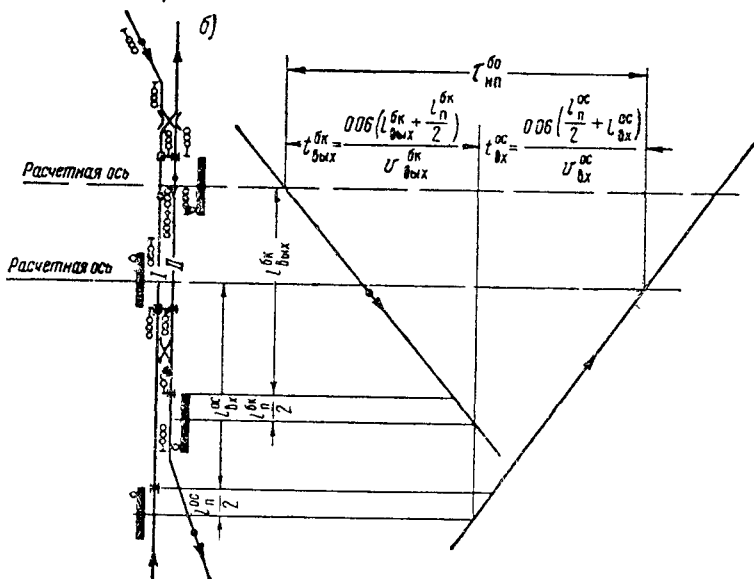
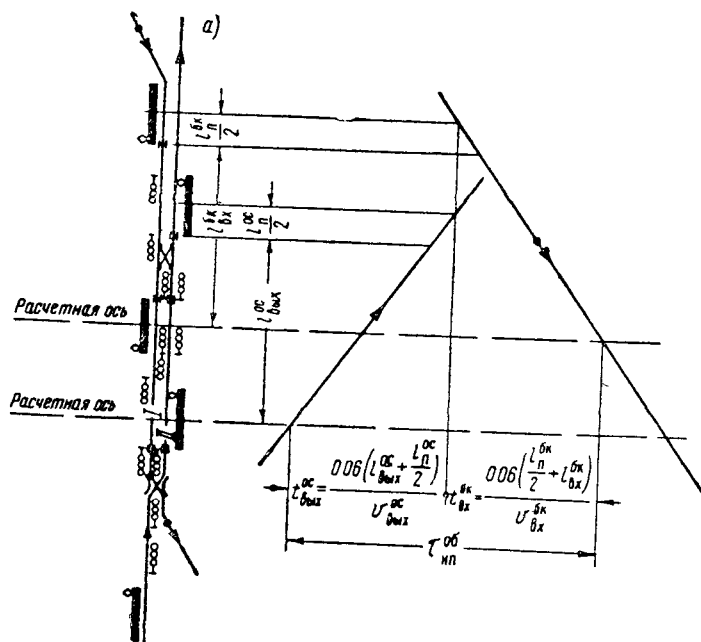


Рис 17

ное время. Интервал между временем прохода точки взаимного пересечения маршрутов тем и другим поездом, очевидно, будет тем больше, чем больше расстояние между горловинами шлюза, т. е. полезная длина шлюза.

Для того чтобы осуществить безостановочное проследование встречных поездов через пересечение, полезная длина путей поста-шлюза $L_{шл}$ должна быть не менее

$$L_{шл} = l_{п} + l_{вс} + l_{т}, \quad (24)$$

где $l_{п}$ — расчетная длина поезда в м,

$l_{вс}$ — путь в м, проходимый поездом за время восприятия машинистом показания сигнала;

$l_{т}$ — расстояние между сигналами выходным и предупредительным к нему, равное тормозному пути, но не менее 1 000 м.

Полезная длина шлюзовых путей определяется отдельно для каждого направления и из двух полученных значений принимается большее.

При автоматическом управлении стрелками и сигналами для приведения системы в действие от движущихся поездов на подходах к шлюзу предусматриваются участки приближения. Изолирующие стыки участков приближения В. Н. Вдовиченко рекомендует устанавливать перед предупредительными (к входным) сигналами не ближе чем за 400 м. Однако при движении поездов нормально на зеленый огонь сигналов автоблокировки участком приближения следует считать предшествующий предупредительному сигналу блок-участок длиной $l_{т}$, но не менее 1 000 м.

Нормальное положение стрелок и сигналов поста-шлюза принимается соответствующее пересечению маршрутов встречных поездов во входной для поездов основного направления горловине (см. рис. 17, а). Выходные сигналы для поезда бокового направления при этом нормально закрыты.

При одновременном вступлении встречных поездов на участки приближения, а также при вступлении на участок приближения первым поезда основного направления стрелки и сигналы остаются в нормальном положении. После освобождения входной горловины поездом основного направления, следующим по пути II, выходной сигнал с пути I для поезда бокового направления автоматически отъезжает, и когда последний освободит выходную горловину, то автоматически восстанавливается нормальное положение стрелок и сигналов.

При вступлении на участок приближения первым поезда бокового направления стрелки и сигналы автоматически устанавливаются в положение, показанное на рис. 17, б. Поезд бокового направления следует по пути II с пересечением маршрутов во входной для него горловине, а поезд основного направления вступает на путь I. После освобождения обоими поездами выходных горловин поста-шлюза стрелки и сигналы устанавливаются опять в исходное положение.

$\tau_{\text{нп}}^{\text{об}}$ — интервал неодновременного прибытия поездов основного и бокового направлений;

$\tau_{\text{НП}}^{\text{бо}}$ — то же бокового и основного направлений.

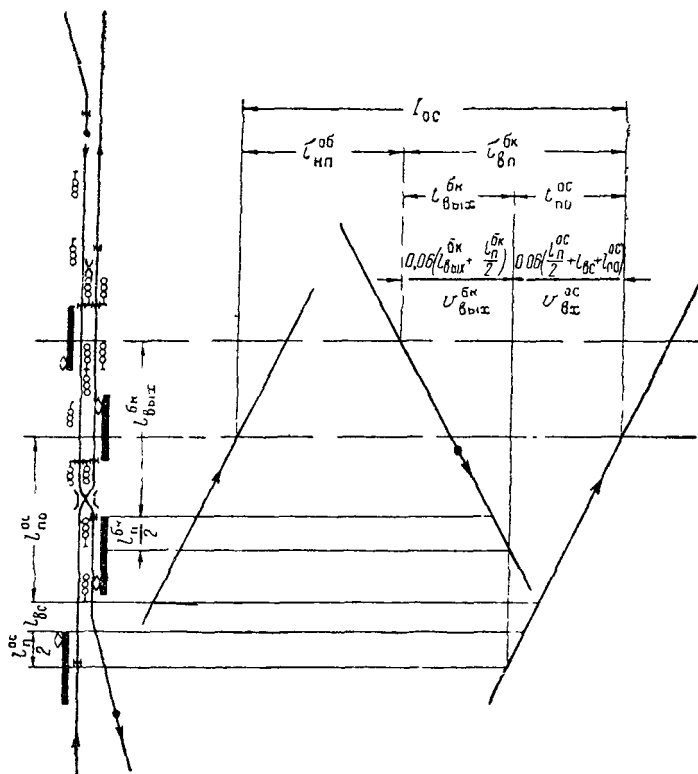


Рис. 18

Если на участок приближения первым вступает поезд основного направления, то он проходит шлюз по пути II, а поезд бокового направления — по пути I. Поезда по указанным путям пропускаются до тех пор, пока интервал одновременного прибытия поездов основного и бокового направлений не превысит величины, определяемой из рис. 17, а. До этого момента пересечение маршрутов встречных поездов будет происходить еще в горловине, входной для поездов основного направления.

При превышении величины интервала $\tau_{\text{нп}}^{\text{об}}$, определяемой из рис. 17, а, т. е. когда поезд бокового направления вступает на участок приближения (после освобождения выходной горловины поез-

дом основного направления), стрелки и сигналы автоматически устанавливаются на пропуск его по пути II, а следующего ему навстречу другого поезда основного направления — на пропуск по пути I с пересечением их маршрутов в горловине, входной для бокового направления, а не основного, как это было в ранее рассмотренном случае. В результате при скрещении рассматриваемого поезда бокового направления со следующим поездом основного направления имеет уже место интервал неодновременного прибытия поездов бокового и основного направлений, наибольшая величина которого определяется из рис. 17, б.

Для расчета пропускной способности поста-шлюза, позволяющего производить безостановочное шлюзование поездов, необходимо определить минимальную величину интервала попутного следования поездов на каждом из пересекающихся направлений. Определение этого интервала I_{oc} для основного направления показано на рис. 18.

Как видно из рис. 18, после освобождения выходной горловины поездом бокового направления следующий поезд основного направления может прибыть для скрещения на пост-шлюз не ранее времени $t_{по}^{oc}$. Минимальная величина $t_{по}^{oc}$ может определяться при следовании встречного поезда на желтый огонь сигнала автоблокировки, как это и показано на рис. 18, однако во избежание снижения скорости движения рекомендуется ее рассчитывать на следование приближающегося к посту-шлюзу поезда на зеленый огонь. Тогда, очевидно, величина $t_{по}^{oc}$ будет равна $t_{вх}^{oc}$ (сравните рис. 17, а и 18), а интервал $\tau_{вп}^{bk}$ неодновременного отправления поезда бокового направления и встречного прибытия поезда основного направления составит

$$\tau_{вп}^{bk} = t_{вых}^{bk} + t_{вх}^{oc}.$$

Отсюда величина интервала I_{oc} попутного следования поездов по основному направлению составит

$$I_{oc} = \tau_{нп}^{об} + \tau_{вп}^{bk},$$

или

$$I_{oc} = \tau_{нп}^{об} + \tau_{нп}^{бо}. \quad (25)$$

Условные обозначения см. на рис. 17 и 18

Аналогично определяется и интервал попутного следования поездов по боковому направлению.

Подставляя в формулу (4а) пропускной способности двухпутной линии при автоблокировке значения интервалов попутного следования поездов, получим пропускную способность поста-шлюза по основному направлению

$$n_{oc} = \frac{1440(1 - \Delta t)}{I_{oc}}, \quad (26)$$

то же по боковому направлению

$$n_{\text{БК}} = \frac{1440(1 - \Delta t)}{I_{\text{БК}}} \quad (26a)$$

Об ориентировочных размерах пропускной способности поста-шлюза для безостановочного пропуска поездов двух встречных пересекающихся направлений можно судить из приведенного ниже примера.

Пример. Определить пропускную способность поста-шлюза при следующих данных. Длина маршрута $l_{\text{ВЫХ}}^{\text{ос}}$ (см. рис. 17) для основного и $l_{\text{ВЫХ}}^{\text{БК}}$ для бокового направления принята одинаковая и равная 1700 м; $l_{\text{ВХ}}$ для обоих направлений — 2840 м. Длина поездов $l_{\text{п}} = 850$ м. Скорость сквозного прохода по маршруту пересечения при стрелочных переводах марки $1/15$ или $1/18$ принята тоже одинаковая для обоих направлений и равная 80 км/ч.

Решение.

$$\tau_{\text{нп}}^{\text{об}} = \tau_{\text{нп}}^{\text{бо}} = 0,06 \frac{l_{\text{ВЫХ}} + l_{\text{п}} + l_{\text{ВХ}}}{v},$$

что даст при принятых значениях величин

$$\tau_{\text{нп}}^{\text{об}} = \tau_{\text{нп}}^{\text{бо}} = 0,06 \frac{1700 + 850 + 2840}{80} = 4,1 \text{ мин.}$$

$$I_{\text{ос}} = I_{\text{БК}} = 2 \cdot 4,1 = 8,2 \text{ мин.}$$

откуда при $1 - \Delta t = 0,93$ (см. табл. 7)

$$n_{\text{ос}} = n_{\text{БК}} = \frac{1440 \cdot 0,93}{8,2} \approx 163 \text{ поезда в сутки}$$

по каждому из пересекающихся направлений

Сопоставляя полученный результат с ранее рассмотренными примерами расчета пропускной способности простых и шлюзовых пересечений (см. рис. 6 и 10), можно убедиться в преимуществах поста-шлюза для безостановочного скрещения поездов, как средства повышения пропускной способности пункта пересечения двух линий. Кроме того, если в пересечении по рис. 6 или 10 неизбежны задержки одного из поездов при одновременном их подходе, то устройство поста-шлюза для безостановочного скрещения, во-первых, исключает эти задержки при соблюдении рассчитанных выше интервалов движения поездов и, во-вторых, гарантирует безопасность движения при любом профиле подходов к пересечению.

Применение стрелочных переводов с пологими марками крестовин позволяет пропускать поезда через пост-шлюз с большими скоростями, обеспечивая высокую его пропускную способность, почти не уступающую путепроводным развязкам. Поэтому в необходимых случаях посты-шлюзы для безостановочного скрещения можно применять для развязки подходов двухпутных линий к узлам (рис. 19).

Недостатком такой развязки является значительная ее длина, почти в три раза бóльшая по сравнению с обычной путепроводной развязкой (см. рис. 19), что может при проектировании потребовать отвода и развития примыкающей к узлу боковой линии. Это обстоя-

тельство, а также и то, что для обслуживания поста-шлюза требуется (даже при автоматическом управлении стрелками и сигналами) штат работников служб движения и СЦБ и связи, необходимо учитывать при сравнении и выборе того или иного типа развязки подходов.

При проектировании развязок в одном уровне их пропускную способность следует определять изложенным выше методом в зависимости от конкретных условий, в которых находится та или иная развязка: профиля и плана подходов, назначения железнодорожных линий, соотношения размеров движения по пересекающимся

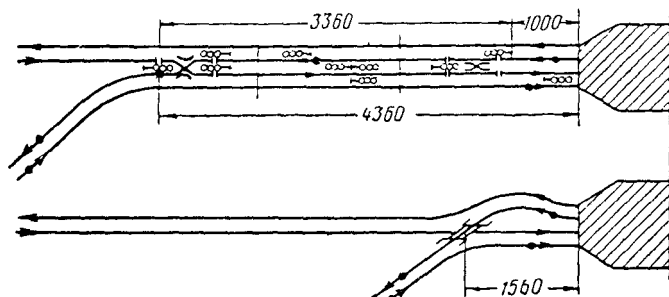


Рис. 19

направлениям и скорости движения поездов. В сложных случаях расчета наличной пропускной способности уже имеющих на железных дорогах пересечений и развязок в одном уровне целесообразна ее графическая проверка по размерам движения, наложенным на графиках пересекающихся направлений.

Для ориентировочной оценки размеров пропускной способности наиболее типичных пересечений на подходах к узлам можно пользоваться данными табл. 10.

Таблица 10

Наименование развязки	Схема	Способ отношений по движению поездов	Пропускная способность в парах поездов	Расчетные размеры движения (с учетом 15—20% резерва)
			По каждой линии	
Пересечение двух однопутных линий на перегоне: а) при обыкновенном графике б) при пакетном графике ($k = 2$)		Полуавтоматическая блокировка Автоблокировка	24	20
			30	24

Наименование развязки	Схема	Способ сношений по движению поездов	Пропускная способность в парах поездов	Расчетные размеры движения (с учетом 15-20% резерва)
			По каждой линии	
Пересечение двух однопутных линий в горловине станции		Автоблокировка	37	30
Попутное или встречное пересечение подходов двухпутных линий		Полуавтоматическая блокировка	68*	54*
		Автоблокировка	86*	72*
Шлюз на пересечении двух однопутных линий		Автоблокировка	В сумме по обеим линиям $36 + 28 = 64$ $30 + 24 = 54$	
Пересечение однопутной линии с двухпутной		Автоблокировка	$6 + 72 = 78$ $24 + 36 = 60$	$5 + 60 = 65$ $18 + 30 = 48$
Шлюз на пересечении однопутной линии с двухпутной		Автоблокировка	$30 + 96 = 126$ $36 + 68 = 104$	$24 + 80 = 104$ $30 + 54 = 84$

* Размеры движения даны в поездах в одном направлении.

Г Л А В А II

РАЗВЯЗКИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ В РАЗНЫХ УРОВНЯХ. ТЕОРИЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И РАЗВЯЗКИ ПОДХОДОВ, ПРИМЕНЕНИЕ ЕЕ К АНАЛИЗУ И ВЫБОРУ СХЕМ РАЗВЯЗОК В УЗЛАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О РАЗВЯЗКЕ В РАЗНЫХ УРОВНЯХ

Развязки в разных уровнях с помощью путепроводов проектируют и применяют в настоящее время во всех железнодорожных узлах и на подходах к пассажирским, сортировочным и другим крупным станциям.

Назначение самой развязки и ее схема зависят от специализации отдельных элементов (станций, парков) и взаиморасположения их в узле. В соответствии с этим развязки делят на два основных вида: развязки «по линиям» и развязки «по направлениям движения».

Если в узле сходятся две или несколько железнодорожных линий и каждая из них обслуживается самостоятельной станцией или своим отдельным парком объединенной станции, то такие узлы обычно имеют развязку по линиям. В развязках по линиям взаимное положение главных путей каждой линии остается таким же, как и на перегоне.

Развязка по направлениям движения всегда соответствует специализации станций или парков в узле не по линиям, а по направлениям движения поездов независимо от того, с какой из сходящихся в узле линий прибывают эти поезда. В развязке по направлениям движения главные пути разных линий, но одного и того же направления следования поездов группируются вместе.

При необходимости отделить пассажирское движение от грузового или дальнее от пригородного устраивают развязку «по роду движения», в которой расплетение путей по направлениям движения (или по линиям) сочетается с расплетением их по роду движения. При небольших размерах пассажирского движения, после расплетения путей по направлениям, развязку по роду движения иногда устраивают в одном уровне без путепроводов.

ТЕОРИЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И РАЗВЯЗКИ ПОДХОДОВ

Путепроводы в сложных развязках являются дорогими сооружениями, поэтому при решении общей схемы развязки следует стремиться к уменьшению их числа, одновременно ликвидируя с их

помощью наибольшее число пересечений в одном уровне. В самих схемах развязки существует определенная зависимость между числом точек пересечения развязываемых железнодорожных путей или линий и количеством путепроводов, необходимых для устранения этих пересечений. Зависимость эта устанавливается теорией пересечений и развязки подходов.

Основам теории пересечений и развязки подходов положил начало академик В. Н. Образцов в 1926 г. [9]. Исследуя пересечения, В. Н. Образцов пришел к следующим выводам.

1. Если в определенном сечении $A - A'$ подходит n линий в определенной последовательности (рис. 20) и если в другом сечении $B - B'$ линии эти идут уже в другой последовательности, то в промежутке между этими сечениями линии должны неизбежно пересекаться друг с другом.

2. Различное расположение линий дает различное число пересечений. Легко видеть, что максимум пересечений будет в том случае, когда каждая линия пересекает все остальные. Это будет тогда, когда номера линий в сечении $B - B'$ будут стоять в обратном порядке по отношению к сечению $A - A'$ (см. рис. 20).

При этих условиях и при числе линий, равном n :

1-я линия	пересечет	$(n - 1)$	линий с	высшим номером
2-я	»	$(n - 2)$	»	»
3-я	»	$(n - 3)$	»	»
.				
n -я	»	$(n - n)$	»	»

Отсюда, общее и максимальное число точек пересечения при n однопутных линий выразится, как сумма членов арифметической прогрессии

$$S = \frac{n[(n-1) + (n-n)]}{2} = \frac{n}{2}(n-1).$$

3. Если пересекаются двухпутные линии, то, как видно из рис. 21, каждая из них, пересекаясь с последующей, дает четыре точки сечения, т. е. двухпутные линии учетверяют число пересечений. Отсюда общее и максимальное число пересечений при n двухпутных линий составит

$$S_2 = 4 \frac{n}{2} (n-1) = 2n(n-1).$$

4. Минимальное число пересечений, очевидно, имеет место при сохранении одинаковой последовательности линий в обоих сечениях $A - A'$ и $B - B'$ и равно нулю как при однопутных, так и при двухпутных линиях.

Таким образом, в зависимости от расположения линий в двух сечениях число пересечений колеблется:

при однопутных линиях от 0 до $\frac{n}{2}(n-1)$;

при двухпутных линиях от 0 до $2n(n-1)$.

5. Если указанные пересечения заменить путепроводами, то число их будет меньше, чем число пересечений. Одним путепроводом всегда можно перекрыть все пересечения, которые лежат на одной или на n параллельных линиях, не пересекающихся между собой в пределах площади перекрытия.

Характерно при этом, что число путепроводов остается одинаковым, несмотря на различие их расположения. Число путей на пересекающихся линиях также не влияет на число путепроводов.

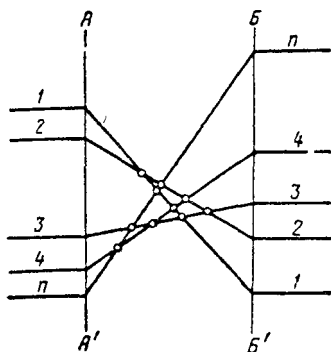


Рис. 20

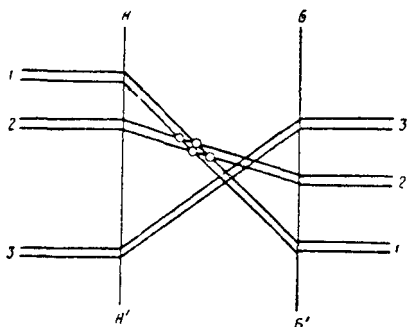


Рис. 21

При максимальном числе пересечений, как легко видеть из схемы на рис. 22, действует определенный закон числа путепроводов, а именно: при n линиях число путепроводов $M = n - 1$ для однопутных и двухпутных линий.

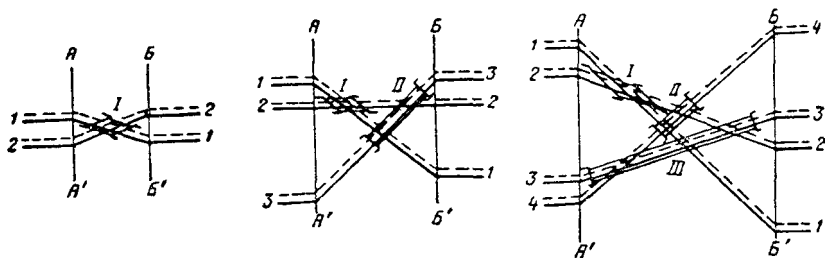


Рис. 22

6. Разветвление однопутной линии на любое число однопутных или обратное слияние их не вызывает никаких пересечений или путепроводов (рис. 23, а).

7. Каждое разветвление или слияние двухпутной линии вызывает один путепровод или пересечение (рис. 23, б и в). Таким образом, разветвление или слияние одной двухпутной линии на n двухпутных дает $n - 1$ пересечений или путепроводов.

8. Очень часто двухпутные линии, не сливаясь в одну, расходятся (группируются) по направлениям; такое расхождение по направлениям дает также $n - 1$ пересечений или путепроводов (рис 23, *г*)

Последние два вывода (7 и 8) являются частными для схем, приведенных на рис. 23, и не могут быть распространены на другие случаи развязки или расхождения подходов двухпутных линий.

Рассмотрим первый из них. В схеме на рис. 23, *б* путь, идущий

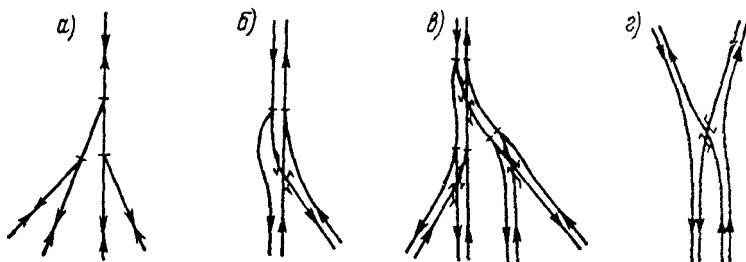


Рис 23

сверху вниз, разветвляется на стрелке и одна из ветвей его пересекает путь противоположного направления той же линии. По такому же принципу построена схема на рис. 23, *в*, где каждое разветвление дает только одну точку пересечения или один путепровод.

Если устраивается двухпутное ответвление от существую-

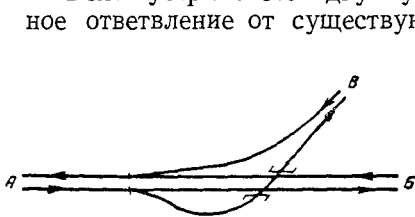


Рис 24

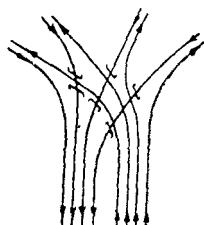
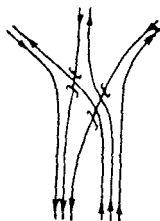


Рис 25

щей двухпутной линии, часто бывает нецелесообразно производить перекладку одного, а иногда и обоих главных путей существующей линии для размещения путепроводной развязки. Тогда применяют другую схему (рис 24), по которой ответвляющийся на стрелке путь направлением на *В* пересекает оба главных пути линии *АВ*, причем трасса последних остается без изменения. Легко видеть, что каждое разветвление или слияние двухпутной линии по такой схеме дает уже не одну, а две точки пересечения, которые, правда, могут быть перекрыты одним путепроводом.

Во втором случае на рис. 23, *г* приводится расхождение путей по направлениям только для двух двухпутных линий. Попробуем постепенно увеличивать число линий, сохраняя принципиальную схему расхождения путей без изменения (рис. 25). Число путепро-

водов при расплетении путей по направлениям в одном конце узла действительно соответствует числу путепроводов в точках пересечения путей при слиянии двухпутных линий (на схемах б и в рис. 23) и равно $n - 1$, но число самих точек пересечения не равно $n - 1$, а подчиняется другому закону, что нетрудно установить сравнением схем с приведенным выше рис. 20. Число пересечений при расплетении путей на подходах двухпутных линий по направлениям для анализируемой схемы (см. рис. 25) будет равно $\frac{n}{2} (n - 1)$.

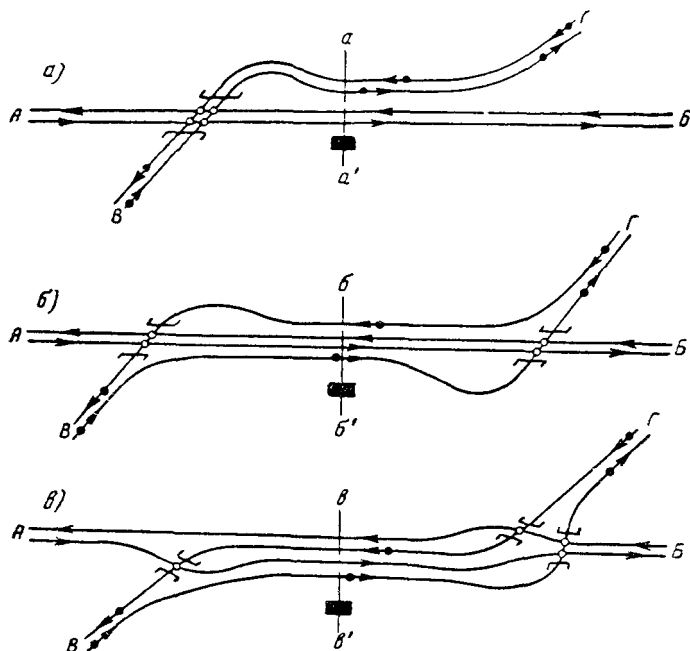


Рис 26

При двух подходах (см. рис. 23, г) мы имеем лишь частный случай равенства

$$\frac{n}{2} (n - 1) = n - 1, \text{ так как } \frac{n}{2} = 1.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что число пересечений при разветвлении (слиянии) двухпутных линий или при развязке в одном конце узла их подходов по направлениям зависит не только от числа линий, но и от самой схемы расплетения путей.

Проанализируем важнейшие схемы развязок в узлах двухпутных линий с одной станцией или в узлах по схеме, вытянутой в длину.

На рис. 26 изображены три различные схемы полной развязки подходов в обоих концах такого узла. Простейшая из них схема

на рис. 26, а дает развязку подходов по линиям; на схемах рис. 26, б и в подходы развязаны по направлениям движения, но различным образом. На схеме рис. 26, б главные пути линии ВГ объемлют линию АБ, располагаясь в сечении б—б' симметрично продольной оси развязки. Развязка обоих концов узла получается тоже симметричной. На схеме рис. 26, в один из главных путей линии ВГ входит внутрь развязки, размещаясь между главными путями линии АБ, и в сечении в — в' пути располагаются последовательно: первым сверху идет путь линии АБ, затем путь линии ВГ, потом вновь путь линии АБ, и, наконец, опять путь линии ВГ. В противоположном конце узла развязка оказывается несимметричной.

Условимся называть схему на рис. 26, б развязки подходов объемлющей, или симметричной, а схему на рис. 26, в — несимметричной, или с последовательным расплетением путей.

Общее число точек пересечения во всех трех схемах, как и следовало ожидать, получается одинаковым, и при двух пересекающихся в узле линиях равно четырем. Общее же число путепроводов в узле различно. В первой схеме один путепровод, во второй два и в третьей три. Одинаковое для всех трех схем число путепроводов получилось лишь в развязке левого конца узла (подходы от А и В).

Предположим теперь, что в узле пересекаются три двухпутные линии АБ, ВГ и ДЕ (рис. 27). Общее число путепроводов в узле для развязки по линиям получилось равным двум, для объемлющей развязки по направлениям — четырем и для развязки с последовательным расплетением путей по направлениям — шести. В развязке левого конца узла число путепроводов увеличилось до двух, оставаясь одинаковым для всех трех схем.

Продолжая увеличивать число пересекающихся линий в узле, нетрудно установить следующее.

В узлах, образованных пересечением n двухпутных линий, общее (и максимальное) число точек пересечения путей не зависит от схемы развязки подходов, а зависит лишь от числа пересекающихся линий и составляет

$$S_0 = 2n(n - 1). \quad (27)$$

Общее число путепроводов при полной развязке узла, т. е. при развязке в разных уровнях всех $2n(n - 1)$ пересечений, зависит не только от числа пересекающихся в узле линий, но и от схемы расплетения (расположения) путей в самой развязке.

При развязке подходов по линиям общее число путепроводов составит

$$M_0 = n - 1. \quad (28)$$

Если подходы к узлу развязываются по направлениям, то:
а) при объемлющей, или симметричной, схеме расплетения путей в развязке общее число путепроводов составит

$$M_0 = 2(n - 1); \quad (29)$$

б) при последовательной схеме распления путей общее число путепроводов составит

$$M_0 = 3(n - 1)^*.$$
(30)

Отсюда следует, что наименьшее число путепроводов дает развязка узла по линиям. В полной развязке узла по направлениям при объемлющей (симметричной) схеме распления путей общее

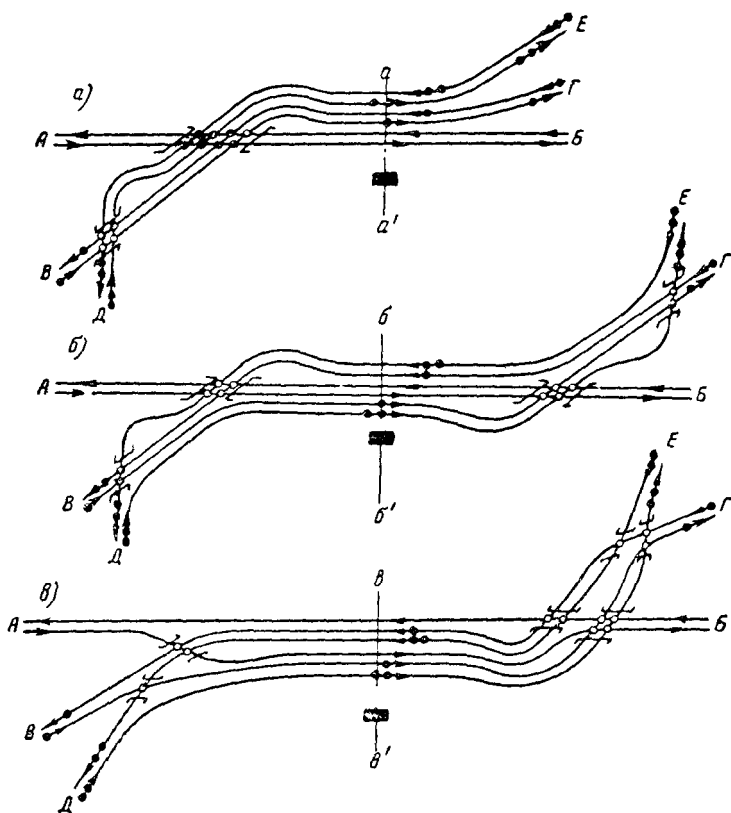


Рис. 27

число путепроводов в узле удваивается, а при последовательной схеме распления путей — утраивается.

Однако развязка по линиям может быть допустима лишь в узлах, образованных на пересечении железнодорожных линий, при незначительной взаимной корреспонденции вагонопотоков между последними.

* При одинаковой схеме развязки в обоих концах узла число путепроводов может остаться равным $2(n-1)$, но тогда внутри узла останутся неразвязанными $n(n-1)$ точек пересечения (см. ниже рис. 28).

При полной развязке подходов к узлу по направлениям наименьшее общее число путепроводов в сравниваемых схемах на рис. 26, б и в и 27, б и в получается по схеме на рис. 26, б объемлющего расплетения путей. Схема с последовательным расплетением путей характерна тем, что дает в одном конце узла весьма простую развязку (см. на рис. 26, в и 27, в развязку подходов от А, В и Д в левом конце узла), более простую даже, чем по схеме с объемлющим расплетением подходов по направлениям. Зато развязка в противоположном конце узла значительно усложняется. Причину этого усложнения легко понять, подсчитав число развязываемых точек пересечений.

Если общее количество точек пересечения в узле двухпутных линий всегда равно $S_0 = 2n(n - 1)$, то при трех пересекающихся линиях (см. рис. 27) оно будет равно двенадцати. В левом же конце узла развязываются, как видно из схемы, только три точки. Остальные девять точек пересечения необходимо развязать с помощью путепроводов в противоположной, правой, части узла, если только не допустить внутриузловых сечений в одном уровне. Естественно, что развязка девяти точек пересечения в правом конце узла получится значительно сложнее и в данном случае требует сооружения четырех путепроводов.

Все это необходимо помнить при проектировании железнодорожных узлов, ибо часто бывает так, что, проектируя развязку подходов в одном конце узла и стремясь к ее простоте, отдельные инженеры-проектировщики применяют последовательную схему расплетения путей, не задумываясь, какие осложнения возникнут в развязке другой, противоположной горловины узла.

Следует отметить, что наибольшее число линий, развязываемых в одном конце (горловине) узла, независимо от схемы последнего даже в самых крупных узлах не превышает трех-четырех.

Поэтому для анализа схем развязок вполне достаточно ограничить число развязываемых подходов двухпутных линий четырьмя.

РАЗВЯЗКИ ПО ЛИНИЯМ

В табл. 11 приведены схемы этого вида развязки при двух, трех и четырех линиях, примыкающих к узлу с одной стороны.

Пронумеровав линии, сходящиеся в узле, подсчитаем число точек пересечения и число путепроводов в развязке. При двух железнодорожных линиях, примыкающих к узлу, число точек пересечения равно четырем; при трех линиях — двенадцати, а при четырех линиях — уже двадцати четырем, т. е. число точек пересечения возрастает в определенной зависимости от числа линий.

Установим эту зависимость. Из схем в табл. 11 видно, что любая двухпутная линия, пересекая каждую последующую, дает четыре точки пересечения. Если число всех двухпутных линий равно n , то 1-я линия, пересекая последующие, дает $4(n - 1)$ точек пересечения, 2-я линия — $4(n - 2)$ точек, 3-я линия — $4(n - 3)$ точек и т. д.,

Схема развязки	Число линий	Число точек пересечения	Число путепроводов
	2	4	1
	3	12	2
	4	24	3

наконец, n -я линия дает $4(n-1)$ точек пересечения и общее число точек пересечения S при n линиях составит

$$S = \frac{n}{2} [4(n-1) + 4(n-n)] = 2n(n-1). \quad (31)$$

Для развязки этих пересечений в разных уровнях при двух линиях требуется только один путепровод, при трех линиях — два путепровода, при четырех — три путепровода и вообще при n линиях число путепроводов M равно числу линий без единицы, т. е.

$$M = n - 1. \quad (32)$$

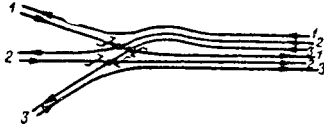
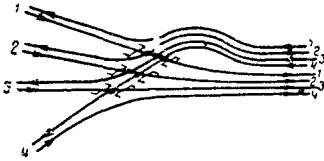
Помня из предыдущего, что общее число точек пересечения S_0 в узле при полном пересечении n линий равно $2n(n-1)$, из табл. 11 видно, что развязкой по линиям можно развязать все $2n(n-1)$ пересечения сразу в одном конце узла. Тогда в противоположном конце (горловине) узла пересечений уже не будет.

РАЗВЯЗКИ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ДВИЖЕНИЯ

Развязки по направлениям движения, как было установлено выше, могут иметь расплетение путей по последовательной или по объемлющей схемам.

Последовательная схема. В табл. 12 приведены схемы развязки при двух, трех и четырех двухпутных линиях, примыкающих к узлу с одной стороны. Так же, как и в предыдущем случае, установим зависимость числа точек пересечения и путепроводов от числа линий, сходящихся в узле.

Таблица 12

С х е м а	Число линий	Число точек пересечения	Число путепроводов
	2	1	1
	3	3	2
	4	6	3

Из схем в табл. 12 видно, что главный путь подхода к узлу любой линии пересекает пути выхода из узла всех последующих линий. Так, путь подхода первой линии пересекает путь выхода второй, третьей и четвертой линий; путь подхода второй линии пересекает пути выхода из узла третьей и четвертой линий и т. д.

Если число всех двухпутных линий принять равным n , то подход 1-й линии образует с выходами всех последующих линий $(n-1)$ точек пересечения, подход 2-й линии — $(n-2)$ точек, подход 3-й линии — $(n-3)$ точек и т. д., наконец, подход n -й линии образует с выходами всех последующих линий $(n-n)$ точек пересечения. Отсюда общее число точек пересечения S в развязке при n линиях составит

$$S = \frac{n}{2} [(n-1) + (n-n)] = \frac{n}{2} (n-1). \quad (33)$$

Число путепроводов и в этом случае равно числу линий, сходящихся в узле, без единицы, т. е. $M = n - 1$.

Зная, что общее число точек пересечения в узле, образованном на пересечении n двухпутных линий, равно $S_0 = 2n(n - 1)$, можно определить, какую часть пересечений возможно устраи-

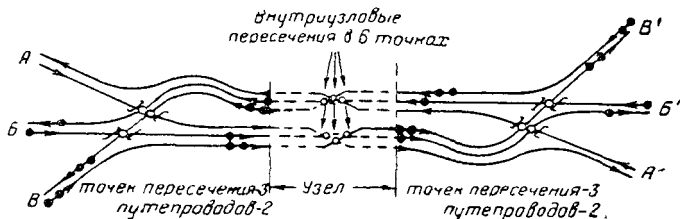


Рис. 28

нить развязкой подходов в одном конце узла. Число устраняемых точек пересечения составляет

$$\frac{n(n - 1)}{2 \cdot 2n(n - 1)} = \frac{1}{4},$$

или 25% общего числа всех точек пересечения в узле.

Если такую же схему развязки принять в противоположном конце узла, то можно развязать в разных уровнях еще 25% всех точек пересечения, а в сумме в обеих развязках 50% всех точек

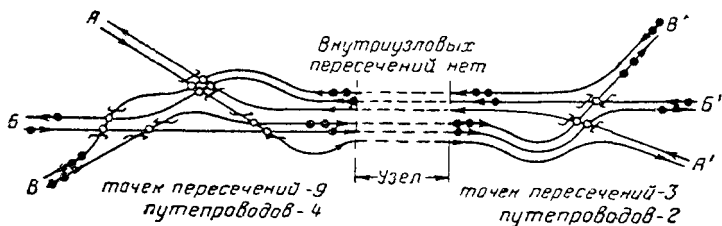


Рис. 29

пересечения в узле. Следовательно, другая половина точек пересечения останется неразвязанной в одном уровне, внутри узла (рис. 28).

Для того чтобы избежать внутриузловых пересечений в одном уровне при последовательной схеме распления путей, необходимо в одном из концов узла спроектировать развязку с большим числом путепроводов (рис. 29, развязка подходов к узлу с левой стороны). Действительно, если общее число путепроводов в полной развязке узла при последовательной схеме распления подходов составляет $3(n - 1)$, то, развязывая подходы в одном конце узла $(n - 1)$ путепроводами, в противоположном конце, естественно, получим $3(n - 1) - (n - 1) = 2(n - 1)$, т. е. удвоенное число путепроводов.

Таким образом, путепроводная развязка по направлениям со схемой последовательного расплетения путей, как правило, не устраняет всех пересечений маршрутов пропуска поездов через узел.

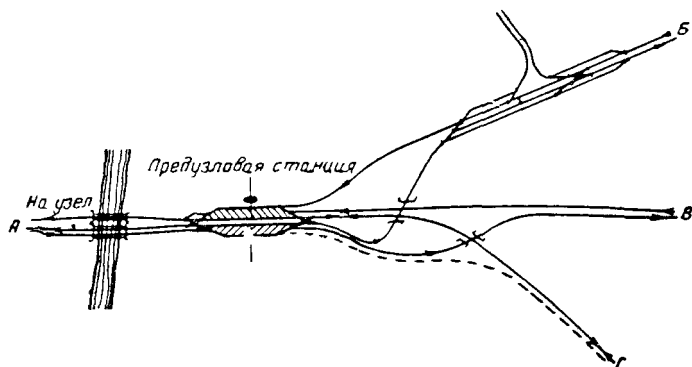


Рис. 30

При необходимости же их полного устранения неизбежно сооружение в одном из концов узла вдвое большего количества путепроводов.

В качестве примера развязок с последовательным расплетением путей на рис. 30 схематически показана развязка одного из узлов

сети железных дорог СССР и на рис. 31 — западная развязка узла Кельн (ФРГ).

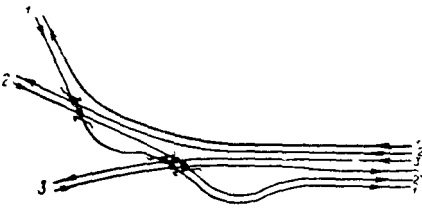
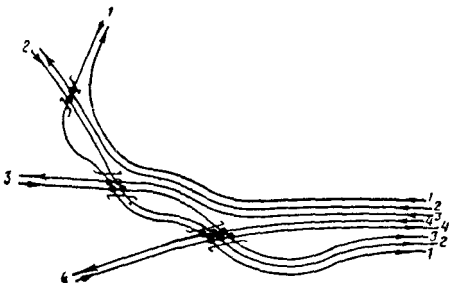
Объемлющая схема. На схемах в табл. 13 изображены развязки по направлениям с симметричным или объемлющим расплетением путей на подходах железнодорожных линий к узлу.

Число точек пересечения и путепроводов, устраняющих эти пересечения, так же, как и в предшествующих случаях, возрастает в определенной зависимости от числа линий.

На схемах развязки видно, что каждая из последующих линий объемлет главными путями каждую предшествующую и один из главных путей любой последующей линии (в дан-

ном случае — путь прибытия поездов в узел) пересекает оба главных пути каждой из предшествующих линий.

Если число всех двухпутных линий, сходящихся в узле, равно n , то путь прибытия 1-й линии пересекает все предшествующие линии с высшими номерами в $2(n-1)$ точках, путь прибытия 2-й линии — в $2(n-2)$ точках, путь прибытия 3-й линии — в $2(n-3)$ точ-

С х е м а	Число линий	Число точек пересечения	Число путе- проводов
	2	2	1
	3	6	2
	4	12	3

как и т. д., наконец, путь прибытия n -й линии пересекает все предшествующие линии с высшими номерами в $2(n - n)$ точках.

Отсюда общее число точек пересечения S в развязке n линий составит

$$S = \frac{n}{2} [2(n - 1) + 2(n - n)] = n(n - 1). \quad (34)$$

Эти пересечения, как видно из схем (см. табл. 13), развязываются в разных уровнях $(n - 1)$ путепроводами.

Развязка по направлениям с объемлющей схемой расплетения путей устраняет в каждом конце узла $n(n - 1)$, т. е. половину всех точек пересечения, а в обоих концах узла все $2n(n - 1)$ точек пересечения, присущих узлам, образованным при пересечении двухпутных линий, и дает минимальное для этого вида развязки общее число путепроводов в узле.

Поэтому при необходимости развязать узел по направлениям движения схему развязки с объемлющим расплетением путей сле-

дует считать наиболее целесообразной во всех случаях реконструкции загруженных железнодорожных узлов с большим транзитным движением на пересекающихся в узле линиях.

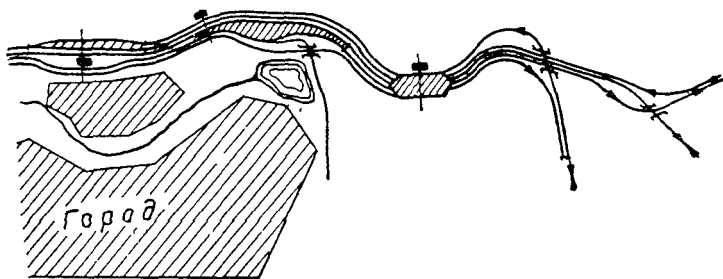


Рис. 32

Примером развязки с объёмлющим расплетением путей может служить восточная развязка узла, показанного на рис. 32. Узел имеет характерную схему, вытянутую в длину.

УСЛОВИЯ ВЗАИМНОЙ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ ПОЕЗДОПОТОКОВ В РАЗВЯЗКАХ ПО ЛИНИЯМ И ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ДВИЖЕНИЯ

В тех узлах, где имеется значительная взаимная корреспонденция поездопотоков между железнодорожными линиями, при общем повышении размеров движения поездов часто требуется устранение пересечений их маршрутов в одном уровне и обеспечение независимости движения по пересекающимся в узле линиям. Отсюда возникает необходимость рассмотреть условия перехода прямых поездопотоков с одной линии на другую для основных видов развязки подходов: по линиям и по направлениям движения.

Для этого возьмем небольшие узлы четырех направлений (т. е. узлы, образованные на пересечении двух линий), поскольку они имеют весьма большое распространение¹.

На рис. 33, а показан узел с одной станцией, развязки подходов к которому осуществлены по линиям. Из схемы узла видно, что переход поездов с одной линии на другую требует пересечения главных путей и сложной маневровой работы. Для того чтобы получить возможность производить поворот поездопотоков с Г на А и с В на Б, достаточно уложить соединительные ветви 1 и 2 (показаны пунктиром), но потоки противоположного направления будут иметь встречное пересечение в одном уровне в точке О.

Изменяя технологический процесс работы узла так, что один из парков (верхний на рис. 33, б) будет специализирован для приема поездов с Б и Г, а другой парк — для приема поездов с А и В, и

¹ На дорогах СССР таких узлов насчитывается около 35% общего числа всех узлов сети.

устанавливая в правом конце узла путепроводную развязку (ветвь 3), получим узел с одной станцией, развязанный по направлениям движения, приспособленный для пропуска прямых потоков по пересекающимся линиям и потоков, отклоняемых в направлениях $ГА$, $ВВ$ и обратно¹.

Однако внутри узла в выходных горловинах парков появляются попутные пересечения: при пропуске прямых потоков $АВ$ и $ВГ$ — в горловине нижнего (по рис. 33, б) парка; при пропуске потока, от-

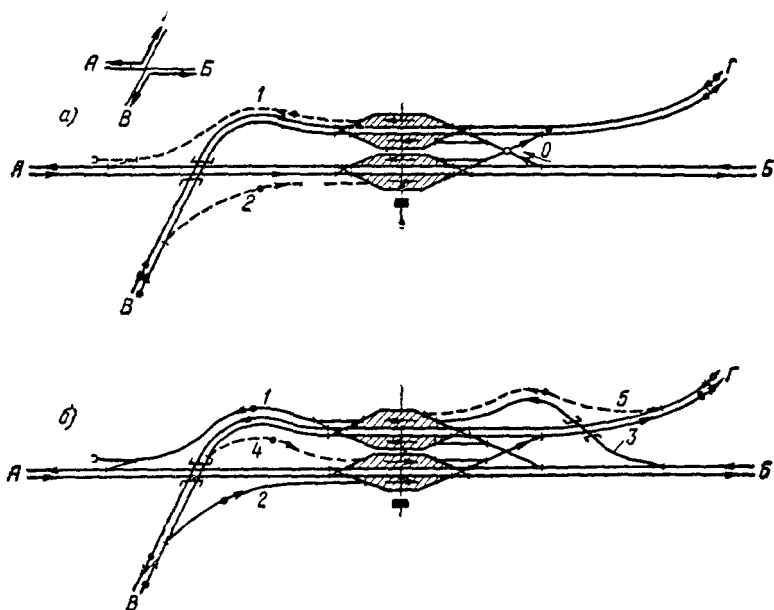


Рис. 33

клоняемого в направлении $ГА$, пересекаются в горловине верхнего парка маршруты следования поездов от $Г$ на $А$ и от $В$ на $В$. Чтобы избежать и этих сечений, нужны еще две ветви 4 и 5, показанные на рис. 33, б пунктиром.

Итак, в узле, имеющем развязку по линиям, для того чтобы устранить все пересечения в маршрутах следования поездопотоков, отклоняемых в направлениях $АГ$, $ВВ$ (и обратно) между собой и с прямыми потоками, требуется построить дополнительно пять ветвей и один путепровод. Общее протяжение этих ветвей в условиях равнинного или слабо пересеченного рельефа местности достигает 7—8 км и более. В результате постройки вышеупомянутых ветвей узел

¹ Устройство ветвей для пропуска поездопотоков, отклоняемых в направлениях $АВ$, $ВГ$ и обратно (угловые потоки), рассматривается ниже при анализе схем развязок в крестообразных узлах.

(рис. 33) получает развязку по направлениям движения со сложной комбинированной схемой расплетения путей.

Рассмотрим такой же узел, но с развязкой подходов по направлениям движения, выполненной по схеме с последовательным расплетением путей (рис. 34, а). Пропуск потоков в направлениях АГ, БВ и обратно осуществляется здесь без пересечений, но зато прямые поездопотоки по линиям АБ и ВГ имеют попутные пересечения в горловинах парков станции. Для того, чтобы избежать этих пере-

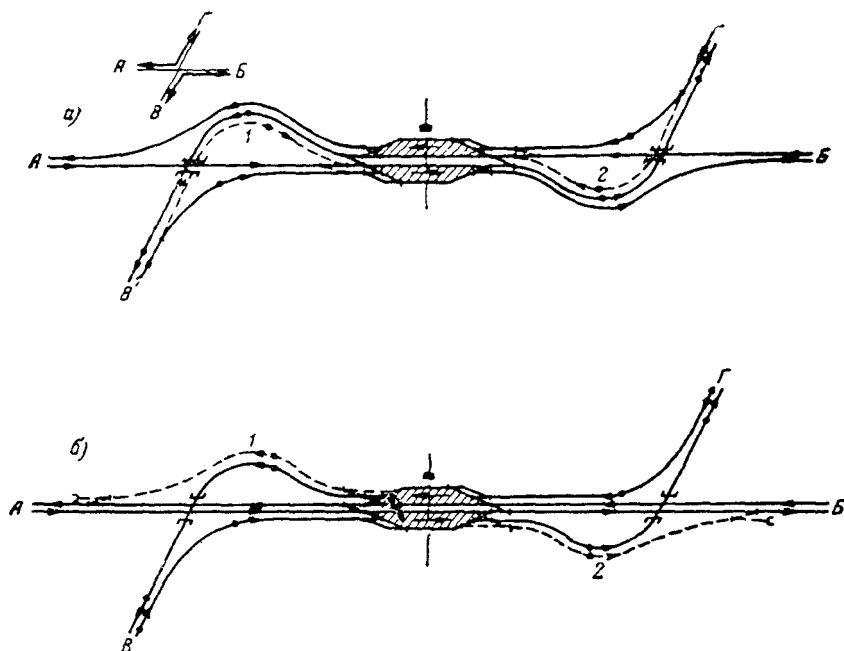


Рис. 34

сечений необходимо сооружение ветвей 1 и 2, с переустройством обоих путепроводов в развязках узла.

В узле, имеющем объемлющую схему развязки главных путей по направлениям движения (рис. 34, б), расплетение прямых поездопотоков по линиям АБ и ВГ осуществляется без пересечений в одном уровне, но зато пересекаются в горловинах станции отклоняемые поездопотоки ВБ с АГ и ГА с БВ. Ликвидировать пересечение этих потоков можно так же, как и в предшествующем случае, при помощи постройки двух ветвей 1 и 2, показанных пунктиром. Однако сооружение обеих ветвей не требует работ по переустройству путепроводов в узле и может быть легко осуществлено.

Изложенное позволяет сделать вывод, что узлы, развязанные по направлениям движения с объемлющей схемой расплетения путей, достаточно хорошо удовлетворяют пропуску транзитных поездо-

потоков и позволяют обеспечить переход их с одной линии на другую при минимальных затратах на сооружение дополнительных ветвей.

РАЗВЯЗКИ ПО РОДУ ДВИЖЕНИЯ

Развязки по роду движения характерны для железнодорожных узлов, расположенных при больших городах (Свердловск, Харьков, Ростов-на-Дону и др.). На рис. 35 приведена схема развязки подходов в одном из таких узлов. Пассажирское движение по всем сходящимся в узле линиям выделено на два самостоятель-

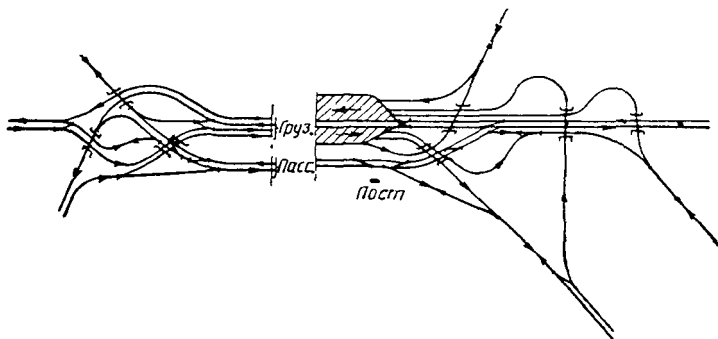


Рис. 35

ных главных пути и обслуживается специальной пассажирской станцией. В зависимости от взаимного расположения специализированных устройств (станций, парков) в узле развязки по роду движения также различаются построением своей схемы.

А. Развязки в узлах с параллельным расположением специализированных станций

Развязки по роду движения обычно совмещаются с развязкой по направлениям движения всех или только грузовых поездов. При этом развязка по направлениям движения должна предшествовать развязке по роду движения, а не наоборот. Это значит, что подходы к узлу следует сначала расплести по направлениям, а потом уже по роду движения (см. рис. 35).

В подтверждение этого положения проф. В. Д. Никитин [8] приводит теоретическую схему развязки двух линий, выполнившую сначала «по операциям» (т. е. по роду движения), а потом уже по направлениям движения (рис. 36). Схема получилась весьма сложной, с пятью путепроводами.

Такое усложнение естественно, так как в схеме на рис. 36 каждый главный путь сразу разветвляется на два — для пассажирского и грузового движения, а потом уже последние развязываются по направлениям; в схеме же на рис. 35 и во всех остальных, приведенных ниже примерах, разветвление путей происходит только после

развязки их по направлениям. Расплетение путей по направлениям в развязке по роду движения может быть выполнено по последовательной или по объемлющей схеме.

Последовательная схема. Схемы такой развязки на подходе к узлу одной, двух, трех и четырех двухпутных линий приведены в табл. 14.

Развязку можно разделить на две зоны *а* и *б*. В зоне *а* подходы линий развязываются лишь по направлениям, тогда как зона *б* представляет собой собственно развязку по роду движения.

Совершенно очевидно, что число точек пересечения в зоне *а*, где подходы развязываются лишь по направлениям, равно $\frac{n}{2} (n - 1)$,

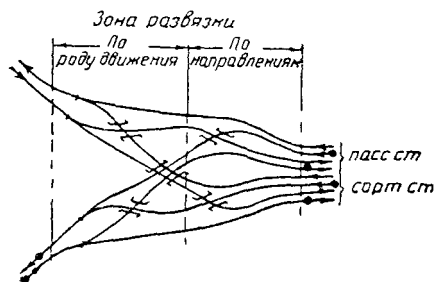


Рис. 36

а число путепроводов равно $n - 1$. В этом легко убедиться, сравнив зону *а* данной развязки с ранее рассмотренными схемами развязки по направлениям, приведенными в табл. 12.

Значит, для того чтобы найти зависимость числа пересечений и путепроводов от числа линий в совмещенной развязке по направлениям и роду движения, достаточно

определить последовательно при 1, 2, 3, 4, ..., n подходах линий к узлу число точек пересечения и путепроводов в зоне *б* развязки по роду движения и затем суммировать его с известным уже числом пересечений и путепроводов в зоне *а*, т. е. в зоне развязки по направлениям.

Из схем и данных табл. 14 находим, что в зоне *б*:

при одной линии число точек пересечения равно $2 \cdot 1^2 - 1 = 1$, а число путепроводов равно 1;

при двух линиях число точек пересечения равно $2 \cdot 2^2 - 1 = 7$, а число путепроводов равно 2;

при трех линиях число точек пересечения равно $2 \cdot 3^2 - 1 = 17$, а число путепроводов равно 3;

при четырех линиях число точек пересечения равно $2 \cdot 4^2 - 1 = 31$, а число путепроводов равно 4 и т. д.

Наконец, при n линиях число точек пересечения будет равно $2 \cdot n^2 - 1$, а число путепроводов равно n .

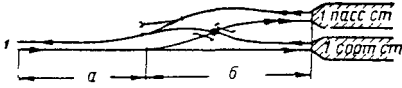
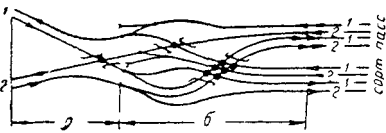
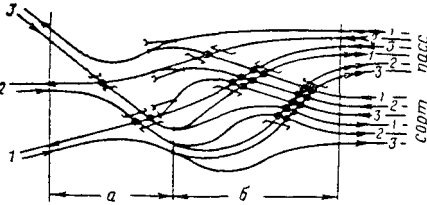
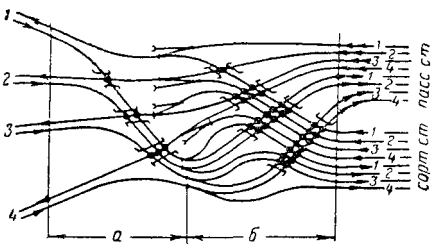
Отсюда общее число точек пересечения составит

$$S = \frac{n}{2} (n - 1) + 2n^2 - 1 = 2,5n^2 - 0,5n - 1, \quad (35)$$

а число путепроводов

$$M = 2n - 1. \quad (36)$$

Таблица 14

С х е м а	Число линий	Число точек пересе- чения в зоне б	Число путепро- водов в зоне б
	1	1	1
	2	7	2
	3	17	3
	4	31	4

Дальнейший анализ схем развязки по роду движения с последовательным расплетением путей позволяет установить некоторые, характерные для этого типа развязки, особенности.

Каждая новая, примыкающая к узлу линия, вызывает сооружение двух новых путепроводов: одного в зоне развязки по направлениям и другого в зоне развязки по роду движения (см. схемы в табл. 14).

Каждая последующая линия дает более сложную схему путе-
провода¹. Из табл. 14 видно, что:

1-я линия дает схему путепровода	$\frac{1}{1}$
2-я » » » »	$\frac{1}{1}$ и $\frac{2}{3}$
3-я » » » »	$\frac{1}{2}$ и $\frac{2}{5}$
4-я » » » »	$\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{7}$
.	
n-я » » » »	$\frac{1}{n-1}$ и $\frac{2}{2n-1}$

Имеющиеся в развязке путепроводы при последующем увеличении числа линий, примыкающих к узлу, не изменяют своей схемы и, если при проектировании разместить их в развязке с учетом перспективных примыканий, то при появлении последних потребуются постройка двух новых путепроводов и изменение существующих подходов (перетрассировка) железнодорожных путей². Существующие путепроводы не потребуют какого-либо их переустройства.

Проектирование развязки с учетом перспективных линий неизбежно увеличит расстояние между путепроводами зоны *а* и *б*, т. е. растянет всю схему развязки на большую длину. При этом необходимо заметить, что развитие, т. е. нарастание числа путепроводов в развязке с последовательной схемой расплетения путей подходов, железнодорожных линий, идет в одну сторону — к узлу. Это нетрудно видеть при рассмотрении схем, помещенных в табл. 14.

Естественно, что целесообразность учета перспективного развития должна в каждом случае определяться в зависимости от конкретных условий, в которых проектируется развязка, тем более, что последующее ее удлинение в сторону узла всегда бывает затруднительно.

Объемлющая схема. Развязки по роду движения с объемлющей схемой расплетения путей приведены в табл. 15. Так же, как и в предыдущем случае, разделим схему развязки на две зоны: зону *а* — развязки по направлениям и зону *б* — развязки по роду движения. Число подходов линий, примыкающих к узлу с одной стороны, ограничим тремя.

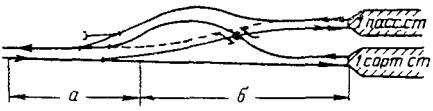
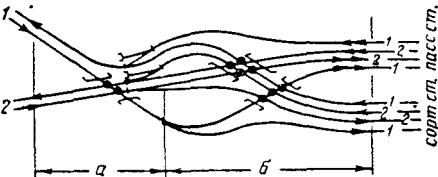
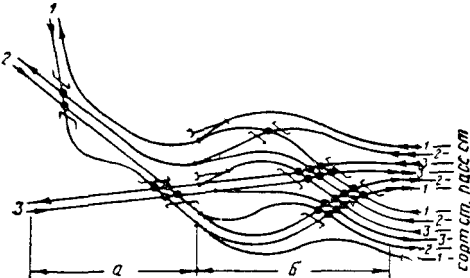
Зная из предыдущего, что число точек пересечения *S* в развязке по направлениям с объемлющей схемой расплетения путей, т. е.

¹ Под схемой путепровода здесь подразумевается отношение числа пересекающихся путей. Например, схема $\left(\frac{2}{3}\right)$ означает, что путепровод имеет два пути, пересекающиеся с тремя.

² Это обстоятельство следует иметь в виду при выборе типа развязки в тяжелых топографических условиях, где последующее изменение трассы путей может оказаться невозможным.

в зоне a , равно $n(n - 1)$ и число путепроводов $M = n - 1$, выясним зависимость числа пересечений и путепроводов от числа линий только для зоны b развязки по роду движения.

Таблица 15

С х е м а	Число линий	Число точек пересечения в зоне b	Число путе- проводов в зоне b
	1	$2 \cdot 1^2 - 1 = 1$	1
	2	$2 \cdot 2^2 - 1 = 7$	2
	3	$2 \cdot 3^2 - 1 = 17$	3

Из схем и данных табл. 15 видно, что в зоне b развязки с объемлющей схемой расплетения подходов сохраняется точно такая же зависимость числа пересечений и путепроводов от числа линий, как и для развязки с последовательным расплетением подходов, т. е. число точек пересечения в зоне b составит $2n^2 - 1$ и число путепроводов — n .

Отсюда общее число пересечений в развязке по роду движения с объемлющей схемой расплетения путей будет равно

$$S = n(n - 1) + 2n^2 - 1 = 3n^2 - n - 1, \quad (37)$$

а число путепроводов

$$M = 2n - 1. \quad (38)$$

В развязке по роду движения с объемлющей схемой расплетения путей каждая новая линия также вызывает появление двух

новых путепроводов, но в отличие от развязки с последовательной схемой расплетения путей каждое примыкание новой линии влечет за собой переустройство существующих путепроводов, увеличение их отверстий и укладку дополнительных пролетных строений. При этом положение трассы всех путей в развязке, за исключением двух крайних внешних, при появлении подхода новой линии не изменяется.

Каждое примыкание новой линии увеличивает длину зон *a* и *б*, но это увеличение в отличие от развязки с последовательной схемой происходит в обе стороны от границы между зонами, причем в направлении к узлу значительно меньше, чем в сторону подходов. Такое свойство данной схемы развязки, очевидно, более благоприятно для ее последующего развития.

Развязки с внешним расположением путепроводов Сравнивая между собой схемы развязок различного типа, приведенные выше в табл. 11, 12, 13, 14 и 15, можно установить следующее.

Схемы из табл. 11 (развязка по линиям) и из табл. 13 (объемлющая развязка по направлениям) позволяют постепенно увеличивать число примыкающих к узлу линий, без изменения трассы ранее уложенных подходов. То же самое можно сказать и о зоне *a* развязки из табл. 15, которая представляет собой собственно объемлющую развязку по направлениям.

Схемы, приведенные в табл. 12 (развязка по направлениям с последовательным расплетением путей), в табл. 14 (развязка по роду движения с последовательным расплетением путей) и зона *б* развязки в табл. 15, напротив, при развитии развязки требуют того или иного изменения трассы ранее построенных подходов линий.

Рассматривая расположение путепроводов относительно путей развязки, нетрудно заметить, что во второй группе схем (см. табл. 12, 14 и схемы зоны *б* в табл. 15) все путепроводы находятся как бы внутри развязки и охватываются с обеих внешних сторон ее крайними путями.

Напротив, в первой группе схем (см. табл. 11, 13 и схемы зоны *a* в табл. 15) путепроводы или вовсе не охватываются путями (в развязке по линиям), или охватываются только с одной стороны, а с другой находятся снаружи путей развязки (см. табл. 13 и 15 — зона *a*). Если пути в развязке объемлют путепроводы с обеих сторон, то, чтобы пропустить через путепровод еще один путь нового подхода линии, надо нарушить схему путей развязки или пересечь объемлющие пути новым путепроводом. При внешнем положении путепроводов хотя бы с одной стороны развязки всегда можно пропустить через путепроводы внутрь развязки новый путь, если он подходит к развязке с этой же стороны.

Отсюда можно сделать вывод, что развязки с внешним расположением путепроводов позволяют осуществлять их развитие без изменения трассы ранее уложенных путей и требуют при этом для существующих путепроводов лишь увеличения их отверстий или укладки рядом нового пролетного строения и уширения опор для

пропуска новых подходов. Все это можно предусмотреть заранее при сооружении путепроводов с учетом перспективного примыкания новых линий.

В только что рассмотренной развязке по роду движения с объемлющей схемой расплетения путей (см. табл. 15) путепроводы зоны *б* расположены внутри развязки, поэтому дальнейшее ее развитие при появлении новых линий влечет за собой частичное изменение трассы ранее построенных путей. Однако этого можно избежать, если трассу выхода главного пути с пассажирской станции, показанную пунктиром (см. верхнюю схему в табл. 15), сразу уложить на путепровод

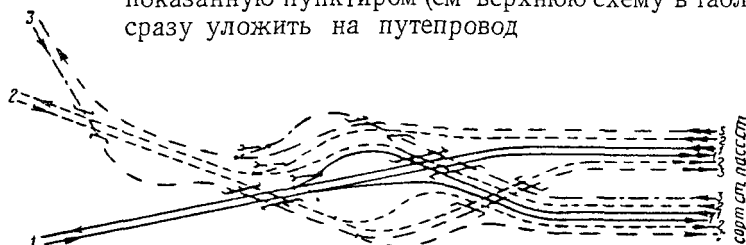


Рис. 37

Тогда при последующем развитии подходы новых линий, показанные на рис. 37 различным пунктиром, не вызовут изменения трассы подходов предшествующих линий, так как путепроводы всегда будут сооружаться с внешней стороны.

Число путепроводов в такой развязке остается тем же, что и прежде, т. е. $M = 2n - 1$, а число точек пересечения увеличится на единицу и составит

$$S = n(3n - 1) = 3n^2 - n. \quad (39)$$

Б. Развязки в узлах с последовательным расположением специализированных станций

Все проанализированные выше схемы развязки подходов по роду движения предполагают одностороннее (боковое) расположение главных пассажирских путей относительно сортировочной (грузовой) станции.

При расположении пассажирской и сортировочной станции последовательно, одна за другой, пассажирские пути в развязке обычно выносятся по обе стороны подходов главных путей грузового движения и объемлют сортировочную станцию.

Расплетение путей в таких развязках может быть выполнено по последовательной или по объемлющей схеме.

Последовательная схема. На рис. 38 изображены развязки по роду движения с последовательной схемой расплетения путей подходов двух и трех железнодорожных линий, примыкающих к узлу.

Увеличивая число примыкающих к узлу линий и подсчитывая каждый раз число точек пересечения и путепроводов, можно установить, что зависимость между ними выразится формулами.

При четном числе линий (см. рис. 38, а)

Число точек пересечения

$$S_{\text{четн}} = \frac{n}{2} (3n - 1) - 2. \quad (40)$$

Число путепроводов

$$M_{\text{четн}} = 2n - 1. \quad (41)$$

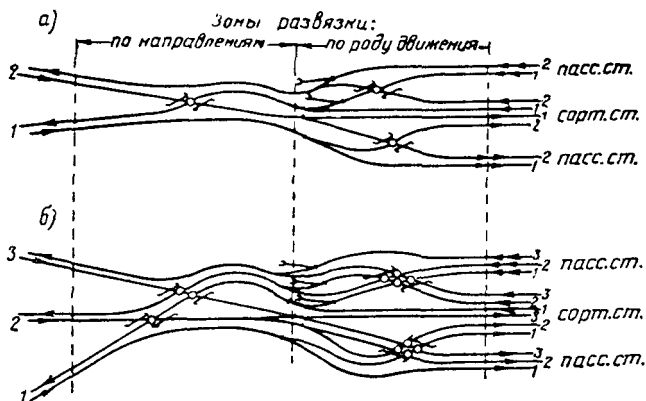


Рис. 38

При нечетном числе линий (см. рис. 38, б)

Число точек пересечения

$$S_{\text{неч}} = \frac{n}{2} (3n - 1) - 1. \quad (42)$$

Число путепроводов

$$M_{\text{неч}} = 2n - 2. \quad (43)$$

Объемлющая схема. Эта схема развязки приведена на рис. 39 тоже для двух и трех двухпутных линий, примыкающих к узлу с одной стороны.

При сравнении схем на рис. 38 и 39 видно, что правая часть их, т. е. зона собственно развязки по роду движения, совершенно одинакова; различие наблюдается только в расплетении подходов по направлениям, которое на рис. 38 выполнено по последовательной схеме, а на рис. 39 — по объемлющей.

Число точек пересечения и путепроводов в развязке тоже зависит от того, четное или нечетное число линий подходит к узлу.

При четном числе линий (рис. 39, а)

Число точек пересечения

$$S_{\text{четн}} = n(2n - 1) - 2. \quad (44)$$

Число путепроводов

$$M_{\text{четн}} = 2n - 1. \quad (45)$$

При нечетном числе линий (рис. 39, б)

Число точек пересечения

$$S_{\text{неч}} = n(2n - 1) - 1. \quad (46)$$

Число путепроводов

$$M_{\text{неч}} = 2n - 2. \quad (47)$$

Необходимо теперь сопоставить схемы развязки подходов по роду движения в противоположных горловинах узла.

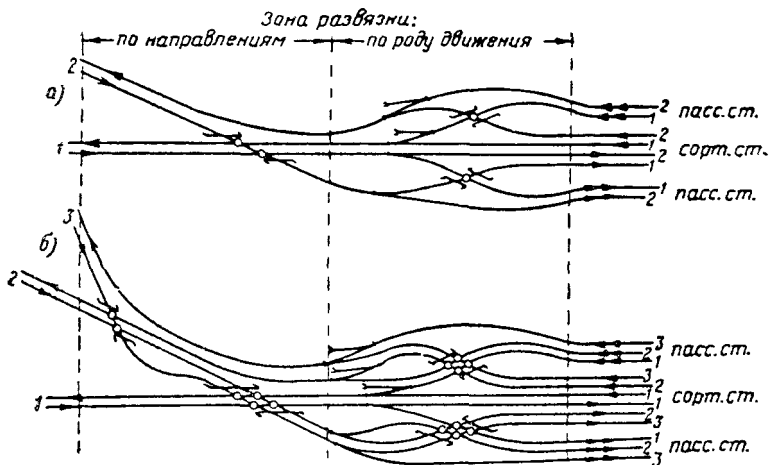


Рис. 39

Выше, при анализе схем развязок по направлениям движения, было установлено, что, проектируя подходы железнодорожных линий в одном конце узла, всегда необходимо иметь в виду те осложнения, которые вносит применение последовательной схемы расщепления путей в развязку подходов к узлу с противоположной стороны (см. рис. 29). Это в такой же, если не в большей степени относится к развязкам подходов по роду движения, ибо последние представляют собой в сущности объединенную схему развязки как по направлениям, так и по роду движения.

Если, не изменяя схемы развязки, просто повернуть ее на чертеже на 180° и применить для противоположного конца узла, то

развязка по схеме из табл. 14 и рис. 38 всегда даст внутриузловые сечения, характерные для тех развязок, в которых главные пути расплетаются по направлениям последовательно (рис. 40). Число таких внутриузловых пересечений удваивается сравнительно с раз-

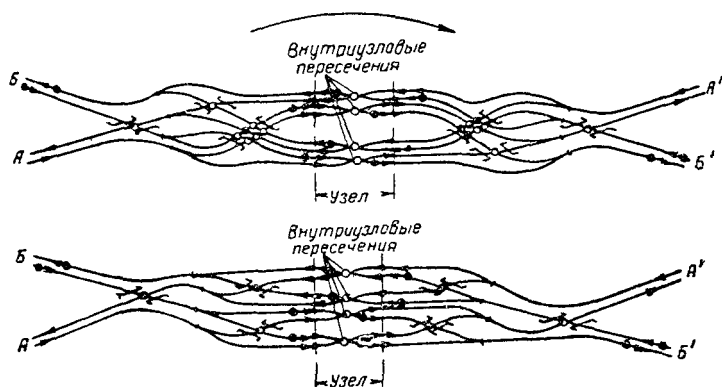


Рис. 40

вязкой только по направлениям и составляет $2n(n-1)$, где n — число линий, пересекающихся в узле.

Объемлющее расплетение подходов по роду движения обеспечивает полную развязку в разных уровнях всех маршрутов сквоз-

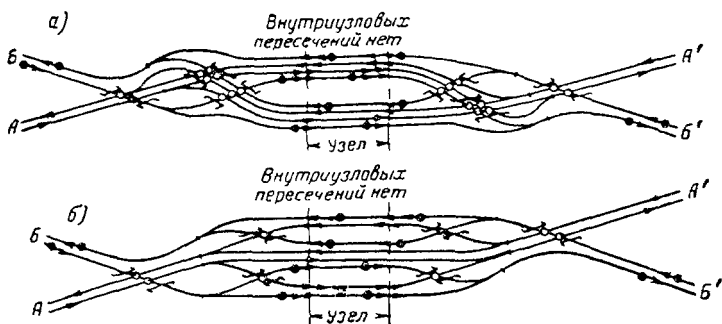


Рис 41

ного пропуска пассажирских и грузовых поездов по линиям, взаимно пересекающимся в узле. Такая развязка подходов в обоих концах узла приведена на рис 41, а для схемы с боковым расположением пассажирских главных путей и на рис. 41, б для схемы с объемлющим их расположением. И в том и в другом случае внутриузловых пересечений нет

Ниже рассмотрены некоторые частные случаи решения развязок в узлах по роду движения.

Рассматривая правую часть уравнения (35) числа точек пересечения в развязке с последовательной схемой расплетения путей или уравнения (37) — с объемлющей схемой расплетения, нетрудно заметить, что полная развязка по роду движения при увеличении числа линий, сходящихся в узле, дает очень быстрый рост числа точек пересечения, что в свою очередь вызывает сооружение весьма сложных путепроводов.

Это обстоятельство заставляет искать различные способы решения схем развязок, комбинируя последовательную схему расплетения путей с объемлющей или отступая от полной развязки, особенно в тех случаях, когда приходится проектировать подходы к узлу в трудных топографических условиях местности. Анализ схем существующих и проектируемых развязок в узлах позволяет установить три таких способа в решении самой схемы развязки.

1. Применение комбинированной схемы развязки В комбинированной развязке, когда главные пути для грузового движения расплетаются, допустим, по объемлющей, а пассажирские пути — по последовательной схеме, удастся уменьшить число точек пересечения и путепроводов (рис. 42).

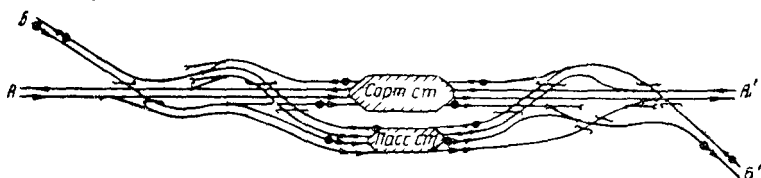


Рис 42

Обратив внимание на развязку подходов в левом конце узла (подходы от А и В), легко заметить, что главные пути для грузового движения на подходе к сортировочной станции расплетены по объемлющей схеме, а главные пути на подходе к пассажирской станции имеют схему последовательного их расплетения по направлениям.

Число точек пересечения в развязке подходов от А и В равно восьми, т. е. подчиняется в данном случае закону $S = 2,5 n^2 - 0,5 n - 1$ для развязки подходов с последовательной схемой расплетения путей, но число путепроводов вместо трех равно двум, т. е. уменьшено на единицу.

Развязка в противоположном конце узла (подходы от А' и В'), однако, имеет три путепровода, развязывающих в разных уровнях девять точек пересечения, что соответствует формулам (38) для числа путепроводов и (37) — для числа пересечений в развязке подходов с объемлющей схемой расплетения путей и подтверждает, что в данном случае схема всей развязки является комбинированной.

В узлах, где сортировочная и пассажирская станции располагаются последовательно — одна за другой и пассажирские пути

объемляют сортировочную станцию, применение комбинированной схемы развязки также дает уменьшение числа путепроводов (рис. 43).

Применяя развязки с комбинированной (несимметричной) схемой расплетения путей в одном конце узла, следует, однако, помнить, что если допустить такую же схему развязки с минимальным числом путепроводов на подходах линий с противоположной стороны узла, то внутри самого узла будут неразвязанные пересечения в одном уровне. Схемы на рис. 42 (развязка слева) и рис. 43 при двух путепроводах в каждом из концов узла тоже дадут внутриузловые пересечения для сквозного движения по пересекающимся в узле

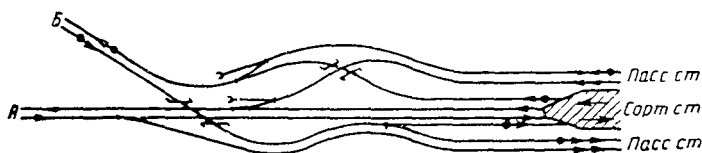


Рис 43

линиях, но только в горловинах пассажирской станции. Пересечения маршрутов пропуска грузовых поездов не будет, так как подходы главных путей для грузового движения расплетаются по объемлющей схеме.

2. Объединение (слияние) подходов по направлениям. Главные пути на подходах к узлу двух или нескольких двухпутных линий при развязке их перед горловиной узла могут быть слиты по направлениям движения. Это касается как путей отправления из узла, так и главных путей прибытия в узел. В местах слияния и разветвления путей устраивают посты. Слиянием подходов может быть достигнута значительная экономия в строительных расходах за счет уменьшения длины путей развязки и упрощения или уменьшения числа путепроводов. В особенности эта экономия значительна при пересечениях рек, где слиянием подходов, работающих в одном направлении, можно уменьшить число сооружаемых мостов или число путей, под которые эти мосты сооружаются.

В развязках по направлениям движения с последовательной схемой расплетения путей слияние последних дает экономию только на строительной длине путей развязки. Путепроводы не упрощаются (рис. 44, а). В развязке, имеющей объемлющую схему расплетения (рис. 44, б), помимо уменьшения строительной длины путей, упрощаются также и путепроводы. На путепроводе № 2 требуется только один путь вместо двух, так как разветвление пути отправления на А и Б может быть устроено за путепроводом.

Еще более существенный эффект может быть получен от слияния путей разных линий, но одного направления в развязке по роду движения. На рис. 45 показано такое упрощение развязки, приведенной выше на рис. 42, слева.

Обладая сравнительной простотой схемы развязок, в которых допущено слияние подходов, имеют недостаток, то, что они, во-первых, ограничивают пропускную способность примыкающих

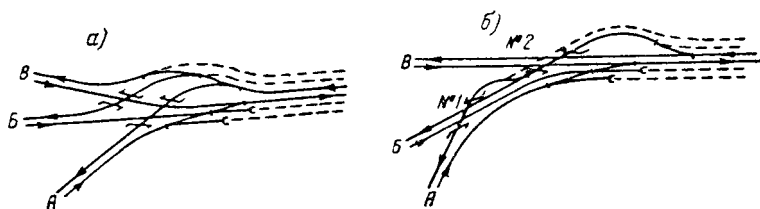


Рис 44

к узлу железнодорожных линий и, во-вторых, пропуск поездов по одной линии в этой развязке зависит от пропуска поездов по другим линиям. При одновременном подходе двух поездов с разных

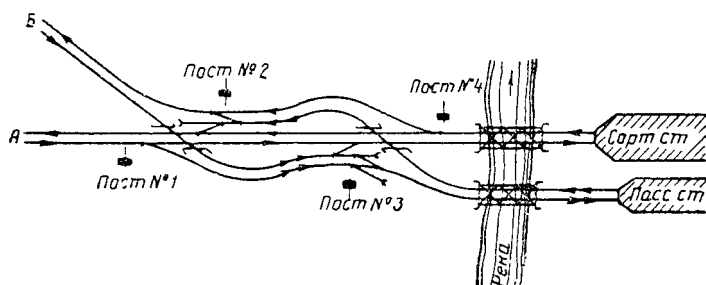


Рис 45

линий один из них должен задерживаться на посту слияния, что в свою очередь усложняет проектирование путей развязки в про-

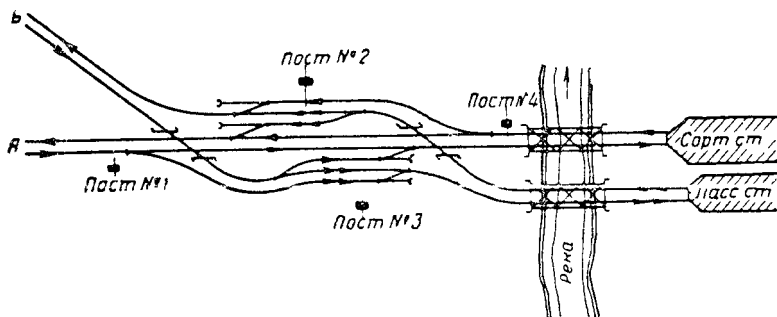


Рис. 46

филе и плане (обеспечение уклонов, гарантирующих трогание с места поезда, остановившегося перед закрытым сигналом, и путей достаточной длины для его размещения).

На рис. 46 показана принципиальная схема развязки, примененной в проекте развития одного из узлов со значительным пассажирским движением на линии *Б*. Отличие ее от схемы на рис. 45 заключается только в том, что на постах № 2 и № 3 слияния и разветвления подходов уложено дополнительно по одному шлюзовому пути.

Укладка шлюзовых путей обеспечивает беспрепятственный пропуск пассажирских поездов на линию *Б* в случае, если предшествующий поезд, отправленный с пассажирской станции на линию *А*, остановился на посту № 2 в ожидании прохода грузового поезда этого же назначения, а также обеспечивает пропуск пассажирского поезда с линии *Б* на пассажирскую станцию, если предшествующий грузовой поезд остановился на посту № 3 в ожидании прохода другого грузового поезда, прибывающего в это время из *А*.

3. Применение развязки с однопутными пассажирскими подходами. В тех случаях, когда в узле, образованном на пересечении двухпутных линий, размеры пассажирского движения значительны только на одной линии, а по другим линиям сравнительно невелики представляется целесообразным в развязке по роду движения дать с этих мало загруженных линий однопутные подходы к пассажирской станции. Развязка при этом значительно упрощается. Примеры таких развязок приведены на рис. 47.

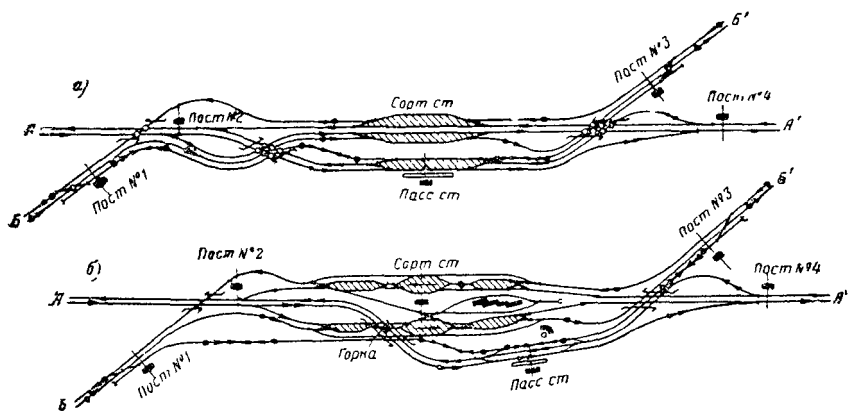


Рис 47

Оригинально с помощью путепровода под горкой решена развязка пассажирских путей магистрали *АА'* в узле с горочной сортировочной станцией (см. рис 47, б). Тот же путепровод, при условии увеличения его отверстия, может быть использован для пропуска ходового локомотивного пути при объединенном тяговом хозяйстве для пассажирских и грузовых локомотивов.

Экономичность развязки по рис. 47 в связи с минимумом числа путепроводов и простотой схемы позволяет рекомендовать ее для узлов с пассажирскими станциями, образованных на слиянии или пересечении двух двухпутных линий. При трех и более линиях,

примыкающих к узлу с каждой стороны, такая схема развязки представляется уже нецелесообразной потому, что в этих случаях она даст расплетение пассажирских путей по линиям и сосредоточение большого числа точек пересечения, развязываемых при помощи путепровода в правой (см. рис. 47) горловине узла.

РАЗВЯЗКИ В УЗЛАХ ТРЕУГОЛЬНОГО И ТРЕУГОЛЬНО-КОЛЬЦЕВОГО ТИПА

В зависимости от месторасположения станций профессор С. В. Земблинов [1] делит этот тип узлов на две группы. Первая группа — железнодорожные узлы с расположением станций при вершинах треугольника, образованного сходящимися линиями (рис. 48, а), т. е. собственно треугольные узлы, и вторая группа —

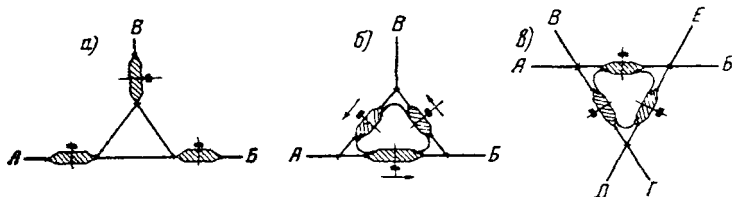


Рис. 48

треугольно-кольцевые узлы с расположением станций на сторонах треугольника и со взаимным соединением станций между собой ветвями, образующими кольцо (рис. 48, б и в).

Схемы первой группы применяют при необходимости обеспечить значительную гибкость в пропуске прямых и угловых потоков между линиями А, Б, В, что характерно для узлов, работающих на три направления, и в особенности для узлов, образованных на примыканиях железнодорожных линий к окружным дорогам, если радиальные линии не вводятся непосредственно внутрь кольца. Одну из трех показанных на схеме (см. рис. 48, а) станций иногда заменяют постом без путевого развития.

Схемы второй группы (см. рис. 48, б и в) также применяют для получения максимума маневренности с прямыми и угловыми потоками во всех направлениях. Схемы узлов этой группы обычно имеют специализацию станций для работы в одном направлении движения — против часовой стрелки, при этом получаются весьма невыгодные с эксплуатационной и экономической точек зрения пробеги поездов и локомотивов, но зато достигается значительное расщепление транспортных устройств в узле.

Треугольно-кольцевые схемы узлов могут иметь число подходов линий большее, чем три. Схема на рис. 48, в имеет шесть подходов, образованных пересечением в узле трех линий АБ, ВГ и ДЕ. В сущности, треугольно-кольцевые узлы относятся уже к узлам

комбинированного типа и их развязки по своим схемам значительно отличаются от развязок чисто треугольных узлов.

Простейшая развязка узла треугольного типа, показанная на рис. 49, а, возникает в результате ввода однопутного подхода от станции *Н* между главными путями линии *АВ* и сооружения дополнительной ветви (показана пунктиром), предназначенной для пропуска углового потока из *А* на *В* и обратно, без захода на станцию *М* и перемены головы поезда. В схеме развязки только один

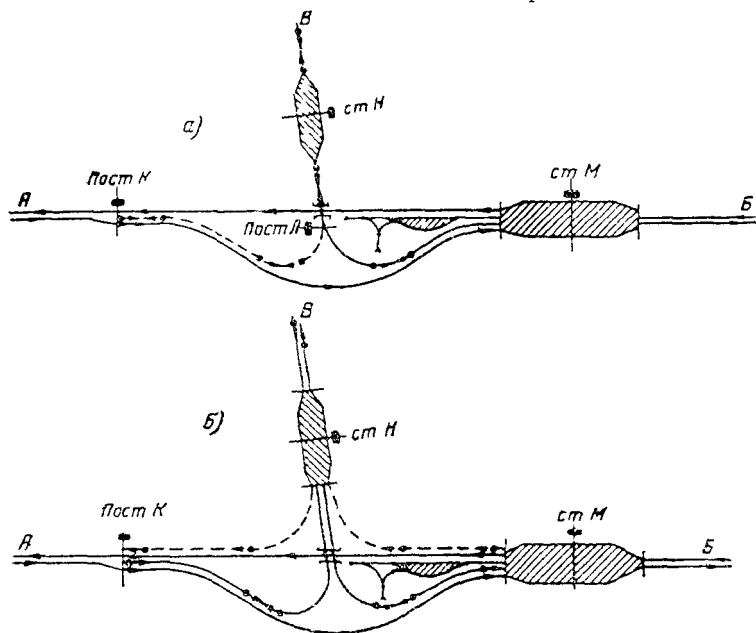


Рис. 49

путепровод (под один путь над одним). Пропускная способность такой развязки невелика и обычно соответствует пропускной способности однопутной линии.

Сооружение вторых путей на линии *В* при схеме развязки по рис. 49, а делает необходимым ликвидировать слияние однопутных ветвей на посту *Л* и довести их отдельными до горловины станции *Н*, как показано на рис. 49, б. Путепровод при этом должен быть уширен под два пути, по каждому из которых сохраняется движение в обе стороны (как на однопутной линии).

Схему развязки по рис. 49, б можно применять в узлах треугольного типа, где угловые потоки не превышают 24—30 пар поездов по каждому из направлений *АВ* и *ВБ*. При больших размерах угловых потоков пропуск их начинает лимитироваться однопутными ветвями развязки и возникает необходимость сооружения ветвей, показанных на схеме пунктиром, т. е. к переходу на двухпутное движение в пределах самой развязки.

В тех случаях, когда все три линии, сходящиеся в узле, двухпутные и пропуск угловых потоков в направлении AB или BB производится полными парностями, без расщепления их в пунктах K и H , можно в одинаковой степени применять схемы развязок, показанные на рис. 49, б (с пунктирными ветвями) и на рис. 50, а и 51, а.

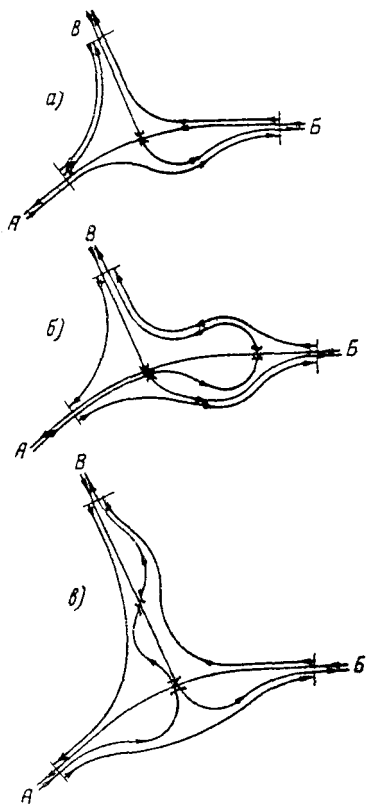


Рис 50

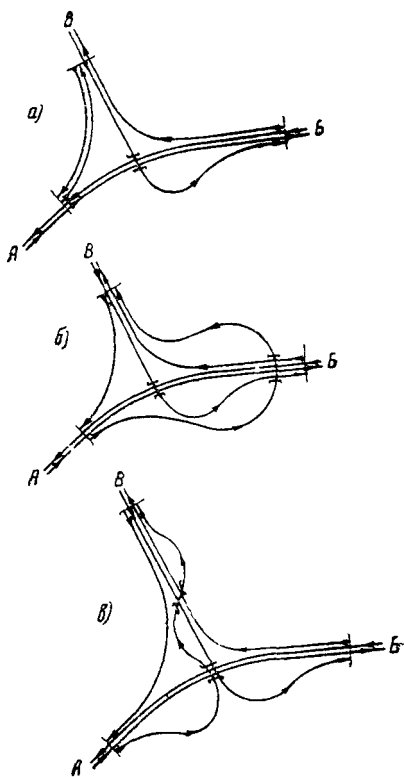


Рис. 51

Последние две схемы представляют собой развязку по направлениям подходов двух железнодорожных двухпутных линий к станции B , дополненную двухпутной ветвью, необходимой для пропуска углового поездопотока в направлении AB и обратно. Различие заключается в том, что в развязке на рис. 50, а подходы линий от A и B расплетены по последовательной, а на рис. 51, а — по объемлющей схеме.

Двухпутная ветвь для углового потока между A и B не развязана по направлениям движения и при пропуске его, на постах при замыкания ветви будет иметь место пересечение поездами углового потока маршрутов движения поездов от A на B и от B на B . Следо-

вательно, развязки по верхним двум схемам (на рис. 50 и 51) являются неполными.

Для того чтобы достичь полной развязки, необходимо главный путь ветви, по которому пропускаются поезда из *A* на *B*, развязать в разных уровнях с враждебными ему по направлениям движения поездов путями из *B* на *A* и из *B* на *B*. Это сделано в последующих схемах на рис. 50 с последовательным расплетением путей, а на рис. 51 — с объемлющим.

Построение схем на рис. 50, *б* и *в* и 51, *б* и *в* различается между собой лишь размещением путепроводов. На схемах рис. 50, *б* и 51, *б* путепроводы расположены вдоль сквозной магистрали *AB* и занимают площадь значительной ширины, определяющейся петлевым ходом от *A* на *B*. На схемах рис. 50, *в* и 51, *в* развязка вытянута вдоль подхода линии от *B*. Такая схема обладает почти вдвое меньшей шириной, легче вписывается в рельеф местности и имеет меньшую длину трассы главного пути от *A* на *B*, но зато развязка вытянута вдоль подхода линии от *B* на длину вдвое большую, чем по схемам на рис. 50, *б* и 51, *б*, что может оказаться неудобным для размещения станции на этом подходе.

Выбор той или иной схемы развязки будет диктоваться преимущественно условиями рельефа местности, положением трассы подходов и условиями размещения станций в узле, ибо принципиального различия между собой эти схемы не имеют.

Существенным для выбора принципиальной схемы развязки треугольного типа, очевидно, явится способ (схема) расплетения путей на подходах железнодорожных линий, от которого зависит число точек пересечения и путепроводов, развязывающих последние, а значит, и полнота развязки маршрутов движения поездов, проходящих через узел. Подсчитав число точек пересечения и число путепроводов в схемах полной развязки на рис. 50 (с последовательным расплетением путей) и на рис. 51 (с объемлющим расплетением), нетрудно убедиться, что и в развязке треугольных узлов зависимость числа точек пересечения и путепроводов от схемы расплетения путей и числа сходящихся в узле линий остается прежней и выражается формулами (33), (34) и (32).

Отсюда следует, что если узел образован только тремя сходящимися линиями, точнее, — одной сквозной *AB* и одной примыкающей *B*, то схема расплетения путей в развязке безразлична, так как поездопотоки с примыкающей линии вливаются в сквозную, не давая пересечений. Если же к узлу примыкает еще хотя бы одна линия (линия *Г* на рис. 52), то в эксплуатационном отношении становится более целесообразной объемлющая схема расплетения путей в развязке (рис. 52, *а*), которая позволит осуществлять прямую корреспонденцию между примыкающими линиями без внутриузловых пересечений в одном уровне, тогда как при последовательном расплетении (рис. 52, *б*) такие пересечения неизбежны.

Рассмотрим схемы развязок в узлах треугольно-кольцевого типа.

На рис. 53, а показана схема узла треугольно-кольцевого типа, расположенного на пересечении трех линий¹. Станция К, расположенная на магистрали АА', обслуживает движение по ней в обоих направлениях. Две другие станции М и Н специализированы для работы каждая только в одном направлении движения, обслуживая остальные две линии ВВ' и ВВ'. Развязка пересекающихся в узле линий осуществлена четырьмя путепроводами. При этом, однако, поездопоток направления В'В (на схеме показан пунктиром) пересекается поездопотоками обоих направлений линии ВВ' (показаны пунктиром с точкой) в горловинах станций К и М. Сечение потоков вызывается тем, что главный путь от В', расположенный на входе в узел и на

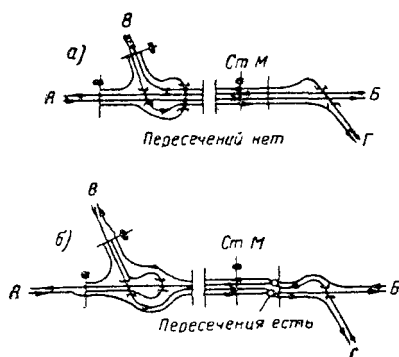


Рис 52

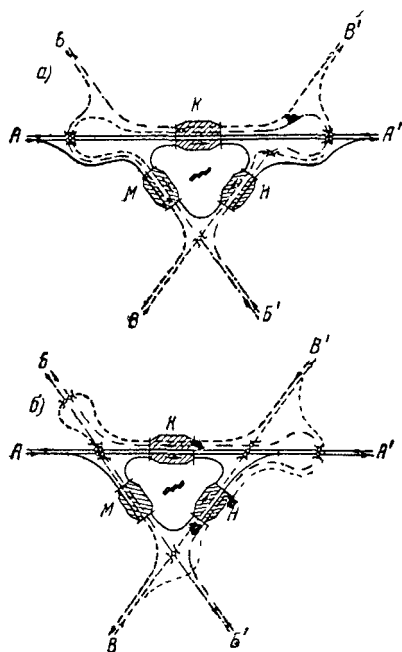


Рис 53

выходе из него с внешней стороны по отношению к путям других линий, меняет свое расположение в выходной горловине станции К и оказывается внутри, между главными путями линии ВВ'.

Для того, чтобы избежать этих пересечений достаточно главный путь, по которому следуют поезда в направлении В'В между станциями К и М, вынести во внешнюю сторону по отношению к главным путям линии ВВ', перебросив его через них с помощью еще одного путепровода (рис. 53, б). Теперь пересечения в одном уровне ликвидированы, но путепроводов стало пять вместо четырех.

Можно развязать все пересечения в данном узле и при помощи лишь четырех путепроводов, если применить в развязке объемлющую схему расплетения главных путей. Для этого обратимся еще раз к схеме на рис. 53, б.

¹ На рис. 53, а не показаны некоторые дополнительные ветви, имеющиеся в узле, но не влияющие на его принципиальную схему.

На рис. 53, б пути линии BB' расположены по внешней стороне контура схемы, объемля главные пути других линий только между пунктами B' , K , M и B , т. е. по двум сторонам треугольника. На третьей стороне треугольника линия BB' проходит уже по внутреннему контуру схемы, а с внешней стороны лежит главный путь направления $B'B$. Отличительным признаком объемлющей схемы распления является внешнее положение путей каждой последующей линии, входящей в узел, по отношению к предыдущей. Для того чтобы получить такую схему, надо пропустить линию BB' по внешнему контуру, как показано тонким пунктиром на рис. 53, б справа.

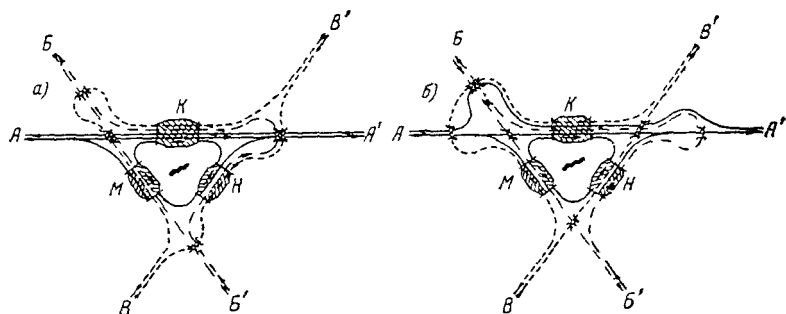


Рис. 54

Осуществив это, легко убедиться, что полная развязка по объемлющей схеме распления подходов трех пересекающихся линий действительно может дать не более четырех путепроводов и в узле треугольно-кольцевого типа (рис. 54, а).

Полная развязка подходов по направлениям с последовательной схемой распления путей (рис. 54, б) даст общее число путепроводов в узле $M_0 = 3(n - 1) = 6$.

Следовательно, в узлах треугольных и треугольно-кольцевого типа действуют те же закономерности между числом точек пересечения, количеством путепроводов и числом линий, пересекающихся в узле, которые были установлены ранее в узлах с одной станцией и в узлах, вытянутых в длину. Это обстоятельство значительно расширяет сферу применения теории пересечений и развязки подходов к выбору рациональных схем развязок в узлах различного типа.

РАЗВЯЗКИ КРЕСТООБРАЗНЫХ УЗЛОВ

Из схемы простейшего крестообразного узла (рис. 55) видно, что поезда любого углового потока пересекают маршруты следования поездов, пропускаемых по прямому направлению AB или $BГ$. Эти сечения возникают на предузловом посту и в горловине станции.

Путепроводная развязка для одной лишь угловой ветви несложна и может быть осуществлена по приведенным на рис. 56 схемам. Самую простую из них схему с одним общим для магистралей и ветви путепроводом (рис. 56, а) применяют в тех случаях, когда по условиям пропускной способности одной из линий АБ допустимо пересечение прямого и отклоняемого поездопотоков в одном уровне. В двух последующих схемах пересечения развязаны в разных уровнях.

Схему на рис. 56, б можно применять, если расстояние от имеющегося путепровода на пересечении магистралей до поста № 1 (или горловины станции) достаточно для того, чтобы ветвь могла подняться на сооружаемый для нее новый путепровод и вновь спуститься к посту № 1 в один уровень с путями магистрали АБ. В основном путепроводе, развязывающем пересечение магистралей, следует заранее предусматривать отверстие, достаточное для пропуска ветви, рядом с главными путями линии АБ. Если линия АБ проходит над линией ВГ, то потребуется уширение путепровода

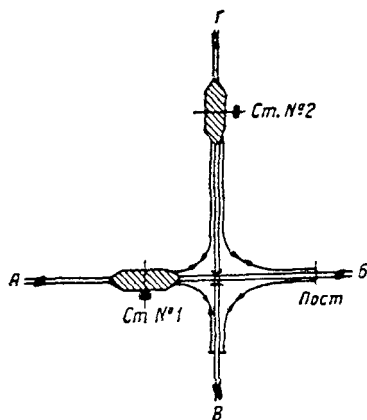


Рис. 55

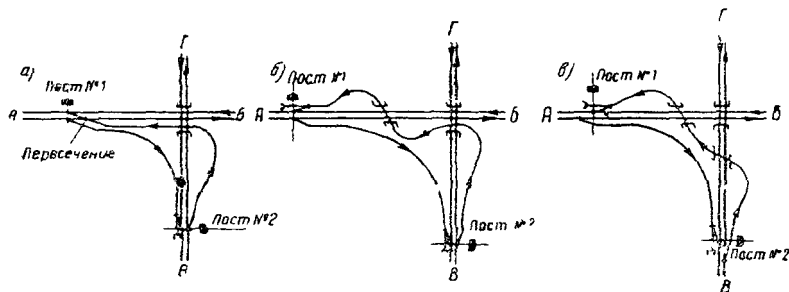


Рис. 56

(пристройка опор и укладка нового пролетного строения), что в условиях эксплуатации линии осуществить легче, чем удлинение путепровода под существующей линией.

Схема на рис. 56, в дает меньшую длину угловой ветви сравнительно с предшествующей ей схемой, но зато вызывает постройку двух самостоятельных путепроводов для развязки пересечения ветви с магистралями.

Угловые ветви по схеме на рис. 56, в характерны не только для крестообразных узлов, но и для узлов других типов, где они встречаются при необходимости обеспечить следование угловых поездов

по кратчайшему направлению без захода на основную станцию узла. Устройство такой ветви в обход узла по исследованию канд. техн. наук П. И. Пантелеева становится экономически целесообразным уже при размерах углового потока в 10—12 пар поездов в сутки.

Сочетание простого пересечения двух линий при помощи путепровода в крестообразном узле с развязкой ветвей, необходимых для передачи угловых потоков с одной линии на другую, условимся называть крестообразно-угловой развязкой.

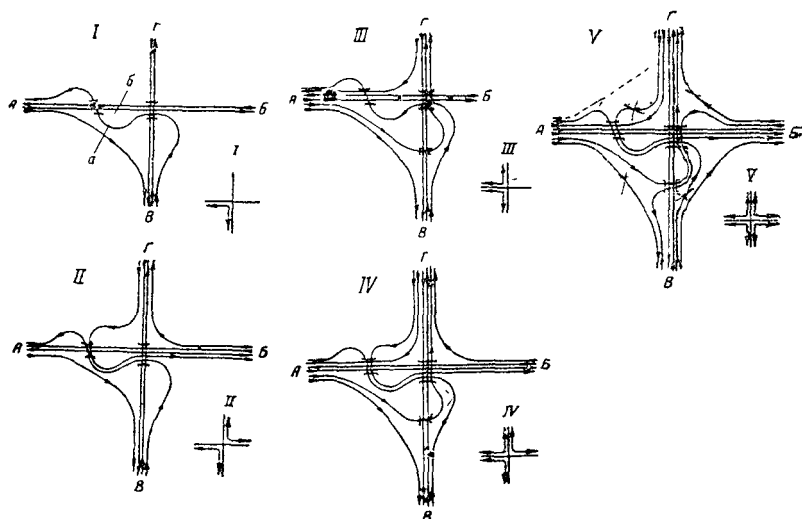


Рис. 57

Рассмотрим условия пересечения соединительных угловых ветвей на теоретической схеме развития крестообразно-угловой развязки (рис. 57) при постепенном увеличении числа угловых ветвей в соответствии с заданными комбинациями движения поездов.

Подсчитав на рис. 57 число точек пересечения и количество путепроводов в каждом этапе развития схемы, выпишем эти данные в табл. 16.

Таблица 16

№ схем по рис 57	Число двухпутных угловых ветвей	Количество	
		точек пересечения	путепроводов
I	1	8	2
II	2	12	2
III	2	14	3
IV	3	20	3
V	4	26.	3.

Из анализа схем на рис. 57 и данных табл. 16 при наличии прямых поездопотоков по пересекающимся магистралям можно сделать следующие выводы.

1. При одном угловом потоке (схема I) для полной развязки достаточно двух путепроводов. Это и естественно потому, что, пересекая ветви развязки по линии *а-б*, можно получить две отдельные схемы развязок примыкания двух двухпутных линий к станциям *А* и *В*, каждая из которых решается одним путепроводом. Число точек пересечения равно восьми.

2. При двух угловых потоках, лежащих в противоположных четвертях крестообразного пересечения (схема II), также достаточно двух путепроводов. Угловая ветвь *ГБ* пересекает обе магистрали в тех же местах, что и первая ветвь *АВ*, имея с ней общие путепроводы. Число точек пересечения увеличивается на четыре.

3. При двух угловых потоках, расположенных в соседних четвертях пересечения (схема III), развязка осуществляется всегда тремя путепроводами, так как один путепровод служит для развязывания в разных уровнях пересекающихся магистральных линий *АВ* и *ВГ*, а два других, подобно путепроводам в развязке узлов треугольного типа, расплетают подходы трех линий от *А*, *В* и *Г*. Число точек пересечения увеличивается сравнительно с первым случаем на шесть.

4. При трех угловых потоках (схема IV) достаточно трех путепроводов, так как эта схема представляет собой сочетание двух предшествующих и трасса угловой ветви *ГБ* при пересечении магистралей использует уже имеющиеся по схеме III путепроводы. Число точек пересечения увеличивается сравнительно с предшествующим случаем на шесть.

5. При полной развязке всех четырех угловых потоков (схема V) оказывается достаточным трех путепроводов, но при этом нарушается чисто объемлющая схема расплетения путей (кроме направления *АГ*) и развязка получается комбинированной. Число точек пересечения увеличивается сравнительно с предшествующим случаем на шесть и достигает двадцати шести.

Если в схеме V один из путей угловой ветви *АГ*, работающий в направлении от *Г* на *А*, вынести из-под путепровода и разместить с внешней стороны развязки, как показано на чертеже пунктиром, то число точек пересечения в самой развязке уменьшается до двадцати четырех.

На рис. 58 приведена теоретическая схема полной крестообразно-угловой развязки, предложенная проф. С. В. Земблиновым. Особенностью развязки является то, что главные пути пересекающихся магистралей *АВ* и *ВГ* раздвинуты для помещения внутрь некоторых угловых ветвей. В результате этого достигнуто дальнейшее уменьшение числа точек пересечения, а следовательно, упрощение путепроводов. Развязка имеет несимметричную схему при трех путепроводах, перекрывающих двадцать три точки пересечения.

На рис. 59 показана схема той же развязки, упрощенная слиянием ряда подходов. Все три путепровода получились значительно более простыми, вдвое сократилась общая длина путей в развязке, но при этом возникли дополнительные посты и, вследствие слияния подходов, развязка перестала быть полной, т. е. хотя она и обеспечивает все комбинации движения поездов, но ряд угловых поездопотоков в ней как бы взаимно пересекается (сливается и разветвляется вновь) между собой и с прямыми потоками на постах.

Схема расплетения путей, т. е. их взаимное расположение в крестообразно-угловой развязке, не имеет того существенного значения, какое она имела в развязках других, ранее рассмотренных узлов. Для отклоняемого от линии AB углового поездопотока на B

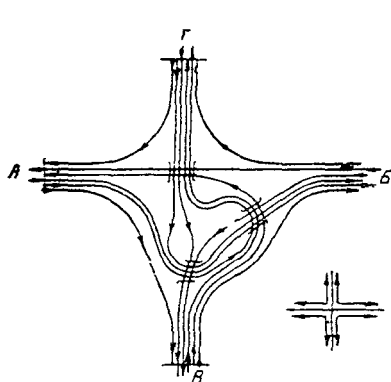


Рис. 58

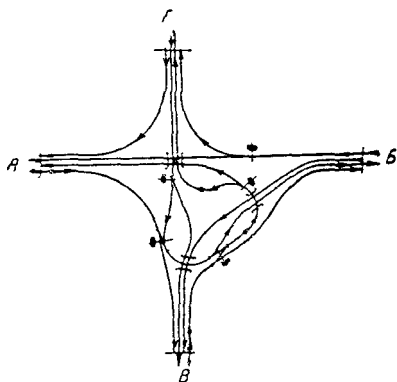


Рис. 59

или Γ (рис. 57, 58 или 59) совершенно безразлично, в какой последовательности расплетены пути угловых ветвей, поскольку этот угловой поток сливается потом на посту или на станции с прямым поездопотоком на B или Γ , а не пересекает его. Так будет во всех случаях, когда узел крестообразного типа образован при пересечении лишь двух железнодорожных линий.

Если же к узлу предусматривается примыкание других линий, образующих развязки на подходах к станциям узла, то схема расплетения путей в крестообразно-угловой развязке должна соответствовать схемам развязок примыкания. Рассмотрим это на примере (рис. 60).

Так же, как и при анализе развязки узлов треугольно-кольцевого типа, возьмем схему крестообразного узла, образованного пересечением трех двухпутных линий в чистом виде, без дополнительных ветвей для угловых потоков¹. Развязка подходов по направлениям движения в таком узле может быть решена по объёмлющей (см. рис. 60, а) или по последовательной (см. рис. 60, б) схеме.

¹ При трех линиях, пересекающихся в узле, поездопоток BB' является прямым.

Подсчитав число точек пересечения и число путепроводов в узле по обеим схемам, нетрудно убедиться, что выведенная ранее закономерность изменения числа пересекающихся линий, точек пересечения и количества путепроводов в развязке всего узла действительна также и для узлов крестообразного типа.

Отсюда следует, что при несоответствии схем расплетения путей в развязках подходов в обоих концах узла или в крестообразно-угловой развязке неизбежно возникают дополнительные путепроводы или же часть точек пересечения остается неразвязанной в одном уровне.

Поскольку всегда возможно примыкание к узлу новых железнодорожных линий, то при проектировании развязок в узлах кресто-

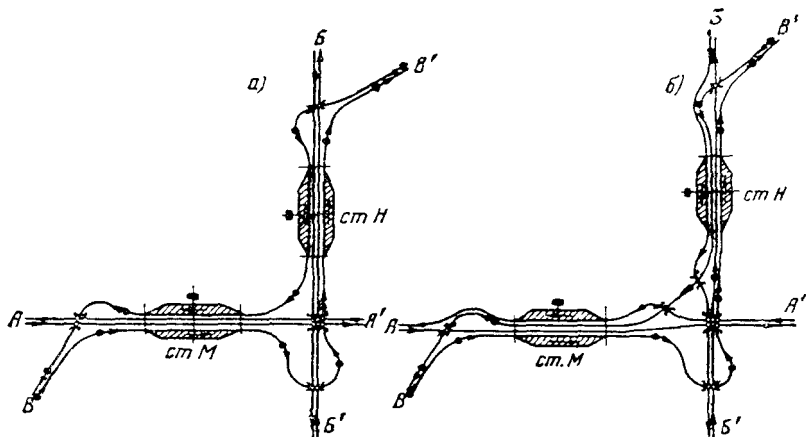


Рис. 60

образного типа следует отдавать так же, как и в других узлах, предпочтение развязке с объемлющей схемой расплетения путей. Число путепроводов при этом получается минимальным.

Потребность обеспечить в узлах крестообразного типа полную развязку поездопотоков всех направлений (в том числе и угловых) появляется сравнительно редко. Обычно бывает необходимо обеспечить полное расплетение потоков лишь в двух-трех основных комбинациях пропуска поездов (схема II или III на рис. 57), обусловленных заданием, а в остальных комбинациях возможно попутное пересечение или слияние потоков. Тогда из схемы полной развязки следует выбрать необходимые по заданным комбинациям угловые ветви и допустить объединение некоторых подходов, сообразуясь с проектными размерами движения поездов по развязываемым линиям.

На рис. 61, а приведена проектная схема развязки одного из узлов крестообразного типа, возникшего в связи с примыканием новой линии от Г. В развязке, кроме пропуска прямых поездопо-

токов, требовалось обеспечить еще пропуск угловых потоков между А и В и Г и Б. Схема получилась весьма сложной, с пятью путепроводами¹.

Теоретически развязка могла бы быть решена двумя путепроводами, так как два угловых потока расположенные в противополо-

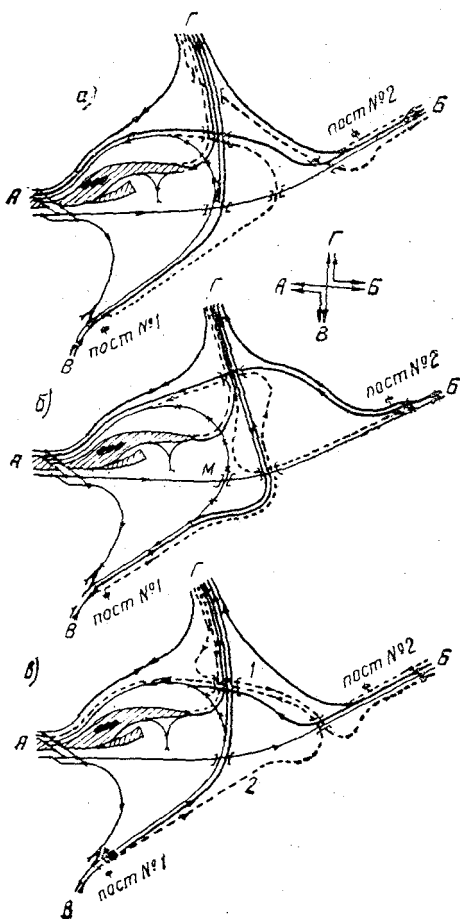


Рис. 61

ложных четвертях крестообразного пересечения, в комбинации с прямыми потоками полностью развязываются двумя путепроводами (см. рис. 61, б). Для этого, однако, требовалось бросить существующий путепровод М и отступить с трассой новой линии вправо (по чертежу), что повлекло бы за собой большие земляные работы по устройству выемки. Наиболее приемлемым оказалось промежуточное решение по схеме на рис. 61, в, при котором используется существующий путепровод, а при последующем развитии объединяются трассы ветвей 1 и 2, предназначенных для угловых поездов из В на А и из Г на Б, с пропуском их под линией АБ одним путепроводом, а затем над линией ВГ также одним, а не двумя путепроводами.

РАЗВЯЗКИ УЗЛОВ КОЛЬЦЕВЫХ И КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

Схемы развязок в узлах кольцевых с окружными железными дорогами и в узлах комбинированного типа обыч-

но весьма сложны в связи с подходом к узлу большого числа линий, наличием всевозможных внутриузловых соединений и ветвей. Характерным для кольцевых узлов является еще отделение пассажирского движения от грузового и транзитного от местного, что также усложняет схему развязки.

¹ На рис. 61 пунктиром показаны пути, отнесенные ко второй очереди развития, а крестиком — пути, подлежащие разборке.

На рис. 62 изображен узел кольцевого типа с одной сортировочной станцией, расположенной на кольце. Если внимательно рассмотреть развязки отдельных линий, входящих в узел, то оказывается, что подходы к узлу от А и Б образуют развязку, типичную для треугольного узла. Подходы же от Г и Д, расплетаясь по направлениям движения, вместе с подходом кольцевой линии образуют развязку, характерную для узла, вытянутого в длину (линейного типа).

Железнодорожный узел комбинированного типа, показанный на рис. 63, имеет преимущественно простые развязки по направлениям движения двухпутной линии; предназначенные для ответвления грузовых поездов на обход, на котором расположена сортировочная станция, и развязку однопутной линии с двухпутными в диаметральной части узла.

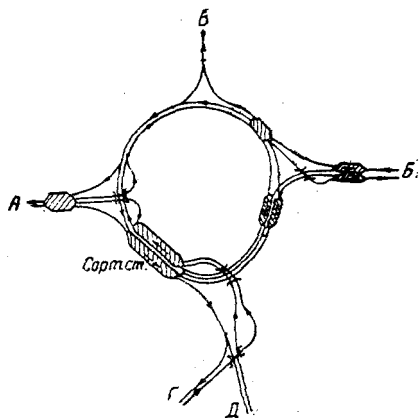


Рис. 62

Обращает на себя внимание то, что однопутная линия от В (см. рис. 63) на подходе к станциям узла вводится с помощью путепроводов внутрь подходов двухпутных линий для того, чтобы избежать излишних пересечений в горловинах этих станций.

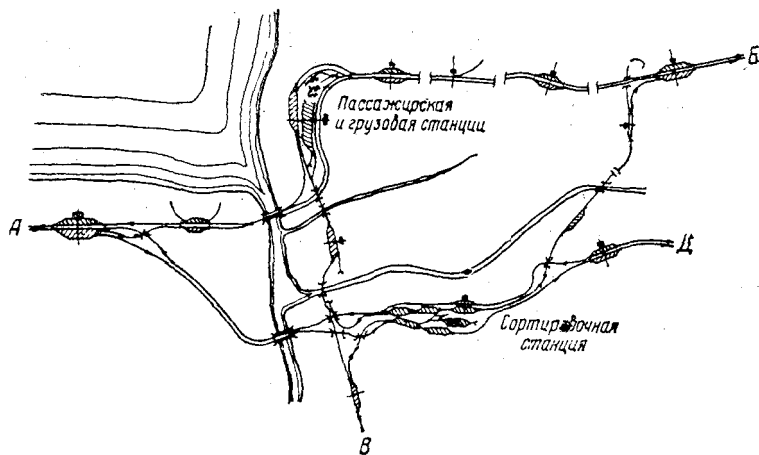


Рис. 63

Развязки примыкания и ответвления обхода построены по схемам с объемлющим (справа на рис. 63) и последовательным (слева на рис. 63) расплетением путей, что обусловлено местными усло-

виями трассирования подходов. Взаимное несоответствие схем этих развязок, как уже было указано выше, в данном случае не вызывает дополнительных пересечений.

Изложенное позволяет сделать заключение, что развязки в узлах кольцевых с окружными железными дорогами и в узлах комбинированного типа представляют собой различные сочетания из схем уже рассмотренных ранее видов развязок.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Основные положения (закономерности) теории пересечений и развязки подходов могут быть сформулированы следующим образом:

1. Если железнодорожный узел образован на пересечении двух или нескольких двухпутных линий и каждая из них пересекается со всеми последующими, то независимо от того, сохраняют главные пути свое положение по линиям или расплетаются по направлениям движения, общее число S_0 точек пересечения маршрутов движения прямых транзитных поездов в узле любого типа (см. рис. 32, 54, 60), всегда равно $2n(n-1)$, где n — число линий, пересекающихся в узле.

2. Общее число путепроводов M_0 при полной развязке узла, т. е. при развязке в разных уровнях всех $2n(n-1)$ пересечений, зависит не только от числа пересекающихся в узле линий n , но и от схемы расплетения (расположения) путей в развязке. При развязке подходов по линиям (см. рис. 27, а) общее число путепроводов в узле $M_0 = n - 1$.

Если подходы к узлу развязываются по направлениям движения, то.

а) при объемлющей схеме расплетения путей в развязке (см. рис. 27, б) общее число путепроводов в узле $M_0 = 2(n-1)$;

б) при последовательной схеме расплетения путей (см. рис. 27, в) общее число путепроводов в узле $M_0 = 3(n-1)$.

3. Если рассматривается развязка группы подходов к узлу (или станции узла) только с одной его стороны, то в отличие от развязки подходов всех линий к узлу в целом имеют место следующие закономерности:

а) число точек пересечения S в развязке подходов двухпутных линий зависит от числа подходов линий n и от схемы расплетения путей, причем в развязке по линиям, когда пути нерасплетаются по направлениям (см. табл. 11), число точек пересечения $S = 2n(n-1)$; в развязке по направлениям движения с объемлющей схемой расплетения путей (см. табл. 13) $S = n(n-1)$; в развязке по направлениям движения с последовательной схемой расплетения путей (см. табл. 12) $S = \frac{n}{2}(n-1)$;

б) это число пересечений S независимо от схемы расплетения путей всегда может быть развязано $n-1$ путепроводами (см. схемы в табл. 11, 12 и 13).

Из перечисленных основных положений вытекают четыре следствия.

1. В тех узлах, где движение организовано «по линиям», все $S_0 = 2n(n-1)$ точек пересечения могут быть развязаны при помощи $n-1$ путепроводов в одном конце узла, при входе (или выходе) линий в узел (см. рис. 27, а).

2. В узлах, в которых движение организовано «по направлениям»:

а) при объемлющей схеме расплетения путей в развязке подходов половина всех точек пересечения развязывается $n-1$ путепроводами при входе линий в узел, а другая половина пересечений развязывается тоже при помощи $n-1$ путепроводов — в противоположном конце при выходе линий из узла (см. рис. 27, б);

б) при последовательной схеме расплетения путей при входе линий в узел может быть развязано $n-1$ путепроводами только $\frac{1}{4}$ всех пересечений, а при выходе линий из узла развязывается

при помощи $n-1$ путепроводов еще $\frac{1}{4}$ пересечений, т. е. в обеих развязках — половина всех точек пересечения. Это означает, что другая половина пересечений остается неразвязанной в одном уровне в горловинах станций внутри узла (см. рис. 28).

3. Если в узле, развязанном по направлениям движения с последовательной схемой расплетения путей, развязка подходов в одном конце имеет $n-1$ путепроводов и нельзя допустить внутриузовых пересечений в одном уровне, то развязка в противоположном конце, при выходе линий из узла, неизбежно должна иметь удвоенное, т. е. $2(n-1)$ число путепроводов (см. рис. 29).

4. В узлах треугольного и крестообразного типов, образованных соответственно на примыкании и пересечении двух железнодорожных двухпутных линий, развязка всех пересечений в центральной части узла может быть решена в треугольном узле двумя (см. рис. 50 и 51) и в крестообразном узле тремя путепроводами (см. рис. 57—59) независимо от схемы расплетения путей в развязке.

Изложенные основные положения теории пересечений и развязки подходов к узлам позволяют:

определять минимальное общее число путепроводов в узле и число точек пересечения маршрутов движения поездов через узел по пересекающимся в узле линиям (развязка подходов к узлу в целом),

находить минимальное число путепроводов и пересечений в развязке каждой группы подходов линий к узлу или узловой станции (развязка подходов в одном конце узла);

анализировать конкретные схемы путепроводных развязок и находить условия их применения в узлах и на подходах к узловым станциям.

Применение теории пересечений и развязки подходов к анализу схем развязок железнодорожных линий в узлах различного типа

позволяет сделать некоторые выводы, которыми можно пользоваться при выборе схемы путепроводных развязок.

Развязка по линиям целесообразна лишь в небольших узлах (преимущественно в узлах с одной станцией), образованных на пересечении однопутной линии с двухпутной (рис. 64) при незначительной взаимной корреспонденции вагонопотоков между этими

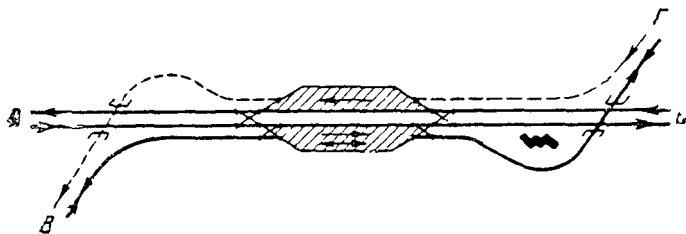


Рис. 64

линиями. В дальнейшем, при увеличении взаимной корреспонденции вагонопотоков или при сооружении на однопутной линии второго главного пути, узлы, развязанные «по линиям», следует переустраивать, проектируя на подходах к ним развязку по направлениям движения (на рис. 64 показана пунктиром).

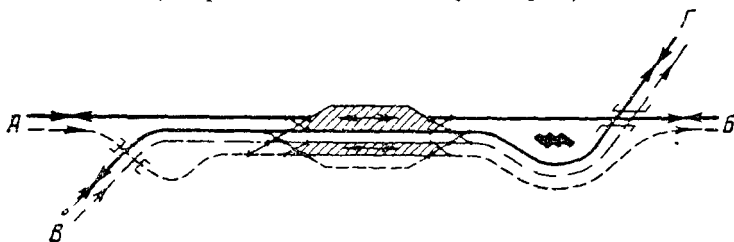


Рис 65

Развязку по направлениям движения с последовательной схемой распления путей можно рекомендовать в следующих случаях:

а) в узлах (и на подходах к станциям) тупикового типа при отсутствии перспективы превращения их в сквозные; на подходах к станциям слияния нескольких линий (см. рис. 30) или к сортировочным станциям с незначительным пропуском транзитных поездов;

б) в узлах треугольного типа, если не предполагается примыкания к ним новых двухпутных линий (см. рис. 49 и 50);

в) в узлах с одной станцией, возникающих при примыкании или пересечении однопутной линией другой однопутной линии, развиваемой в двухпутную (рис. 65)¹, а также в пунктах ответвления и примыкания обходов узлов (см. рис. 63).

¹ На рис. 65 показано, что при сооружении вторых путей на обеих линиях AB и BG (даны разным пунктиром) развязка может быть запроектирована с объемлющей схемой распления подходов.

Наиболее целесообразной в эксплуатационном отношении следует признать развязку узла по направлениям движения с объемлющей схемой расплетения ее путей (см. рис. 26, б, развязку сортировочной станции на рис 47, 54, а и 60, а), которая обладает следующими достоинствами. полностью устраняет точки пересечения в одном уровне маршрутов движения поездов через узел по взаимно пересекающимся в узле линиям, имеет минимальное для этого вида развязки число путепроводов, теоретически не ограничивает пропускной способности развязываемых линий; позволяет осуществлять расплетение путей (в случае примыкания новых линий) по направлениям без изменения или с минимальными изменениями трассы существующих подходов; и, наконец, более приспособлена для взаимной корреспонденции прямых поездопотоков между пересекающимися в узле линиями.

Естественно, что эта схема развязки может быть рекомендована во всех узлах с преимущественно транзитным движением.

При необходимости развязать в узле полностью все маршруты движения поездов по пересекающимся линиям, как правило, не следует сводить в развязку подходы более чем трех двухпутных линий, если они расплетаются по направлениям, и более чем двух линий, если они расплетаются еще и по роду движения. При большем числе линий, подходящих к узлу с одной стороны, некоторые из них (с меньшими размерами движения) целесообразно примыкать к предузловым станциям или постам (см. рис. 31), осуществляя развязку на подходах к последним.

Развязки сложных узлов (кольцевых, комбинированного типа и др.), как правило, состоят из различных сочетаний рассмотренных выше видов путепроводных развязок и имеют те же основные закономерности в построении их схемы.

ГЛАВА III

ПЛАН И ПРОФИЛЬ ПУТЕЙ В РАЗВЯЗКАХ. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПУТЕЙ

ПЛАН ПУТЕЙ

Составление проекта путепроводной развязки, помимо выбора ее принципиальной схемы, включает в себя большой комплекс работ, связанный с проектированием плана и профиля подходов.

В ближайшей перспективе скорости движения поездов значительно возрастут. Для того чтобы не допустить их снижения на подходах к узлам до величины, меньшей 100—130 км/ч, следует при проектировании путепроводных развязок применять радиусы от 1 000 до 600 м.

Нормами и техническими условиями проектирования железных дорог в трудных условиях при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применение кривых меньшего радиуса, но не менее 400 м на линиях I и II категорий и 350 м на линиях III категории. В особо трудных, а также горных условиях и при проектировании развязок в узлах по согласованию с Министерством путей сообщения может быть допущено применение кривых радиусом 250 м на линиях I и II категорий и до 200 м на линиях III категории.

Прямые и кривые участки пути в развязках должны сопрягаться переходными кривыми. Для путепроводных развязок, проходимых грузовыми поездами со средними скоростями (70—80 км/ч), нормальные длины переходных кривых указаны в табл. 17.

Минимально допускаемые длины переходных кривых могут быть определены по графику, показанному на рис. 66. При построении графика исходным явилось условие допустимости непогашенного горизонтального ускорения центробежной силы $0,7 \text{ м/сек}^2$ при входе пассажирского поезда в кривую с минимальным для заданной скорости возвышением наружного рельса

$$h_0 = 12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 114 \leq 150 \text{ мм} \quad (48)$$

и отводе возвышения с уклоном не круче 2°_{00} .

Необходимо, однако, отметить, что наличие непогашенных горизонтальных ускорений, действующих на путь в кривых, приво-

Таблица 17

Радиус кривой в м	Категория линии		
	I	II	III
	Длина переходной кривой в м		
1 000	120—100	80— 60	40—20
800	160—120	100— 80	60—40
700	180—140	120—100	60—40
600	180—140	140—100	80—40
500	160—120	160—120	80—40
400	160—120	160—120	100—60
350	160—100	160—100	120—60
300	160— 80	160— 80	120—60
250	160— 80	160— 80	120—60
200	—	—	120—60

дит к значительному износу наружной нити рельсов при следовании тяжеловесных грузовых поездов. Поэтому на главных путях, предназначенных для грузового движения (например на путях следования грузовых поездов в развязке по роду движения), минимальные длины переходных кривых рекомендуется устанавливать из условия равномерной загрузки обеих рельсовых нитей. Последняя достигается при средневзвешенной скорости движения поездов $v_{cp} = 0,28 \sqrt{Rh_0}$, откуда

$$h_0 = \frac{v_{cp}^2}{0,078R} \text{ мм.} \quad (49)$$

По возвышению наружного рельса h_0 получены минимальные значения длин переходных кривых при уклоне отвода $i_0 = 2\text{‰}$, и построен график их изменения (рис. 67) в зависимости от радиуса круговой кривой и скорости движения поездов.

Графиками на рис. 66 и 67 удобно пользоваться для нахождения длин переходных кривых при проектировании развязок в стесненных условиях, а также в тех случаях, когда скорость движения поездов по отдельным ветвям развязки ограничивается из-за отклонения пути на стрелочных переводах.

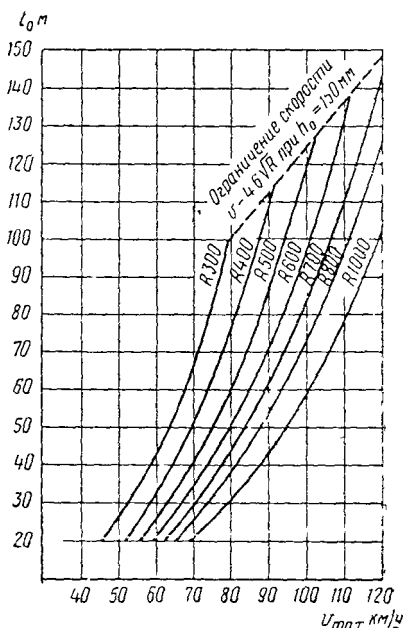


Рис. 66

Пример Если железнодорожный подход ответвляется на стрелочном переводе с крестовиной марки $1/18$ и трассируется далее по кривой радиусом 500 м, то при установленной скорости движения поезда на отклоненный путь $v_{\text{ср}} = v_{\text{max}} = 80 \text{ км/ч}$ длины переходных кривых составят минимально допустимая — 60 м (см рис 66), а рекомендуемая, полученная из расчета на равномерную загрузку обеих рельсовых нитей, — 80 м (см рис 67). Нетрудно видеть также, что удвоенная длина последней, равная 160 м (при $i_0 = 1\text{‰}$), будет соответствовать наибольшему значению длин переходных кривых, применяемому для подходов линий I и II категорий, когда они трассируются в свободных условиях (см табл 17)

Прямые вставки между концами переходных кривых на путях (ветвях) развязки должны проектироваться, как правило, не менее указанных в табл 18

Таблица 18

Категории линий	Направление кривых	
	в разные стороны	в одну сторону
	Длина прямых вставок в м	
I и II	75	100
III	50	50

В трудных условиях прямые вставки между кривыми, направленными в разные стороны, можно уменьшать до 30 м на линиях I и II категорий и до 20 м на линиях III категории, кривые, на-

правленные в одну сторону, в этих случаях следует заменять общей кривой

В особо трудных условиях допускается прямые вставки между кривыми, направленными в одну сторону, уменьшать до 50 м, а между кривыми, направленными в разные стороны, в исключительных случаях при соответствующем обосновании в проекте не устраивать совсем, сопрягая переходные кривые впритык

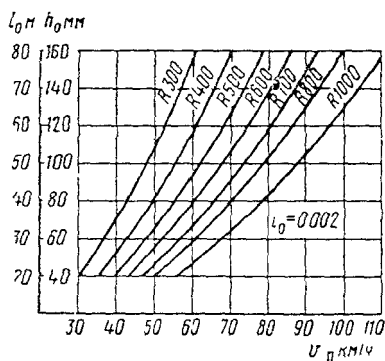


Рис 67

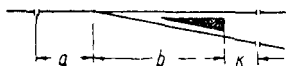
При ответвлении или примыкании путей развязки к станции перед стрелочной горловиной парка (станции) для обеспечения возможности последующего ее развития и удлинения парковых путей рекомендуется предусматривать прямые участки длиной не менее 200 м. В трудных условиях и в случае примыкания путей развязки к внутренним междупарковым горловинам (например к предгорочной горловине приемного парка на сортировочных станциях) минимальная длина прямого участка между начальной точкой переходной кривой и входной стрелкой горловины может приниматься равной 30 м. В случаях, когда проектом не предусмат-

ривается сквозного пропуска поездов через парк, к которому примыкает ветвь развязки, переходная кривая может начинаться непосредственно у входного (или выходного) стрелочного перевода горловины парка, без прямой вставки

Примыкание и ответвление путей развязки на подходах к узлам рекомендуется осуществлять стрелочными переводами с пологими переводными кривыми. Особенно это необходимо при отклонении на ветвь развязки пассажирских поездов для того, чтобы не снижать скорость движения последних или чтобы снижение их скорости было незначительным. В большинстве случаев эта рекомендация может быть легко выполнена при относительно свободном размещении ветвей развязки и достаточной их длине. В необходимых случаях могут применяться симметричные стрелочные переводы марки $1/_{11}$, по которым допускается скорость движения поездов до 70 км/ч.

Основные данные по стрелочным переводам с пологими переводными кривыми $R \geq 400$ м, на которые имеются утвержденные эпюры, приведены в табл. 19.

Таблица 19



Тип рельсов	Марка крестовины	Угол крестовины	Радиус переводной кривой в м	Расстояние а от оси передних стыков рамного рельса до центра перевода в м	Расстояние б от центра перевода до хвоста кресто- вины в м	Расстояние κ от хвоста крестовины до оси стыка руб- ки	Полная длина стрелочного пере- вода в м	Год утверждения эпюры
----------------	------------------	--------------------	---------------------------------	---	---	---	---	--------------------------

Обыкновенные переводы

P50	$1/_{18}$	3°10'12 5'	960	25 56	31,96	0	57,52	1959
P65	$1/_{22}$	2°35 50'	1 440	31,86	39,26	0	71,12	1959

Симметричные переводы

P50	$1/_{11}$	5°11'40'	500	14 10	19,10	0	33,21	1958
P65	$1/_{9}$	6°20'25'	400	15 76	15 64	0	31 42	1958

В стесненных условиях, а также на внутриузловых и внутристанционных развязках главных путей можно применять для отклонения всех поездов обыкновенные стрелочные переводы марки $1/_{11}$ и для отклонения только грузовых поездов — марки $1/_{9}$, однако при следовании на отклоненный путь скорость движения поездов при этом снижается до 40 км/ч.

Стрелочные переводы в местах примыкания и ответвления путей развязки, по которым следуют поезда с большими скоростями,

необходимо проектировать за пределами вертикальной кривой, сопрягающей смежные элементы продольного профиля. Не рекомендуется также укладывать перекрестные стрелочные переводы в углублениях (ямах) продольного профиля, проследуемых грузовыми поездами с регулировочным торможением.

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ

Продольный профиль главных путей рекомендуется проектировать элементами возможно большей длины при наименьшей алгебраической разности сопрягаемых уклонов. Длина элементов профиля, как правило, не должна быть менее половины полезной длины прямо-отправочных путей, принятой на перспективу, а алгебраическая разность сопрягаемых уклонов не должна превышать норм, указанных в табл. 20. Эти нормы установлены из условия относительно благоприятной работы приборов автосцепки в грузовом поезде при следовании его по переломам профиля на возвышениях и безвредных спусках (не требующих торможения), при расчетных (зональных) скоростях движения на линиях I категории — до 80 км/ч, II категории — 80—70 км/ч, III категории — 60—50 км/ч и весовой норме поезда, установленной по полезной длине прямо-отправочных путей и погонной нагрузке 5 т/м.

Т а б л и ц а 20

Категории линий	Полезная длина прямо-отправочных путей в м		
	1 250	1 050	850
	Наибольшая алгебраическая разность сопрягаемых уклонов в ‰		

Рекомендуемые нормы

I	4	5	6
II	5	6	8
III	—	8	10

Максимально допускаемые нормы

I	6	8	10
II	8	10	12
III	—	12	14

Примечание. При полезных длинах прямо-отправочных путей 720 м (на существующих линиях) алгебраическая разность сопрягаемых уклонов в профиле развязок может быть повышена на 2‰ по сравнению с установленными нормами при полезной длине 850 м.

Для участков профиля, проходимых с более низкими скоростями (на подходе с подъема, близкого к руководящему, или на путях, отклоненных на стрелочных переводах и т. п.), при тех же прочих расчетных условиях можно применять максимально допустимые нормы алгебраической разности сопрягаемых уклонов по табл. 20а.

Категории линий	Зона скоростей в км/ч	Полезная длина прямо отправочных путей в м			
		1 250	1 050	850	720
		Наибольшая алгебраическая разность сопрягаемых уклонов в ‰ для участков, проходимых с низкими скоростями			
I—II	50—43	10	12	14	—
III	40—32	—	14	16	18

При сопряжении уклонов с алгебраической разностью крутизны, более указанной в табл. 20 и 20а, проектируются разделительные площадки или элементы переходной крутизны длиной, не менее указанной в табл. 21.

Таблица 21

Категории линий	Полезная длина прямо отправочных путей в м		
	1 250	1 050	850
	Наименьшая длина разделительных площадок или элементов переходной крутизны в м		

Рекомендуемые нормы

I	550	450	400
II	500	400	350
III	—	350	300

Минимально допускаемые нормы

I	400	350	300
II	350	300	250
III	—	250	200

В углублениях профиля (ямах), расположенных на перегонах, при наличии хотя бы одного вредного (требующего торможения) спуска применение максимально допускаемых норм, указанных в табл. 20, 20а, и минимально допускаемых норм, указанных в табл. 21, не разрешается.

Для продольного профиля путей в развязках Нормами и техническими условиями проектирования железных дорог допускается уменьшение длины элементов до 200 м во всех случаях, кроме разделительных площадок в ямах, ограниченных вредными спусками. Эти разделительные площадки проектируются длиной не менее 300 м. Возможные комбинации минимально допустимых длин элементов и максимальных уклонов в профиле путепроводных развязок на подходе к узлу или станции приведены на рис. 68.

При ориентировочных расчетах в проектном задании безвредными можно считать спуски глубиной, не превышающей 10 м, независимо от крутизны самого спуска. В большинстве случаев на спусках глубиной до 10 м не требуется торможение, а если оно и применяется, то на незначительном протяжении.

Спуски с разделительных площадок на путепроводах в развязках, проектируемых в равнинной местности, почти всегда являются безвредными, так как разность высот между начальной и конечной точками спуска с путепровода обычно не превышает 8 м. Однако в отдельных случаях, при высоких скоростях подхода поездов, спуск может оказаться вредным и при меньшей его глубине. Поэтому при окончательной проектировке профиля безвредность спуска должна проверяться тяговыми расчетами.

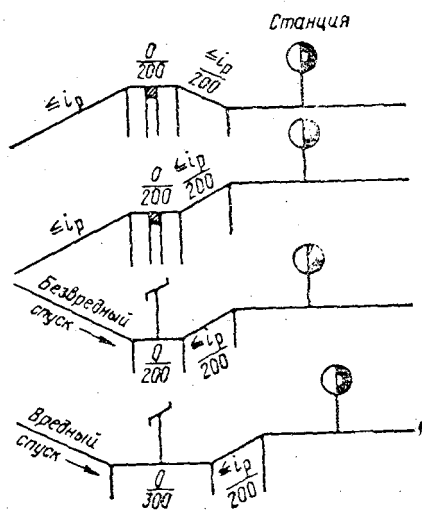


Рис. 68

Для уменьшения работы торможения и более полного использования кинетической энергии движущегося поезда можно рекомендовать пути в развязке подходов, по которым эти поезда прибывают в узел, проектировать поверху, на путепроводах, а пути следования отправляющихся поездов — внизу, под путепроводами (см. схемы в табл. 12, 13 и 14). Это особенно важно при электрической тяге, так как при противоположной проектировке подъем на путепровод, начинающийся от горловины станции, затрудняет скорейший выход поезда на автоматическую характеристику и ухудшает режим его ведения в пределах развязки.

Значительный интерес представляет вопрос о возможности применения в путепроводных развязках уклонов круче руководящего. Из зарубежной практики известно, что допущение уклонов круче руководящего при одностороннем движении поездов на спуск, не вызывая эксплуатационных осложнений, позволяло в трудных условиях рельефа местности получить существенную экономию на строительных расходах по сооружению развязки, а в некоторых случаях являлось единственно возможным решением.

В отечественной практике прежде, при ручном торможении поездов и винтовой сцепке вагонов, избегали применения таких спусков даже в трудных условиях проектирования потому, что не исключалась вероятность проезда закрытого сигнала при следовании поезда на спуск к станции или посту примыкания ветвей развязки, а также обрывы поездов. Ныне при подвижном составе, оборудованном автоматическими тормозами и автосцепкой, безопасность движения на таких спусках полностью гарантирована, тем более что длина их в путепроводных развязках обычно невелика и редко превышает удвоенную длину грузового поезда.

Поэтому развязки подходов к станциям и соединительные ветви

в узлах, предусматриваемые исключительно для движения поездов: в одном направлении, в трудных условиях допускается проектировать на спусках круче руководящего уклона, но не более 15‰ . Сопряжение такого спуска с площадкой или элементами переходной кривизны можно производить в зависимости от проектируемых скоростей движения по данным табл. 20 или 20а.

В некоторых случаях проектирования развязок встречается необходимость применения подъемов круче руководящего на отдельных элементах профиля, меньших длины поезда. Возможность

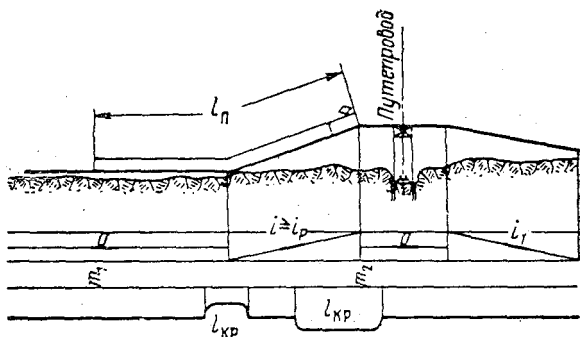


Рис. 69

такой проектировки профиля обоснована доцентом МИИТа кандидатом техн. наук И. Е. Савченко. В самом деле, если в пределах длины движущегося поезда располагаются два или более элемента профиля с различными уклонами (рис. 69), то сопротивление от уклона и кривых, испытываемое поездом, эквивалентно

$$i_{\text{ср}} = \frac{m_2 - m_1 + 0,001 \sum \frac{700}{R} l_{\text{кр}}}{l_{\text{п}}}, \quad (50)$$

где $i_{\text{ср}}$ — средний уклон в пределах длины поезда;

$m_2 - m_1$ — разность отметок головы и хвоста поезда;

$\frac{700}{R}$ — сопротивление от кривой (может быть заменено $\frac{12 \alpha}{l_{\text{кр}}}$);

$l_{\text{кр}}$ — длина кривой в м;

$l_{\text{п}}$ — длина поезда в м.

Допустимый при движении поезда с равновесной скоростью средний уклон ($i_{\text{ср}}$) не должен превышать руководящего ($i_{\text{р}}$) при наименее благоприятном положении поезда в профиле (см. рис. 69).

Следует отметить, что уклоны круче руководящего на коротких элементах профиля, меньших, чем длина поезда (при условии, что $i_{\text{ср}} \leq i_{\text{р}}$), не являются инерционными уклонами и не требуют проверки движения по ним поездов тяговыми расчетами. Допуще-

ние таких уклонов в развязках подходов может быть оправдано там, где оно дает существенную экономию в строительных расходах.

Смежные элементы продольного профиля при алгебраической разности уклонов более 3‰ сопрягаются в вертикальной плоскости кривой радиусом 10 000 м на линиях I и II категорий и 5 000 м на линиях III категории. Точки переломов продольного профиля должны проектироваться вне переходных кривых на расстоянии от их концов, а также от концов пролетных строений мостов и путепроводов без балластного слоя не менее 5 м на каждую тысячную алгебраической разности сопрягаемых уклонов на линиях I и II категорий и не менее 2,5 м на линиях III категории. При смягчении уклонов из-за совпадения их с кривой в плане точки переломов профиля можно проектировать в пределах переходных кривых.

УГОЛ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПУТЕЙ В РАЗВЯЗКАХ

Экономичность развязки железнодорожных линий в разных уровнях и ее эксплуатационные качества во многом зависят от выбора величины угла пересечения путей на путепроводах.

На участках с резким падением рельефа местности, в особенности в поймах рек, проектирование пересечений путей под малыми, менее 45° , углами приводит к весьма значительному сокращению объемов строительных работ по сооружению развязок. Известно также, что в стесненных условиях при размещении развязок в городах или в застроенной местности, наиболее экономичным, а зачастую и единственным решением является применение углов пересечения порядка $15\text{--}20^\circ$ и даже 10° . Примерами могут служить построенная в 1925 г. развязка подходов к станции Москва-Пассажирская-Казанская Московской дороги с тоннельным путепроводом, имеющим угол пересечения верхних и нижних путей в 10° , а также развязки подходов к станциям Харьков-Пассажирский Южной дороги, Москва-Пассажирская-Киевская Московской дороги и ряд других.

В условиях однообразного рельефа и на свободной местности при проектировании путепроводной развязки обычно стремятся к пересечению путей под углами, большими чем 45° . Объясняется это желанием уменьшить длину, упростить конструкцию и удешевить строительную стоимость путепровода. Кроме того, имеющиеся типовые проекты путепроводов разработаны лишь для углов пересечения верхнего и нижних путей в 45° , 60° и 90° .

Распространено мнение, что применение меньших углов удорожает развязку, так как длина путепровода, а следовательно, и его стоимость возрастают с уменьшением угла пересечения.

Пересечение путей под углом 90° или близким к нему (рис. 70, точка О) действительно требует минимальной длины пролетного строения и в общем случае дает наименьшую стоимость самого путепровода. Однако при этом удлиняется трасса и увеличиваются объ-

емы работ по сооружению подхода. Большая протяженность подхода в свою очередь вызывает увеличение эксплуатационных расходов по движению поездов. Наоборот, если пересечение путей в развязке осуществляется под малыми углами (см. рис. 70, точка O_3), то ввиду большой косины пересечения возрастают длина и стоимость путепровода, но зато уменьшаются длина¹ и стоимость сооружения подхода. Снижаются в свою очередь и эксплуатационные расходы по движению поездов.

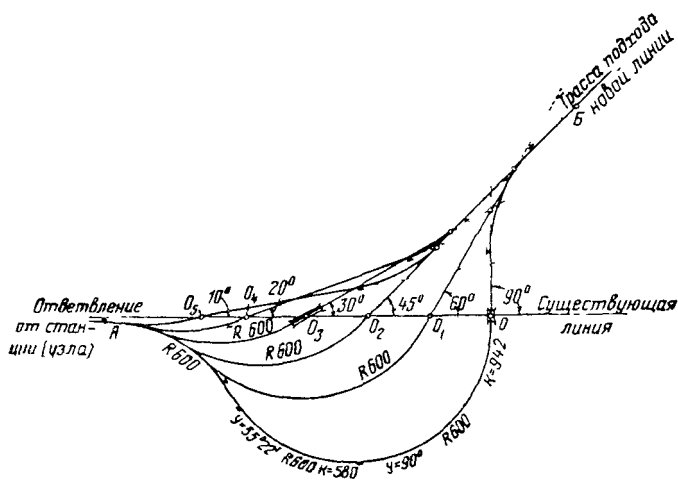


Рис. 70

Такая зависимость между углом пересечения, стоимостью путепровода, подходов к нему и размерами эксплуатационных затрат позволяет при определенных условиях найти наиболее выгодные (оптимальные) значения угла пересечения путей по минимуму строительных и эксплуатационных расходов [7].

ЗАВИСИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ОТ УГЛА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПУТЕЙ

Возьмем простейший случай путепроводной развязки двух железнодорожных путей (см. рис. 70). Общие расходы по сооружению развязки слагаются из стоимости самого путепровода и подходов к нему. Строительную стоимость железобетонных путепроводов в функции от угла пересечения путей определяем по приближенным формулам, приведенным в труде академика В. Н. Образцова [10], откорректированным с учетом современных цен.

Если принять стоимость 1 м^3 железобетона для пролетных строений путепроводов равной 154 руб., стоимость 1 м^3 бутобетонной

¹ В пределах, допустимых для создания необходимой разности в уровнях путей при их пересечении.

кладки опор выше обреза фундамента — 40 руб., а 1 м³ фундамента при закладке его в открытом котловане при шпунтовом ограждении — 35 руб., то полная стоимость путепровода $K = A + B + C$ руб. определится, как сумма стоимостей его отдельных элементов: пролетного строения

$$A = 154 \left(\frac{3,1}{\sin \alpha} + \frac{5,0}{\operatorname{tg} \alpha} \right) 1,25;$$

устоев

$$B = 40 \left(\frac{495,3}{\sin \alpha} + \frac{77,88}{\operatorname{tg} \alpha} \right);$$

фундамента

$$C = 35 \left(\frac{250,92}{\sin \alpha} + \frac{28,0}{\operatorname{tg} \alpha} + 6,08 \right)*.$$

Полученные в результате расчета данные о стоимости путепроводов в функции от угла пересечения путей приведены на рис. 71. Там же в виде отдельных точек (1—10) нанесены величины стоимости некоторых путепроводов по реальным проектам, разработанным в последние годы. То обстоятельство, что кривая изменения стоимости, построенная по приближенным формулам, откорректированным с учетом современных цен, удовлетворительно размещается в поле этих точек (см. рис. 71), подтверждает возможность использования приведенных выше формул для наших ориентировочных расчетов.

Железнодорожный подход развязываемой линии можно разделить на две части: подход к путепроводу, заключенный между точкой A ответвления его от узла и точкой O путепроводного пересечения, и отрезок пути OB за путепроводом, обращенный в сторону перегонов примыкающей линии (см. рис. 70). Если длина подхода к путепроводу в плане непосредственно зависит от угла пересечения и радиуса трассирования развязки, то вторая ее часть, лежащая за путепроводом, зависит не только от этих параметров, но определяется еще и направлением трассы примыкающей линии, положением ее на местности и т. п.

Предположим, что изменение длины трассы подхода в функции от угла пересечения происходит только в пределах между горловиной станции (узла) и путепроводом; остальная часть трассы развязываемого подхода, расположенная за путепроводом, по своей длине, стоимостным и эксплуатационным показателям остается неизменной или практически мало изменяется при изменении величины угла пересечения. Тогда эта вторая часть трассы подхода может не учитываться в дальнейших расчетах по определению строительной стоимости и эксплуатационных затрат.

* Формулы В. Н. Образцова приведены здесь для однопутного путепровода через один путь.

Железнодорожный подход к путепроводу схематически изображен на рис. 72. Угол пересечения α и радиус R определяют длину его в плане. Путепровод располагается на прямом отрезке пути n . Для того чтобы длина подхода получилась минимальной, этот прямой отрезок следует начинать непосредственно перед путепроводом.

Тогда длина подхода $L_{пл}$ может быть вычислена по формуле

$$L_{пл} = a + b + \pi R \left(\frac{2\beta + \alpha}{180} \right), \quad (51)$$

где a — прямая вставка между обратными кривыми, зависящая от R ;

b — прямой отрезок пути от тангенса кривой до оси путепроводного пересечения.

Рассчитаем длину подхода при радиусах трассирования 1 000, 600 и 400 м.

При $R = 1\,000$ м берем нормальную по Нормам и техническим условиям проектирования прямую вставку между обратными кривыми $a = 75 + 100 = 175$ м;



Рис. 71

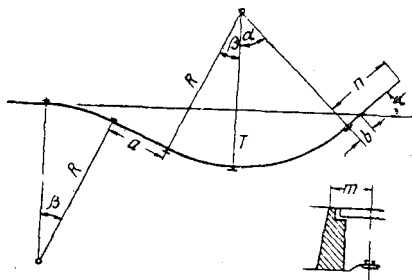


Рис. 72

при $R = 600$ м — минимальную вставку $30 + 140 = 170$ м и при $R = 400$ м тоже минимальную вставку $30 + 120 = 150$ м.

Величину прямого отрезка b принимаем

$$b = \frac{m}{\sin \alpha} + \frac{l_0}{2} \text{ м,}$$

где m — расстояние от оси путепроводного пересечения до задней стенки устоя (см. рис. 72). Принимаем $m = 6,2$ м;

$\frac{l_0}{2}$ — половина длины переходной кривой.

При заданных величинах угла α , радиуса R и длинах прямых a и b необходимо предварительно найти величину T отхода одной линии от другой (см. рис. 72):

$$T = b \sin \alpha + R(1 - \cos \alpha). \quad (52)$$

Найдя T , легко определить угол β по формуле

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + T(4R - T)}}{4R - T}, \quad (53)$$

а затем уже по формуле (51) — искомую длину подхода в плане.

Длины подходов, вычисленные для развязок с углами пересечения от 10 до 90° и при радиусах 1 000, 600 и 400 м, приведены в табл. 22. Эти длины по условиям плана являются минимальными для общего случая расположения путепровода на прямом пути.

Т а б л и ц а 22

Угол пересечения α°	Длина подхода $L_{\text{пл}}$ в м		
	$R = 1\,000 \text{ м}$	$R = 600 \text{ м}$	$R = 400 \text{ м}$
10	648	521	409
20	1 029	730	542
30	1 422	969	687
40	1 828	1 205	848
45	2 031	1 325	926
50	2 231	1 443	1 005
60	2 633	1 682	1 162
90	3 791	2 369	1 615

Кроме плана линии, на длину подхода влияет еще его профиль, зависящий от величины допустимого (руководящего) уклона развязываемой линии и величины, на которую надо подняться или опуститься для того, чтобы осуществить пересечение в разных уровнях.

Прямой зависимости между этими величинами и углом α нет. Поэтому в основу расчета объемов и стоимости работ по подходу в функции от угла α приняты минимальные длины подхода в плане (см. табл. 22), полагая величину уклона в профиле переменной и соответствующей этим минимальным длинам.

Однако уклон в профиле развязки при небольшой длине подхода может превысить допустимую величину. Тогда потребуется развитие длины подхода, что целесообразно сделать при одновременном увеличении угла пересечения. Ограничения в выборе оптимального угла α по длине подхода, возникающие при пологих руководящих уклонах линии или при большой косине пересечения, будут рассмотрены ниже.

Перейдем к определению объемов и стоимости работ по сооружению подхода. Стоимость подхода складывается из стоимостей земляного полотна, верхнего строения пути и отвода земель под сооружаемую развязку. Подсчет земляных работ по подходу нужно сделать для двух случаев, типичных при проектировании развязки в профиле.

Первый, относительно благоприятный случай, — когда проектируемой линией надо подняться над существующей (или спуститься под нее) на половину расчетной высоты путепровода (рис. 73, а);

второй, менее благоприятный, — когда для пересечения с существующим путем надо подняться (или опуститься) на полную высоту путепровода (рис. 73, б). Расчетную высоту путепровода H (разность уровней верхнего и нижнего путей) примем равной 7,50 м.

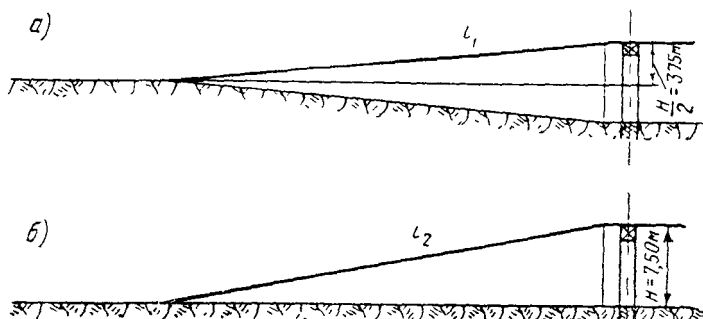


Рис. 73

Величину земляных работ получаем как среднее при ходе насыпью и выемкой, так как подход может сооружаться или на насыпи, или в выемке. Объем земляных работ по сооружению подхода, при ширине полотна поверху 6,5 м, приведен в табл. 23.

Таблица 23

Угол пересечения α°	$R = 1\,000\text{ м}$				$R = 600\text{ м}$				$R = 400\text{ м}$			
	Длина подхода $L_{\text{пл}}$ в м	Объем зем- ляных работ в м^3		Длина под- хода $L_{\text{пл}}$ в м	Объем земля- ных работ в м^3		Длина под- хода $L_{\text{пл}}$ в м	Объем земля- ных работ в м^3				
		при $\frac{H}{2}=3,75\text{ м}$	при $H=7,50\text{ м}$		при $\frac{H}{2}=3,75\text{ м}$	при $H=7,50\text{ м}$		при $\frac{H}{2}=3,75\text{ м}$	при $H=7,50\text{ м}$			
10	648	16 848	41 472	521	13 831	34 208	409	10 455	28 457			
20	1 029	26 754	65 856	730	18 836	46 371	542	13 682	35 754			
30	1 422	35 550	86 742	969	24 240	59 465	687	17 861	43 231			
40	1 820	45 700	111 508	1 205	29 855	75 323	848	21 221	53 098			
45	2 031	50 775	123 891	1 325	31 728	79 812	926	22 940	56 397			
50	2 231	55 775	136 091	1 443	35 130	87 830	1 005	24 738	61 031			
60	2 633	65 825	160 613	1 682	40 753	101 566	1 162	28 528	72 090			
90	3 791	94 775	231 251	2 369	58 030	143 778	1 615	39 617	97 406			

Для подсчета стоимости сооружения подхода приняты следующие единичные цены по групповым измерителям:

- 1) сооружение земляного полотна за 1 м^3 1 руб.
- 2) укладка пути рельсами Р50 при норме шпал
1 840 шт./км за 1 км 23 000 »
- 3) балласт с укладкой в путь:
щебень при норме 1 518 $\text{м}^3/\text{км}$ за 1 м^3 8 »
песчаная подушка при норме 796 $\text{м}^2/\text{км}$ за 1 м^3 . . . 3,8 »
- 4) отвод земель и возмещение убытков за 1 га 155 »

Площадь полосы отвода земель под сооружаемую развязку принимаем из расчета ее ширины, равной 40 м.

На полученную в результате расчета стоимость сооружения подхода произведены начисления в размере 5% на неучтенные работы. Стоимость подхода в функции от угла пересечения α при определенных значениях R и H приведена на рис. 74.

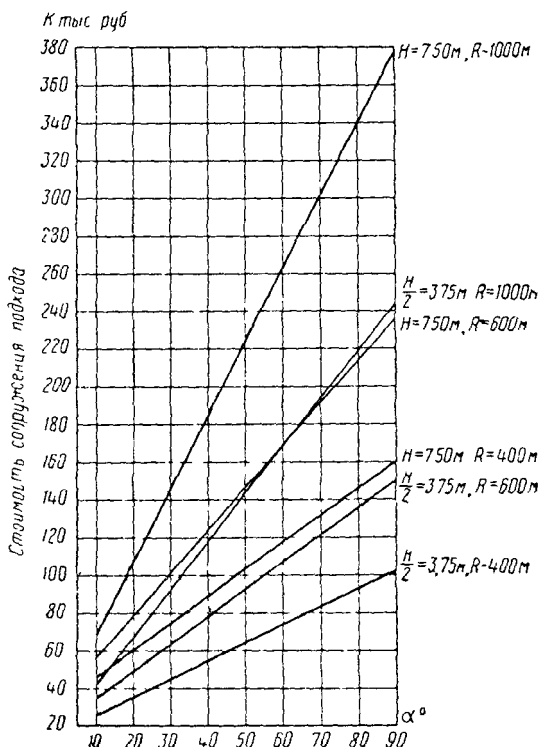


Рис. 74

Общие строительные расходы по сооружению путепроводной развязки (включая стоимость путепровода, приведенную на рис. 71) в обусловленных ранее границах от начала кривой ответвления ее трассы от станции до путепроводного пересечения включительно приведены на рис. 75.

Минимальная по строительным затратам стоимость развязки получается при углах пересечения путей от 20 до 50° в зависимости от радиуса трассы подхода и высоты насыпи (глубины выемки) проектируемого земляного полотна

На рис. 75 видно, что при радиусе 600 м значение оптимального по минимуму строительных затрат угла пересечения лежит примерно между 30 и 40°, а при радиусе 1 000 м — между 25 и 35°. Сле-

довательно, величина радиуса трассирования существенно влияет на оптимальный по минимуму строительных затрат угол пересечения путей. При равной высоте подъема (глубине спуска) линии к путепроводу, но с увеличением радиуса трассирования величина оптимального угла стремится к уменьшению.

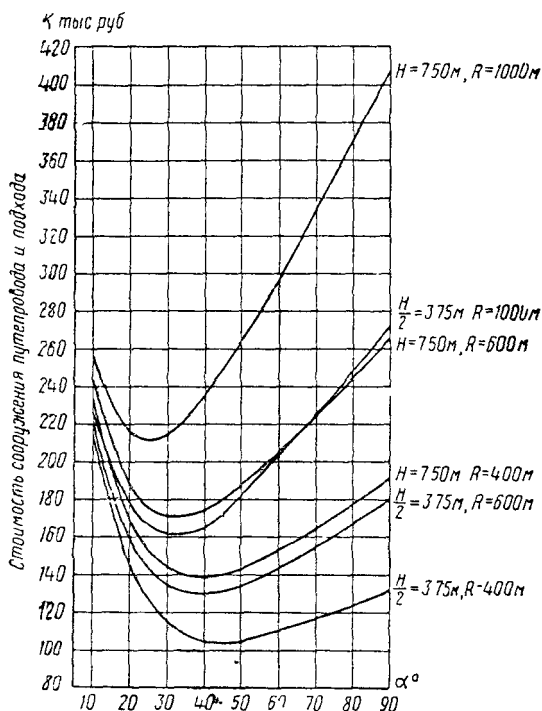


Рис 75

Рассмотрим теперь зависимость эксплуатационных затрат от угла пересечения путей в развязках и перейдем к выбору оптимального значения угла по минимуму приведенных строительно-эксплуатационных расходов.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Размеры строительных затрат являются лишь одним из факторов, определяющих экономичность сооружения; другим определяющим фактором служат расходы по его содержанию и эксплуатации.

Выше было установлено, что с уменьшением угла пересечения путей возрастает длина путепровода, но зато уменьшается протяжение трассы подхода развязываемой линии. Соответственно этому растут расходы по содержанию путепровода, но уменьшаются

расходы по содержанию земляного полотна и верхнего строения пути железнодорожного подхода. Кроме этого, уменьшение длины подхода существенным образом сказывается на экономии в эксплуатационных расходах по движению поездов. Естественно, что чем больше размеры движения, тем ощутительнее получится эта экономия. Поэтому можно ожидать, что при значительных размерах движения по подходу косые пересечения окажутся еще более выгодными, т. е. оптимальное значение угла пересечения путей в развязке с ростом размеров движения поездов будет стремиться к уменьшению.

Расчет эксплуатационных расходов по содержанию постоянных устройств развязки произведен для размеров движения по подходу в 12, 24 и 48 поездов. Расходные ставки на измеритель приведены в табл. 24.

Т а б л и ц а 24

Наименование расходов	Измеритель	Норма на измеритель в руб за год
Текущее содержание земляного полотна	км	83,7
Текущее содержание верхнего строения пути (рельсы Р50; балласт — щебень):		
при 12 поездах	»	1 030
» 24 »	»	1 420
» 48 »	»	1 630
Обслуживание и охрана пути:		
при 12 поездах	»	337,5
» 24 »	»	537,5
» 48 »	»	537,5
Текущее содержание и ремонт искусственных сооружений:		
путепровод железобетонный	100 м длины	160
то же тоннельного типа	То же	200
Амортизационные отчисления:		
земляное полотно	10 тыс. руб. сметной стоимости	100
искусственные сооружения	То же	143
Верхнее строение:		
при 12 поездах	»	400
» 24 »	»	800
» 48 »	»	1 600

Эксплуатационные расходы по движению поездов определены при тех же размерах движения для поезда весом 3 000 т брутто с тепловозом ТЭЗ. Стоимость пробега поездом одного километра в зависимости от уклона в профиле путепроводной развязки приведена в табл. 25.

Полученные в результате расчетов эксплуатационные затраты при различных размерах движения поездов суммируем с приведенными строительными расходами, принимая срок окупаемости сооружений развязки 10 лет.

Таблица 25

Уклон в ‰	Стоимость 1 поезда- км в руб.	Уклон в ‰	Стоимость 1 поезда- км в руб.
0	1,23	6	1,89
1	1,28	7	2,04
2	1,37	8	2,20
3	1,48	9	2,38
4	1,61	10	2,52
5	1,75	11	2,68

Результаты всех расчетов приведены на рис. 76 для $\frac{H}{2} = 3,75$ м и на рис. 77 для $H = 7,50$ м, наглядно показывающих изменение годовых строительно-эксплуатационных расходов по развязке в функции от величины угла пересечения путей.

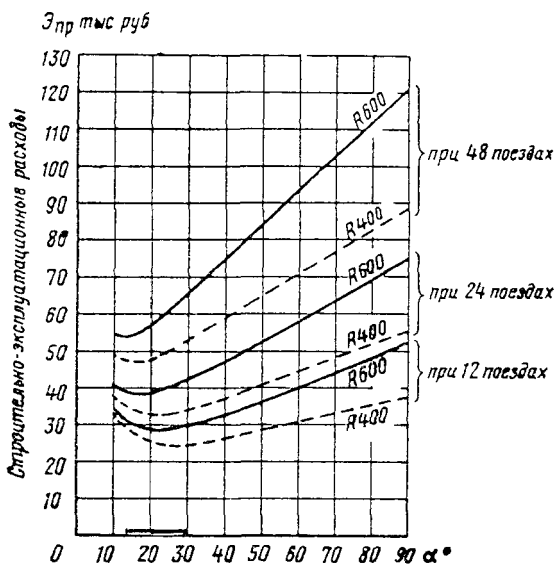


Рис. 76

Анализ полученных в результате расчета данных показывает, что эксплуатационные расходы, зависящие от размеров движения поездов, существенным образом влияют на выбор оптимального угла пересечения путей в развязке. Если наиболее выгодный по строительным затратам угол пересечения путей в развязке, трассируемой радиусом 600 м, находится в пределах $30 \div 40^\circ$ (см. рис. 74), то оптимальное по строительно-эксплуатационным расходам значение этого угла лежит уже в пределах $15 \div 30^\circ$.

Сопоставляя графики на рис. 76 и 77, можно установить, что минимум годовых строительно-эксплуатационных расходов по раз-

вязке в зависимости от высоты насыпи (глубины выемки) и радиуса проектируемого подхода при размерах движения по развязываемому подходу 12 поездов в сутки находится между величинами угла пересечения путей 20 и 35°, при размерах движения 24 поезда в сутки между 15 и 30°, и при размерах движения 48 поездов в сутки между 12 и 20°.

Отсюда следует, что при проектировании путепроводных развязок в рассмотренных выше условиях, оптимальными являются

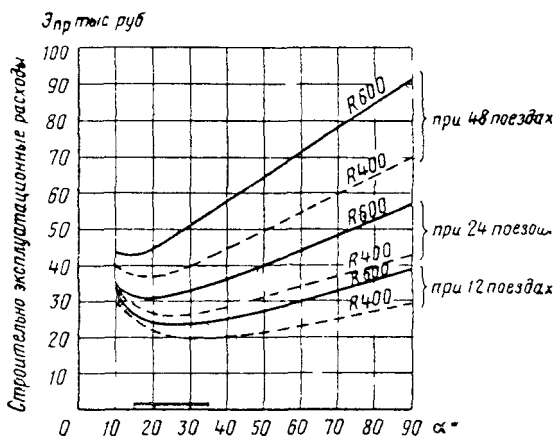


Рис 77

углы значительно меньше 45°. При этом большим размерам движения по проектируемому подходу линии соответствует и большая косина пересечения в путепроводной развязке.

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТРАССЫ ЛИНИИ НА ВЕЛИЧИНУ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА

До сих пор при определении строительных-эксплуатационных расходов по развязке мы исходили из условия, что изменение угла пересечения путей не отражается на длине той части трассы подхода, которая лежит за путепроводом и направлена в сторону перегонов примыкающей линии. Условие это, заключающееся в равенстве $BO = BO_1 = BO_2 = \dots$ и т. д. (см. рис. 70), имеет не только теоретическое значение. Практически оно соответствует тем случаям, когда точка B , от которой начинается разделение в плане или профиле трассы подхода любых двух смежных вариантов, достаточно удалена от путепроводного пересечения, а положение подхода железнодорожной линии в зоне, ближайшей к развязке, не является строго фиксированным на местности.

Но чаще всего направление и положение трассы подхода фиксируются на местности целым рядом условий, собственно не зависящих или мало зависящих от угла пересечения путей в развязке.

Например, когда устраивается развязка существующих подходов линий, то наиболее целесообразно бывает после пересечения путей как можно скорее выйти на трассу и профиль существующей линии. Границы возможного варьирования трассой подхода в этом случае очень малы. При фиксированных на местности положении и направлении трассы подхода величины BO , BO_1 , BO_2 ... и т. д. обычно не равны между собой и изменяются с изменением угла пересечения. Если часть подхода между точкой A (см. рис. 70) начала кривой ответвления от станции и путепроводом O уменьшается с уменьшением угла пересечения, то другая часть подхода между точками O и B в это время возрастает, хотя в целом вся длина подхода AB стремится к уменьшению. Естественно, что стоимость строительных работ и ежегодные эксплуатационные затраты при сравнении вариантов должны здесь учитываться на всем протяжении AB развязываемого подхода.

В зависимости от расположения трассы развязываемых линий после перехода их через путепровод условимся различать два типа развязок (рис. 78). В развязках I типа пути после их пересечения расходятся в разных направлениях, в развязках II типа пути после пересечения снова сходятся вместе и следуют на одном полотне до соседнего раздельного пункта.

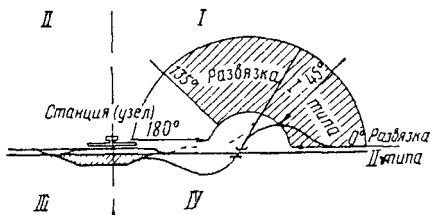


Рис 78

Ниже рассмотрены некоторые характерные примеры путепроводных развязок, в которых изменение длины трассы подхода в функции от угла пересечения происходит на всем протяжении развязки, в границах, общих для всех ее вариантов. Если задаться радиусом трассирования развязки, равным 600 м, то эти общие для сравниваемых вариантов границы составят величину от 3,3 до 3,7 км для развязок I типа и около 1,7 км — для развязки II типа, считая по наибольшей длине развязываемого подхода (при угле пересечения 90°). Исходные расчетные ставки для определения строительных и эксплуатационных затрат приняты прежние. Объемы земляных работ по сооружению подходов определены как среднее между ходом насыпью и ходом выемкой и составляют при $H = 7,50$ м около 62 тыс. m^3 на 1 км, а при $\frac{H}{2} = 3,75$ м — 26 тыс. m^3 на 1 км трассы.

Развязки I типа. Направление и взаимное расположение подходов трассы железнодорожных линий к узлу может быть весьма разнообразным. Теоретически возможен подход железнодорожных линий под любым углом к трассе какого-либо одного, принятого за основное, направления. Практика проектирования показывает, что чаще всего подходы располагаются в секторе от 45 до 135°

(см. рис. 78); несколько реже в секторе от 0 (исключительно) до 45° и почти никогда не располагаются в секторе от 135 до 180° любого из четырех квадрантов местности, прилегающей к узлу. Исходя из этого, можно ограничиться рассмотрением лишь двух примеров развязок I типа, соответствующих направлению трассы подхода железнодорожной линии в 135 и 45° , что в совокупности с рассматриваемыми далее примерами развязок II типа позволит

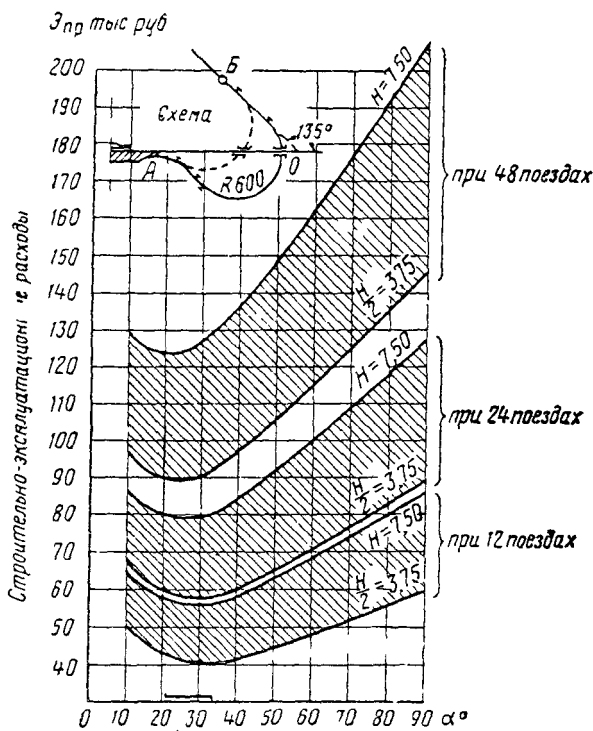


Рис 79

судить о границах изменения оптимального угла пересечения в зависимости от направления трассы развязываемой линии.

Пример 1. Трасса новой железнодорожной линии подходит к существующей под углом 135° . Расположена она по касательной к круговой кривой подхода, соответствующего варианту развязки с углом пересечения 90° (рис. 79, схема вверху). Длина трассы развязки для данного варианта AB в сопоставимых с другими вариантами границах составляет 3,66 км (при $R = 600$ м); длина минимального варианта развязки с углом пересечения 10° равна 1,94 км. Подсчитанные в этих границах строительно-эксплуатационные расходы приведены на рис. 79. Из графика на рис. 79 видно, что минимум расходов лежит в пределах $20 \div 33^\circ$ косины путепроводного

пересечения в зависимости от заданных размеров движения по подходу. При 48 поездах оптимальный угол пересечения путей составляет примерно $20 \div 24^\circ$.

Пример 2. Трасса новой железнодорожной линии подходит к существующей под углом 45° , $R = 600$ м. По своему положению на местности трасса соответствует варианту развязки, запроектированной под тем же углом пересечения, и является как бы его прямым продолжением (рис 80, схема вверху). Подсчитанные в сопоставимых для всех вариантов развязки границах строительно-

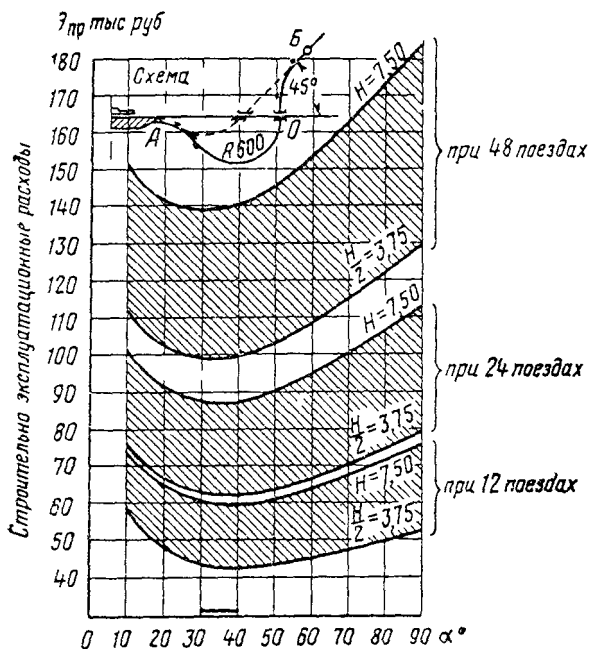


Рис 80

эксплуатационные расходы в функции от угла пересечения путей приведены на графике рис 80. Минимум строительно-эксплуатационных расходов по развязке при обусловленных выше положении и направлении трассы находится в пределах $30 \div 40^\circ$ косины путепроводного пересечения. При 48 поездах оптимальный угол пересечения составляет примерно $30 \div 33^\circ$.

Развязки II типа Развязки II типа в чистом виде встречаются сравнительно редко и служат обычно для перехода с левопутного движения на правопутное. Несколько чаще этот тип развязки в совокупности с другими ветвями проектируется при необходимости отделения одного рода движения от другого, например, пассажирского от грузового на подходах к специализированным станциям узла. Рассмотрим две схемы развязок этого типа.

Схема 1 (рис. 81, слева сверху). Развязка находится на перегоне между двумя последовательно расположенными станциями № 1 и № 2. Станция № 1 работает по левопутной схеме; на подходах к станции № 2 движение осуществляется нормально, по правому пути. Границы, в которых сопоставляются варианты развязки с различными углами α пересечения путей, в данном слу-

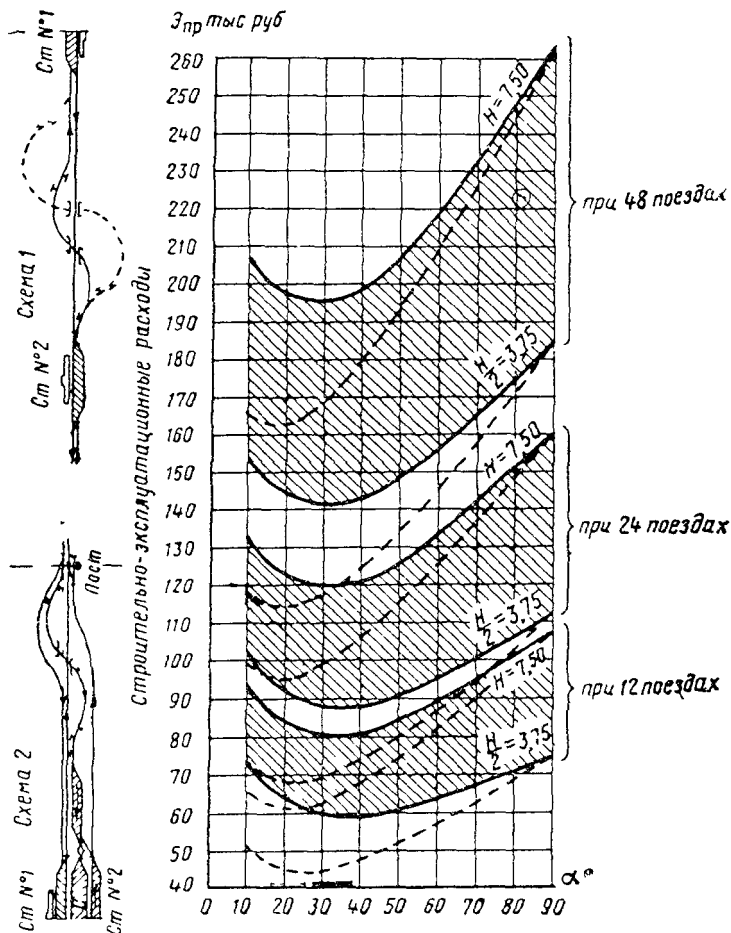


Рис 81

чае тоже неизменны. Ими служат точки ответвления развязки от станции № 1 и примыкания ее к станции № 2. Длина трассы развязки в этих границах при $R = 600$ м изменяется от 4,68 км при $\alpha = 90^\circ$ до 3,42 км при $\alpha = 10^\circ$. Кривые изменения строительно-эксплуатационных расходов по развязке в функции от угла пересечения путей представлены на рис. 81 (сплошной линией). Минимум приведенных годовых расходов соответствует углам пересечения

чения путей в пределах $30 \div 40^\circ$. При 48 поездах оптимальный угол пересечения составляет около 30° .

Схема 2 (см. рис. 81, слева внизу) Трасса развязки ответвляется от поста, положение которого при равно благоприятном для всех вариантов развязки профиле прямого главного пути зависит лишь от ее длины.

Естественно, что строительная длина трассы и границы сопоставления вариантов развязки по строительной стоимости здесь изменяются в соответствии с изменением угла пересечения путей. Однако эксплуатационные расходы, связанные с движением поездов, и в этом случае должны исчисляться в неизменных границах, аналогичных предшествующему примеру развязки по схеме 1. Кривые изменения строительно-эксплуатационных расходов для развязки по схеме 2 представлены на графике рис. 81 (пунктирной линией). Минимум расходов соответствует углам пересечения путей в пределах $17 \div 26^\circ$, оптимальный угол пересечения путей при заданных размерах движения в 48 поездов составляет $17-20^\circ$.

Приведенные выше примеры показывают, что направление трассы развязываемой железнодорожной линии и ее положение на местности при подходе к узлу оказывают существенное влияние как на длину трассы самой развязки, так и на величину оптимального по строительно-эксплуатационным расходам угла пересечения путей. При подходе трассы развязываемой линии к основному (прямому) направлению в пределах углов от 0 до 45° величина оптимального угла пересечения путей изменяется незначительно и может быть принята в 30 и 40° соответственно при движении 48 и 12 поездов в сутки. Далее, с увеличением угла подхода трассы развязываемой железнодорожной линии до 135° , происходит уменьшение оптимального угла пересечения путей соответственно до 20 и 30° при тех же размерах движения поездов.

В тех случаях, когда часть подхода развязки, расположенная за путепроводом и обращенная в сторону перегона, с уменьшением угла пересечения путей остается неизменной по своей длине, оптимальная величина угла пересечения составляет примерно 15 и 25° при размерах движения 48 и 12 поездов в сутки. Общий диапазон колебаний в величине оптимального угла пересечения достаточно широк, но верхняя его граница во всех рассмотренных случаях не выходит за пределы 45° косины путепроводного пересечения.

ВЕЛИЧИНА ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА В СЛОЖНЫХ СЛУЧАЯХ ПУТЕПРОВОДНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Кроме рассмотренного выше пересечения одного пути с другим, в развязках часто встречаются пересечения одного пути с двумя, а также двух путей с одним или двумя путями в разных уровнях. При этом проектируемые пути могут проходить как над существующими путями, так и под ними, т. е. число возможных комбинаций взаимного расположения путей в развязке сложных пересечений

удваивается. Для того чтобы определить величины оптимального угла пересечения путей во всех этих комбинациях, необходимо для каждой из них подсчитать строительно-эксплуатационные расходы по развязке в функции от величины угла α .

Подсчет произведен для развязки по схеме на рис. 80 при следующих условиях: высота подъема (спуска) проектируемых путей на подходе к путепроводу $\frac{H}{2} = 3,75$ м; радиус трассирования 600 м; размеры движения по каждому из путей—48 поездов в сутки.

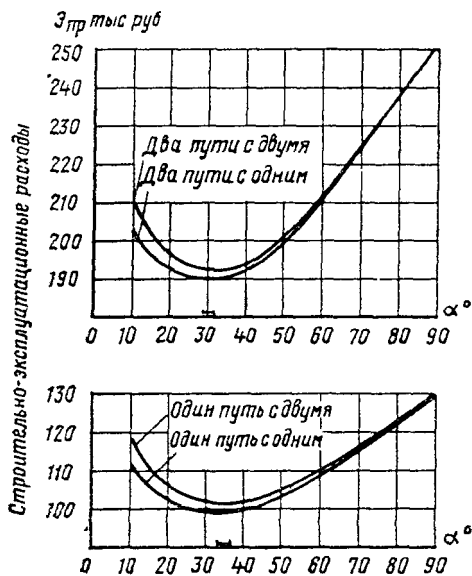


Рис 82

расходов по развязке при комбинациях пропуска проектируемых путей над или под существующими путями все расчеты оказалось возможным свести к четырем случаям пересечения:

- 1) одного проектируемого пути с одним существующим;
- 2) одного проектируемого пути с двумя существующими,
- 3) двух проектируемых путей с одним существующим;
- 4) двух проектируемых путей с двумя существующими путями.

Кривые изменения строительно-эксплуатационных расходов по развязке в этих четырех случаях пересечения показаны на рис. 82. Анализ их позволяет сделать следующие выводы.

Величины оптимального угла в развязке пересечения одного пути с одним или двумя, расположенными рядом, существующими путями можно считать одинаковыми. При двух проектируемых путях, развязываемых с одним или двумя лежащими рядом путями, оптимальный угол пересечения уменьшается на $4-6^\circ$ по сравнению с его величиной в развязке однопутного подхода.

Принято, что строительная стоимость путепровода в зависимости от числа путей возрастает: однопутного через два пути — на 25%, двухпутного через один путь — на 22% и двухпутного через два пути — на 53% по сравнению со стоимостью однопутного путепровода через один путь. Стоимость 1 км двухпутного земляного полотна по сравнению с однопутным возрастает на 40%, а верхнего строения пути — соответственно в два раза. Остальные расчетные данные приняты прежними.

Ввиду незначительной разницы в размерах строительно-эксплуатационных

Путепроводы в развязках одного или двух путей над существующим однопутным подходом целесообразно проектировать сразу для пересечения с двумя путями.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДРУГИХ ФАКТОРОВ

Представляет интерес вопрос о влиянии различных видов тяги на выбор оптимального угла пересечения в путепроводных развязках. Вопрос этот имеет существенное значение в связи с тем, что в ряде узлов, для которых проектируются развязки, возможно сочетание тепловозной, электрической или паровой тяги и пропуск по отдельным ветвям развязки поездов различными локомотивами.

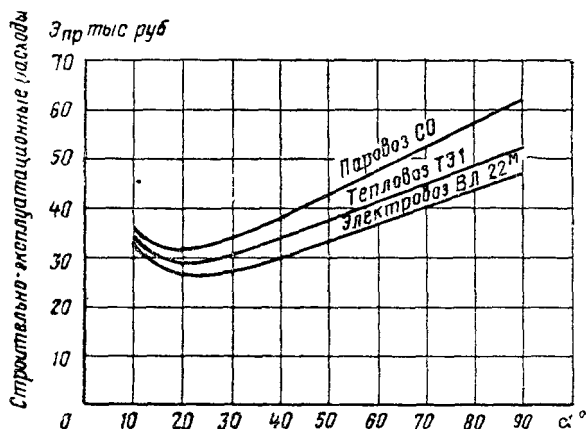


Рис. 83

Для выяснения влияния вида тяги на выбор оптимального угла пересечения путей подсчитаны строительно-эксплуатационные расходы по путепроводной развязке при $\frac{H}{2} = 3,75$ м и $R = 600$ м.

Эксплуатационные расходы, зависящие от движения, определены для следующих локомотивов: паровоза серии СО, тепловоза ТЭ1 и электровоза ВЛ22М при одинаковых весовых нормах $Q = 2\,400$ т и размерах движения $N = 24$ поездов в сутки. Кривые изменения строительных-эксплуатационных расходов при различных видах тяги показаны на рис. 83, из которого видно, что при введении электрической или тепловозной тяги строительно-эксплуатационные расходы в функции от угла пересечения путей по своей абсолютной величине уменьшаются сравнительно с паровой тягой. Однако положение минимума функции на графике остается почти неизменным. Незначительное перемещение его от 20° при паровой тяге до 24° при электрической тяге не имеет практического значения.

При повышении размеров грузооборота, осваиваемого увеличением весовых норм поездов и введением для этого более мощных локомотивов, строительно-эксплуатационные расходы растут по своей абсолютной величине, но оптимальный угол пересечения путей остается и в данном случае почти неизменным. В этом легко убедиться, сравнив кривые графика на рис. 83 с соответствующей кривой строительно-эксплуатационных расходов при $R = 600$ м

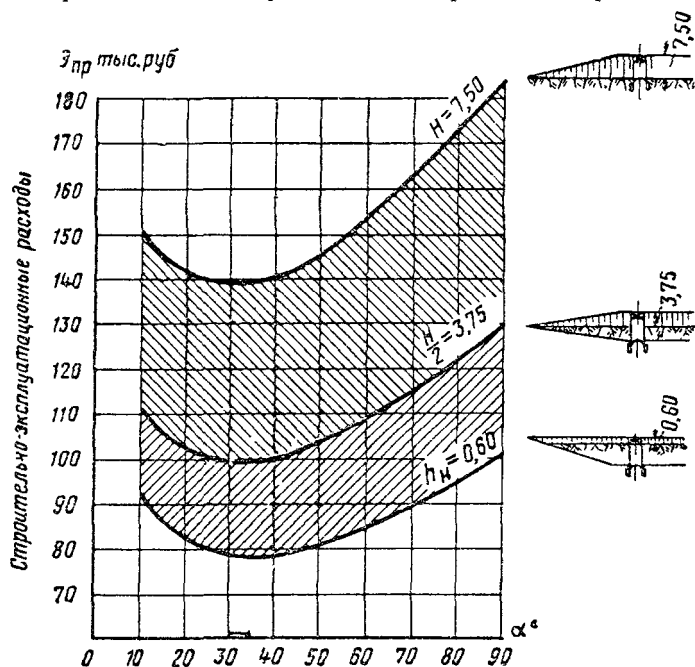


Рис. 84

и 24 поездах на рис. 76, т. е. при тех же расчетных данных, но при большей весовой норме поезда и более мощном тепловозе ТЭЗ. Все это позволяет сделать вывод, что найденные величины оптимального угла пересечения путей в развязках можно считать достаточно устойчивыми и практически мало зависящими от вида тяги поездов.

Анализируя графики строительно-эксплуатационных расходов (см. рис. 79, 80 и 81), нетрудно заметить, что при постоянных радиусе трассирования подхода и размерах движения поездов величина оптимального угла пересечения остается почти неизменной при изменениях высоты насыпи (глубины выемки) от 3,75 до 7,50 м (рис. 84)¹. Объясняется это тем, что в принятых условиях проектирования развязки на местности с однообразным рельефом пропорциональность изменения объемов (и стоимости) земляных

¹ График изменений строительно-эксплуатационных расходов на рис. 84 построен при следующих данных: угол подхода линии 45° , $R = 600$ м и $N = 48$ поездов в сутки.

работ длине подхода сохраняется почти одинаковой при различных высотах насыпи трассируемого подхода. Иными словами, величина оптимального угла пересечения в этих условиях мало зависит от объемов земляных работ по подходу.

Отсюда можно предположить, что найденные выше величины оптимальных углов пересечения не претерпят существенных изменений и в самом благоприятном по профилю случае, когда развязываемый подход проектируется на местности с минимальными земляными работами (на насыпи высотой 0,60 м) и пересекает подход другой существующей линии, пролегающей в выемке глубиной 7,5—8,0 м. Построенная для этого случая на рис. 84 нижняя кривая изменения строительно-эксплуатационных расходов по развязке подтверждает правильность такого предположения.

Необходимо подчеркнуть, что хотя объемы и стоимость земляных работ по подходу почти не влияют на величину оптимального угла пересечения, зато они существенно отражаются на общей величине строительных работ по сооружению развязки. Из графика на рис. 84 видно, что вариант путепроводной развязки с углом пересечения, например, 70° и с минимальными земляными работами (на насыпи 0,60 м) на всем протяжении проектируемого подхода оказывается выгоднее приблизительно на 10 тыс. руб. по годовым строительно-эксплуатационным расходам, чем другой вариант развязки с углом пересечения 35° в том месте, где требуется подняться проектируемой линией на насыпь высотой 3,75 м. Однако первый вариант развязки может быть запроектирован еще экономичнее, если удастся найти такую же наивыгоднейшую по профилю (см. рис. 84) точку пересечения с существующим путем ближе к станции и осуществить пересечение под углом около 35° .

ОГРАНИЧЕНИЯ В ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПО УСЛОВИЯМ ПРОФИЛЯ ПОДХОДОВ

Для осуществления пересечения в разных уровнях обычно требуется не только создать необходимую разность уровней нижнего и верхнего путей на путепроводе, но и обеспечить разделительную площадку между уклонами при подъеме на путепровод и спуске с него.

Тогда минимальная длина подхода в профиле $L_{\text{проф}}$ определяется формулой

$$L_{\text{проф}} = \frac{h}{i_{\text{max}}} + \frac{c}{2}, \quad (54)$$

где h — высота, на которую необходимо подняться (или опуститься) для обеспечения заданной разности в уровне путей (H) на путепроводе;

i_{max} — наибольший допустимый уклон в профиле подхода;

c — наименьшая, допустимая по техническим условиям длина разделительной площадки.

Минимальные длины подходов в зависимости от величины уклона в профиле определены для двух рассмотренных ранее высот насыпи (или глубин выемки) у путепровода — 3,75 и 7,50 м и приведены в табл. 26. Длина раздельной площадки принята 200 м.

Таблица 26

Уклон в профиле i в ‰	Длина подхода $L_{\text{проф}}$ в м	
	$L_{\text{проф}} = \frac{3,75}{i} + 100 \text{ м}$	$L_{\text{проф}} = \frac{7,50}{i} + 100 \text{ м}$
4	1 037	1 975
5	850	1 600
6	725	1 350
7	636	1 172
8	569	1 038
9	516	933
10	475	850
11	441	782
12	412	725

Если принять, что максимально допустимый по крутизне уклон в профиле развязки не должен превышать i_p — руководящего уклона на линии, то, сопоставляя данные таблиц 26 и 24 и

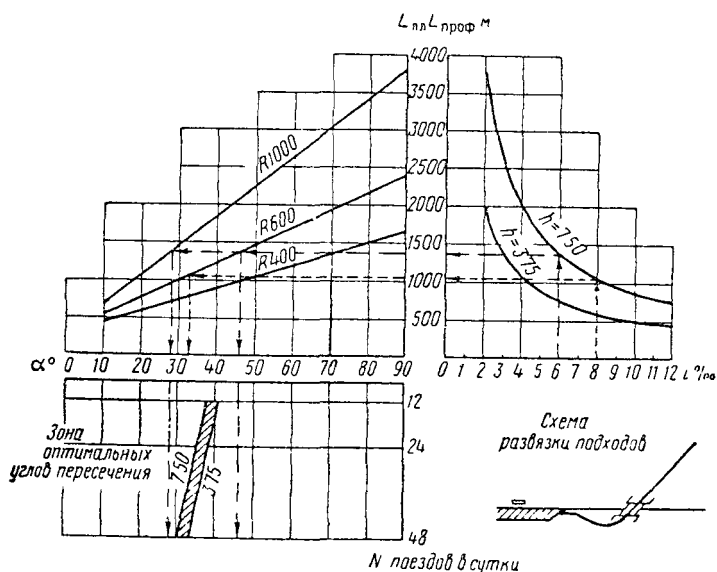


Рис. 85

учитывая, что $i_{\text{max}} \leq i_p - i_{\text{кр}}$, можно найти границы применения оптимальных углов пересечения путей в зависимости от величин i_{max} и h (рис. 85).

Из рис. 85 видно, что при радиусе трассирования $R = 600$ м и при $h \geq 3,75$ м применение оптимальных углов пересечения путей ограничивается следующими условиями:

угол в 15°	можно применять при $i_{\max} \geq 7,0^\circ_{00}$;
» » 20°	» » $i_{\max} \geq 6,0^\circ_{00}$;
» » 30°	» » $i_{\max} \geq 4,2^\circ_{00}$;
» » 40°	» » $i_{\max} \geq 3,5^\circ_{00}$

при минимальной для этих углов длине подхода.

При $h = 0,60$ м, а также для развязки II типа по схеме 1 (см. рис. 81) ограничений в профиле не встречается. При $h = 3,75$ м и более пологих уклонах для осуществления путепроводной развязки возникает необходимость в развитии линии, которое целесообразно производить с переходом к большему радиусу трассирования.

Пунктиром на рис. 85 показаны приемы решения задач по выбору угла пересечения и радиуса трассирования путей развязки в зависимости от крутизны уклона в профиле.

Пример 1. Требуется определить угол пересечения путей в развязке, соответствующий равенству $L_{\text{пл}} = L_{\text{проф}}$ и найти, будет ли его значение оптимальным, если: руководящий уклон проектируемого подхода железнодорожной линии $i_p = 9,2^\circ_{00}$; радиус трассирования $R = 600$ м и высота подъема на путепровод $h = 7,50$ м.

Решение. Максимально допустимый уклон в профиле подхода при заданном радиусе 600 м равен $i_{\max} = 9,2 - \frac{700}{600} = 8^\circ_{00}$. Проводим в правой части номограммы (см. рис. 85) луч от значения $i = 8^\circ_{00}$ вверх, до пересечения с кривой $L_{\text{проф}} = f(i)$ при $h = 7,50$ м, затем — влево, до пересечения с кривой $L_{\text{пл}} = f_1(\alpha)$, и, опуская его вниз на ось абсцисс, получим значение угла $\alpha = 33^\circ$. Из номограммы видно, что найденный угол пересечения лежит в зоне оптимальных решений для развязки подхода железнодорожной линии с проектируемыми размерами движения от 24 до 48 поездов в сутки.

Пример 2 Определить угол пересечения путей в развязке при максимально допустимом уклоне в профиле $i_{\max} = 6^\circ_{00}$ (соответствует $i_p = 7,2^\circ_{00}$ при $R = 600$ м), высоте подъема на путепровод $h = 7,50$ м и проектируемых размерах движения по подходу $N = 48$ поездов в сутки.

Решение. Задаемся радиусом трассирования $R = 600$ м и поступаем так же, как и в предыдущем примере, проведя луч (пунктиром с точкой) от значения $i = 6^\circ_{00}$ вверх и влево до пересечения с кривой $L_{\text{пл}} = f_1(\alpha)$ при $R = 600$ м. Опуская из точки пересечения перпендикуляр на ось абсцисс, получим $\alpha = 46^\circ$. При той же, необходимой для развязки в разных уровнях, длине подхода в профиле можно улучшить его трассу в плане, если применить радиус трассирования 1 000 м (см. продолжение горизонтального луча влево, до пересечения с кривой $L_{\text{пл}} = f_1(\alpha)$ при $R = 1\,000$ м). Полученное для $R = 1\,000$ м значение угла $\alpha = 28^\circ$, как видно из номограммы, приближается к оптимальному решению.

Важным вопросом экономичности проектирования развязок является вопрос о снижении строительной высоты путепроводов в косых пересечениях и о типизации проектов этих путепроводов.



Рис. 86

начиная с 12,80 до 22,90 м, разработана оригинальная конструкция железобетонного пролетного строения с ездой понизу (рис. 87).

Эта конструкция пролетного строения состоит из двух главных балок двутаврового сечения, размещенных вне габарита приближения строений, и проезжей части, расположенной в уровне нижних поясов балок. Балки двутаврового сечения — преднапряженные, проезжая часть — плита из обычного железобетона. Благодаря тому, что главные балки размещаются вне габарита приближения строений, удалось получить минимальную и постоянную строительную высоту пролетного строения 0,80 м независимо от величины самого пролета. Можно полагать, что и дальнейшее увеличение длины среднего пролета до 33—34 м, необходимое для того, чтобы обеспечить при прямых пролетных строениях

пересечение путей с помощью путепровода под углом 20° , не вызовет увеличения строительной высоты самих пролетных строений. Однако вопрос об экономичности такого путепровода следует решать в сопоставлении его с другими типами путепроводов, в частности с путепроводами, имеющими косые пролетные строения и соответствующие им конструкцию и размещение опор в плане.

При углах пересечения, меньших 20° , целесообразно переходить к тоннельным путепроводам. Тоннельные путепроводы при очень малых углах могут дать достаточно экономичное решение, особенно если число пересекающихся путей, проектируемых по верху путепровода, больше числа нижних путей. Из тоннельных путепроводов представляет интерес путепровод, построенный недавно на участке Лосиноостровская — Мытищи Московской дороги. Путепровод железобетонный, сборной конструкции, для пересечения двух путей над одним под углом $17^\circ 31'$; разность отметок между верхними и нижним путями 7,20 м.

Таким образом, и для тоннельных путепроводов возможно обеспечить минимальную разность в уровне путей, позволяющую применять их при ограниченных длинах подходов.

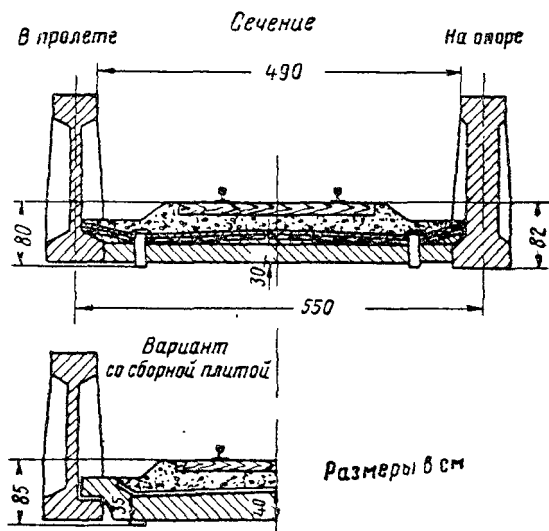


Рис. 87

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Практика строительства путепроводных развязок показывает необходимость и целесообразность применения в них относительно малых углов пересечения путей, позволяющих сократить объемы строительных работ по подходам и удешевить общую стоимость развязок при переустройстве и развитии железнодорожных узлов. Уменьшение длины железнодорожного подхода, сопутствующее применению малых углов пересечения путей в развязке, помимо экономии в строительных расходах, приводит к сокращению эксплуатационных издержек по содержанию железнодорожного пути и по движению поездов, пропорциональных размерам этого движения.

Оптимальными по строительно-эксплуатационным расходам являются развязки с углами пересечения путей приблизительно от 15° до 40° в зависимости от местных условий, руководящего уклона линий и проектируемых размеров движения поездов. Учитывая, что развязки путей в разных уровнях обычно применяют на подходах линий со значительными размерами движения поездов, можно полагать, что для линий со средними величинами руководящего уклона от 6 до 9‰ зона оптимальных решений лежит в более узких границах и близка к $20\text{--}30^\circ$ косины путепроводного пересечения¹.

Величина оптимального угла пересечения путей в развязке достаточно устойчива и практически мало зависит от вида тяги поездов и числа развязываемых путей.

Применение оптимального угла пересечения позволяет получить экономию в строительно-эксплуатационных расходах по развязке до 23% по отношению к тем же расходам при пересечении путей под углом 60° .

Для осуществления путепроводной развязки при малых углах пересечения и длинах подхода важным является максимально возможное понижение строительной высоты путепровода.

Разработка типовых проектов путепроводов для углов пересечения 35 , 30 , 25 и 20° с обеспечением разности в уровнях верхних и нижних путей не более $7,20$ м позволит значительно расширить сферу применения оптимальных по строительно-эксплуатационным расходам вариантов путепроводных развязок. Большая высота пролетных строений экономически не может быть оправдана, если рассматривать путепровод не как отдельное, изолированное сооружение, а как один из элементов комплекса устройств и сооружений развязки подходов.

¹ Требование выбора оптимального по строительно-эксплуатационным расходам угла пересечения путей при проектировании развязок обусловлено с 1961 г. Техническими указаниями по проектированию станций и узлов.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПУТЕПРОВОДНЫХ РАЗВЯЗОК**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТ СХЕМЫ РАЗВЯЗКИ**

Правильный выбор схемы развязки в полном соответствии с заданной пропускной способностью как станций самого узла, так и примыкающих к нему железнодорожных линий приобретает большое значение в проектировании и сооружении подходов линий в узле.

Далеко не все схемы путепроводных развязок обладают достаточно высокой пропускной способностью и иногда, при устройстве развязки, все же не удается достигнуть ожидаемого эффекта в увеличении пропускной способности горловин на станциях и самих подходов линий в узле.

Необходимым условием того, чтобы путепроводная развязка подходов не ограничивала пропускной способности развязываемых линий, является возможно минимальная длина ветвей развязки и такое расположение этих ветвей в плане и профиле, которое обеспечивает меньшие времена хода поездов по предузловым перегонам по сравнению с труднейшими перегонами самих линий. Условие это, будучи необходимым, однако, не является достаточным. Пропускная способность развязки в разных уровнях зависит также от ее принципиальной схемы. Исследование развязок в различных узлах показывает, что элементами, ограничивающими пропускную способность развязки подходов по самой схеме, являются пункты примыкания (слияния и разветвления) путей, а также неустраненные в некоторых схемах внутриузловые пересечения [5].

Рассмотрим сначала пропускную способность этих элементов развязок.

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПО ОГРАНИЧИВАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТАМ

Пункты слияния путей Примыкание одного подхода к другому, с движением поездов только в одну сторону к точке слияния путей, называется попутным слиянием.

Попутное слияние может иметь место при устройстве развязки по направлениям движения на двухпутных линиях, если главные пути прибытия поездов двух линий не представляется возможным до-

вести раздельными до горловины входной станции узла (рис. 88, а). Такие случаи обычны, когда подходы линий к узлу пересекают большую реку, пролегают в тоннеле, в глубокой выемке или бывают зажаты городскими строениями.

Другим часто встречающимся случаем попутного слияния является слияние пассажирского и грузового главных путей в один главный путь при выходе линии из узла (рис. 88, б). Этот случай характерен для развязки по роду движения в узлах с отдельными специализированными станциями, например пассажирской и сортировочной.

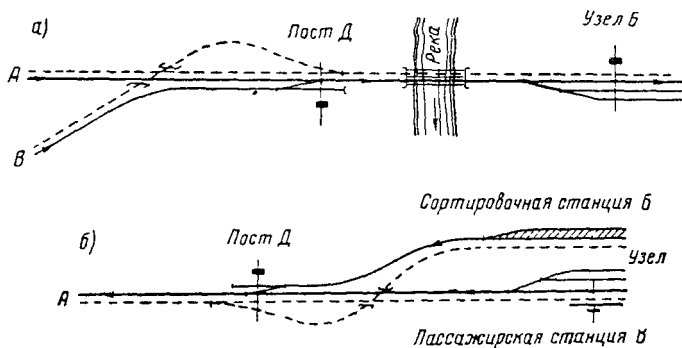


Рис. 88

Пропускная способность пункта попутного слияния подходов определяется перегоном между постом слияния Д и входной станцией узла Б (см. рис. 88, а) и может быть выражена при полуавтоматической блокировке формулой

$$N = \frac{1400\alpha}{t_{\text{ср}} + \tau}, \quad (55)$$

где N — пропускная способность в поездах в сутки;

$t_{\text{ср}}$ — средневзвешенное время хода одного поезда по перегону слияния ДБ в мин;

τ — расчетный интервал во времени между прибытием поезда на станцию и проходом другого поезда через пункт слияния в том же направлении в мин;

α — коэффициент полезной работы пункта слияния подходов.

Принимаем α из предыдущего (см. табл. 8) для двухпутных линий равным 0,8.

Средневзвешенное время хода поезда по перегону слияния равно

$$t_{\text{ср}} = k_1 t_1 + k_2 t_2 + k_3 t_3 + \dots + k_n t_n,$$

где k_1, k_2, k_3 и т. д. — соотношение числа поездов разных категорий по разным линиям, сливающимся на подходе к узлу, выражаемое десятичной дробью, например: 0,1; 0,2; 0,3 и т. д.;
при этом $\sum_1^n k = 1$;

t_1, t_2, t_3 и т. д. — время хода каждого из этих поездов по перегону слияния.

Соотношение числа поездов по сливающимся линиям определяется из графика движения поездов или устанавливается заданием в зависимости от значения линий.

Расчет пропускной способности следует вести в грузовых поездах одной категории для каждой из линий. Тогда при слиянии подходов двух линий пропускная способность попутного слияния равна (в поездах в сутки)

$$N = \frac{1\,440\, \alpha}{(k_1 t_1 + k_2 t_2) + \tau}, \quad (56)$$

где $k_1 + k_2 = 1$.

Если пропускная способность по одной из линий задана и равна N_2 , то пропускная способность подхода другой линии N_1 может быть определена по формуле

$$N_1 = \frac{1\,440\, \alpha - N_2(t_2 + \tau)}{t_1 + \tau}, \quad (57)$$

а пропускная способность слияния подходов

$$N = N_1 + N_2.$$

По формуле (57) можно в необходимых случаях производить перераспределение пропускной способности попутного слияния между сливающимися подходами двух линий, если она ранее была определена по формуле (56).

При автоблокировке пропускная способность пункта слияния будет зависеть от величины интервала между поездами при следовании их по перегону между постом слияния и станцией узла и может быть определена по формуле

$$N = \frac{1\,440\, \alpha}{I}, \quad (58)$$

где I — интервал времени между поездами при автоблокировке.

Величина интервала между поездами на предузловом перегоне сливающихся подходов должна быть минимальной, для того чтобы обеспечить возможность полного использования пропускной способности каждого из примыкающих к узлу направлений.

Минимальная величина интервала между поездами для грузового движения в зависимости от профиля подходов и условий размещения сигналов автоблокировки равна 8—10 мин. Подставляя

эти величины интервала в формулу (58) и принимая $\alpha = 0,8$, получим пропускную способность попутного слияния подходов двух линий при автоблокировке, равной примерно 115—144 поездам. Расчетные размеры движения (за вычетом резерва в пропускной способности) будут равны соответственно 96—120 поездам в сутки.

Из этого можно сделать вывод, что попутное слияние главных путей на подходе к узлу двухпутных линий ограничивает их пропускную способность и объединение подходов в один допустимо, если размеры движения по ним в сумме не превышают примерно 100 поездов в сутки. При больших размерах движения подходы к узлу должны быть отдельными. Для двух линий, оборудованных полуавтоматической блокировкой, при размерах движения в сумме по обоим подходам более 72 поездов в сутки на предузловом перегоне слияния подходов следует предусматривать автоблокировку.

При расчете пропускной способности пунктов слияния пассажирского и грузового путей в один главный путь на выходе линии из узла могут быть два случая:

1) слияние выходов пассажирского и грузового главных путей устраивается на посту, в горловине узла, и расстояние между станциями и постом слияния D (см. рис. 88, б) менее длины поезда. В этом случае пост не может служить отдельным пунктом для движения поездов и расчет пропускной способности ведется по перегонам между станциями B , B и ближайшим отдельным пунктом за постом D на выходе линии из узла;

2) расстояние между выходными горловинами станций узла и постом слияния D более длины поезда, пост служит отдельным пунктом для движения поездов и, следовательно, расчет пропускной способности ведется по перегонам между станциями B , B и постом слияния D .

Пропускная способность пункта слияния выходов пассажирского и грузового главных путей в обоих случаях определяется по тем же формулам, что и для слияния подходов к узлу [формулы (56), (57) и (58)]. Однако здесь пропускная способность будет получена как сумма количества пассажирских и грузовых поездов. Для приведения ее в одно измерение (в грузовых поездах) можно пользоваться известными значениями коэффициента съема ϵ грузовых поездов пассажирскими.

Следует заметить, что предузловые перегоны $БД$ и $ВД$ (рис. 88, б), как правило, имеют очень небольшую длину (2—2,5 км) и обычно не ограничивают пропускной способности линии. Ограничение это может быть на последующих перегонах, пропускная способность которых должна быть проверена.

Пункты разветвления путей. Наиболее характерным примером попутных разветвлений является разветвление однопутного выхода из узла на два, а иногда и на большее число путей, встречающееся в путепроводных развязках двухпутных линий (рис. 89). Движение поездов через разветвление осуществляется в одну сторону — от узла $Б$ на обе расходящиеся линии $А$ и $Б$.

Расчет пропускной способности пункта разветвления путей сводится к определению пропускной способности перегона *БД*, работающего в одну сторону, по формуле (56) или (58), а при заданной пропускной способности по одной из линий — по формуле (57).

Интервал между грузовыми поездами при отправлении их на разветвление может быть принят и практически достижим при автоблокировке в размере 6—8 мин. Отсюда пропускная способность

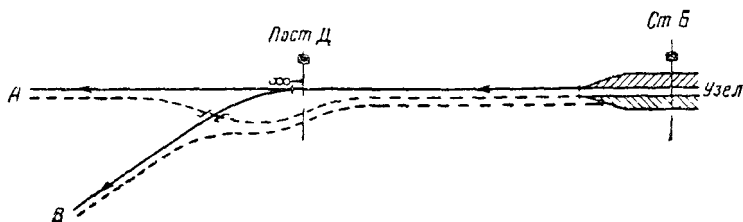


Рис. 89

пункта разветвления на выходе из узла при автоблокировке составит примерно 144—192 поезда в сутки. То обстоятельство, что попутное разветвление обладает достаточно высокой пропускной способностью, позволяет в необходимых случаях объединять выходы из узла двух или нескольких линий попарно, без ущерба для пропускной способности самих линий.

Необходимо заметить, что расчетный интервал между поездами при следовании их на разветвление иногда может оказаться менее $t_{от}$ — времени занятия поездом маршрута отправления со станции узла. Тогда расчет пропускной способности следует вести по интервалу, равному $t_{от}$.

Внутриузловые пересечения. Попутные внутриузловые пересечения характерны для развязок подходов с последовательной схемой расплетения путей (рис. 90). Здесь видны две точки пересечения, находящиеся внутри узла и не развязанные путепроводами.

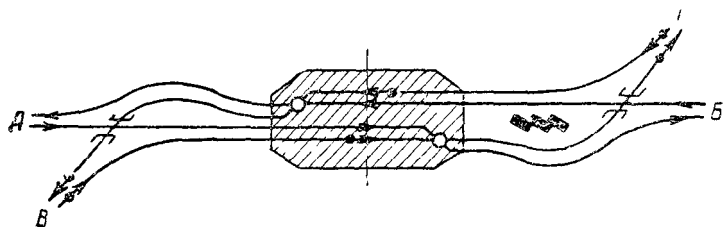


Рис. 90

Точки пересечения маршрутов пропуска поездов могут ограничивать пропускную способность линий, проходящих через узел. Для того чтобы это ограничение было минимальным, точки пересечения выносят в выходную горловину станции или парка приемо-отправочных путей. Пересечение маршрутов отправления, а не прибытия

поездов занимает меньше времени и является более благоприятным по безопасности движения.

Как известно из предыдущего, чтобы обеспечить пропуск поезда, отправляющегося по второй линии $B\Gamma$ через пересечение, в графике движения поездов первой линии AB должно быть окно по величине не менее $t_{1от} + t_{2от}$, где $t_{1от} + t_{2от}$ — сумма времени занятия маршрута пересечения каждым из двух взаимно «пересекающихся» при отправлении поездов. Если интервал I_1 между поездами, отправляющимися на первую линию, по своей величине больше или равен $t_{1от} + t_{2от}$, то в каждый интервал может быть пропущено через пересечение не менее чем по одному поезду, следующему по второй линии. В случае, если интервал меньше величины $t_{1от} + t_{2от}$, что характерно для линий с автоблокировкой, то каждый поезд, следующий по второй линии $B\Gamma$, при пропуске его через пересечение будет снимать с графика поезда на первой линии AB .

Величина сдвижки ниток графика для пропуска через пересечение одного поезда по второй линии равна $t_{1от} + t_{2от} - I_1$. При N_2 поездов по второй линии общая сдвижка ниток в графике первой линии будет равна

$$N_2(t_{1от} + t_{2от} - I_1),$$

откуда величина съема в поездах составит

$$\frac{N_2(t_{1от} + t_{2от} - I_1)}{I_1}.$$

Пропускная способность пересечения по первой линии будет

$$N_1 = \frac{1440\alpha - N_2(t_{1от} + t_{2от} - I_1)}{I_1} \quad (59)$$

и по второй линии

$$N_2 = \frac{1440\alpha - N_1(t_{1от} + t_{2от} - I_1)}{I_2}, \quad (59a)$$

а в целом по пересечению линий

$$N = N_1 + N_2.$$

При одинаковом соотношении пропускной способности пересечения по обеим линиям $N_1 = N_2 = \frac{N}{2}$ интервал I_1 будет равен I_2 .

Тогда, суммируя уравнения (59) и (59a) и решая относительно N , получим пропускную способность пересечения

$$N = \frac{2 \cdot 1440\alpha}{t_{1от} + t_{2от}}. \quad (60)$$

Пропускную способность собственно пересечения следует определять в общем виде по формуле (60); распределение же ее по линиям в любом соотношении в зависимости от задания может производиться по формулам (59) и (59а).

Формулами (59), (59а) и (60) можно пользоваться во всех случаях расчета пропускной способности пересечений на отдельных пунктах, если каждый из интервалов I_1 или I_2 между поездами, следующими по пересекающимся линиям, меньше суммы времени занятия маршрута пересечения парой взаимно «пересекающихся» поездов. Нетрудно убедиться, что уже при равенстве интервала I_1 или $I_2 = t_{1от} + t_{2от}$ второй член числителя

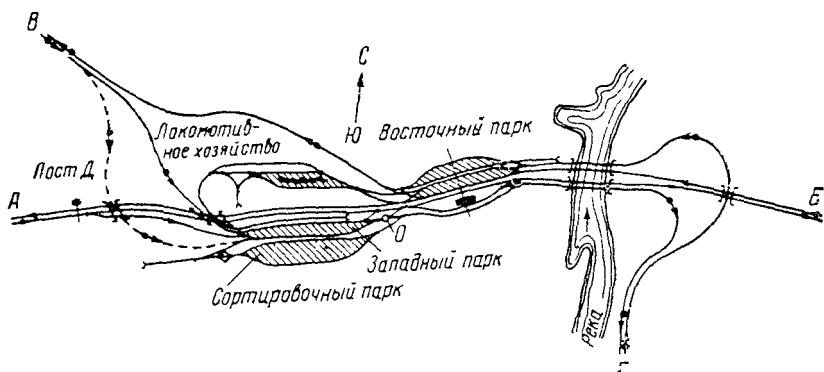


Рис. 91

формулы (59) или (59а) превращается в нуль и, следовательно, само пересечение теоретически не будет оказывать влияния на пропускную способность линии.

На рис. 91 приведен пример взаимного несоответствия принципиальных схем развязок подходов в противоположных концах узла, повлекшего за собой возникновение внутриузловых пересечений маршрутов и ограничения в пропускной способности узла. Восточная (справа по чертежу) развязка была построена по симметричной схеме расплетения путей. Западная развязка получила для грузового движения последовательную схему расплетения путей в связи с тем, что приемо-отправочный парк для поездов с запада расположен в разных уровнях с главными путями линии AB и потребовалась постройка к нему отдельного пути подхода от поста D . Узел имеет большие размеры транзитного движения грузовых поездов по обеим линиям AB и $BГ$.

Путепроводные развязки проектировались при строительстве вторых путей на линии $BГ$ и на несоответствие их схем не было обращено внимания. Несоответствие это вызвало скрытое пересечение в точке O маршрутов пропуска транзитных поездов в направлениях от A на B и от B на $Г$ в горловине западного приемо-отпра-

вочного парка, загруженной вдобавок еще операциями по смене локомотивов и маневровой работе с поездами.

В результате возникших затруднений в пропускной способности узла по направлению с запада на восток пришлось запроектировать переустройство развязки подходов линий от *A* и *B* по объемлющей схеме, как это показано на рис. 91 пунктиром. Взаимное пересечение маршрутов пропуска транзитных поездов было ликвидировано.

Пропускная способность пересечения в горловине станции составляет при парном графике примерно 144 пары поездов в сумме по обоим линиям, или 72 пары поездов по каждой из них. Следует учитывать, однако, что пропускная способность пересечения в горловине узловой станции, выраженная в поездах, может быть значительно снижена вследствие занятия точек пересечения маршрутов следования поездов различными маневровыми передвижениями. Расчеты показывают, что смена локомотивов и маневры по прицепке и отцепке отдельных групп вагонов могут понижать пропускную способность по каждой из двух пересекающихся линий до 40—48 пар поездов в сутки в зависимости от загруженности горловины маневровыми передвижениями и степени ее развития. Ввиду этого иногда представляется целесообразным выносить точку пересечения маршрутов пропуска поездов на предузловой раздельный пункт, не имеющий маневровой работы (см. рис. 5).

Зная пропускную способность отдельных элементов развязок и находя эти элементы в схеме любой развязки, нетрудно определить ее пропускную способность по ограничивающему элементу схемы.

РАЗМЕРЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗВЯЗОК

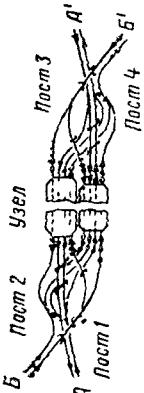
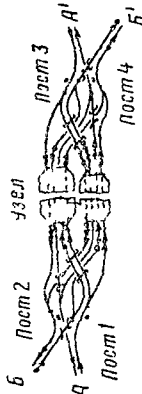
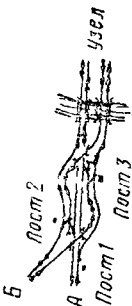
Исследование схем и пропускной способности развязок железнодорожных двухпутных линий на подходах к узлам позволяет сделать следующие основные выводы.

При размерах движения на подходах к узлу около 36—40 пар поездов в сутки по каждой из двух линий, как правило, появляется необходимость в переходе от развязки в одном уровне к путепроводной развязке.

Если расчетные размеры движения по каждой из двух линий, пересекающихся в узле, не превышают 60 пар поездов в сутки, можно применять развязку по направлениям движения с последовательной схемой расплетения путей. Характерные для этой схемы взаимные пересечения маршрутов движения поездов через узел в горловинах станций узла (см. рис. 90) допустимы при централизации стрелок и сигналов.

Размеры движения свыше 60 и до 72 пар поездов в сутки по каждой из линий обычно требуют уже применения развязки с объемлющей схемой расплетения путей на подходах к узлу (см. рис. 34, б). Ограничение пропускной способности линий при этой схеме развязки может возникать в горловинах станции (узла) лишь по условиям пересечения маршрутов движения поездов маневровыми передвиже-

Вид развязки	Схема развязки	Характеристика схемы	Элементы, ограничивающие пропускную способность	Пропускная способность в парах поездов	Расчетные размеры Движений
		С объездом путей	Нет	По схеме не ограничены	
		С последовательным расплетением путей	Внутриузловые пересечения маршрутов пуска поездов	$78+78=156$	$65+65=130$
		То же, но неполная с однопутным выходом, разветвляющимся на попутный	Однопутный выход из узла	$72+72=144$	$60+60=120$
		То же с попутным слиянием главных путей прибытия	Попутное слияние путей на подходе к узлу	$60+60=120$	$50+50=100$

Вид развязки	Схема развязки	Характеристики схемы	Продолжение		
			Элементы ограничивающие пропускную способность	Пропускная способность в парах поездов	Расчетные разрывы движения
		С объездом путей	Попутное слияние путей на выходе из узла	$120 + 120 = 240$	$100 + 100 = 200$
		С последовательным расплетением путей	То же и внутриузловое пересечение при пропуске поездов	$96 + 96 = 192$	$80 + 80 = 160$
		Неполная, с объездом путей по направлениям и последующим слиянием их по роду движения	Попутное слияние путей на подходе к узлу	$60 + 60 = 120$	$50 + 50 = 100$
		Неполная, с объездом путей и однопутным подходом с линии Б	По линии А — попутное слияние путей на выходе из узла	120	100
			По линии Б — пересечение маршрутов движения поездов на посту 2	$56 + 24 = 80$	$48 + 18 = 66$

ниями или при взаимной корреспонденции поездопотоков. Для пропуска поездопотоков с А на Г, с В на Б и обратно при значительных их размерах достаточно устройство двух беспутепроводных ветвей, показанных пунктиром. Эти ветви обеспечат полную развязку упомянутых потоков в разных уровнях.

Размеры движения свыше 72 пар поездов в сутки по каждой из линий, т. е. свыше 144 пар по обоим линиям, могут быть освоены без их ограничения развязкой по направлениям движения с объемлющей схемой расплетения путей. Однако пропуск столь значительного числа поездов через одну станцию узла при наличии на последней операций по смене локомотивов и маневровой работе становится маловероятен по условиям загрузки горловин этой станции. В таких случаях может появиться необходимость распределения поездов по их пропуску и обслуживанию между двумя станциями узла и применения в узле развязки подходов по роду движения (см. схему на рис. 42).

Ориентировочные размеры пропускной способности (в грузовых поездах параллельного графика) основных схем путепроводных развязок на подходах к узлам двухпутных линий приведены в табл. 28.

Для упрощения схемы развязки и удешевления ее строительной стоимости допустимо объединение выходов из узла двух линий с последующим их разветвлением на посту (см. рис. 89), если размеры потребной пропускной способности по каждой из этих линий не превышают 72 пар поездов в сутки.

Объединение (слияние) двух подходов к узлу в один на предузловом посту (см. рис. 88, а) нежелательно. Такая схема развязки теоретически хотя и обеспечивает пропускную способность до 60 пар поездов по каждой из обеих двухпутных линий, но при случайных отклонениях поездов от графика и одновременном их подходе к посту слияния неизбежны задержки поездов у сигналов ограждения.

Г Л А В А V

КРИТЕРИИ ПЕРЕХОДА ОТ РАЗВЯЗОК В ОДНОМ УРОВНЕ К ПУТЕПРОВОДНЫМ РАЗВЯЗКАМ. МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ РАЗВЯЗОК

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПЕРЕХОДА К ПУТЕПРОВОДНЫМ РАЗВЯЗКАМ

Переход от развязки маршрутов движения поездов в одном уровне к путепроводным развязкам может осуществляться:

для ликвидации пересечений в одном уровне, пропускная способность которых недостаточна для пропуска заданных размеров движения поездов;

по соображениям экономической целесообразности, когда пропускная способность пересечений еще не исчерпана, но эксплуатационные расходы по содержанию постоянных устройств и обслуживающего пункты пересечения штата, а также расходы, вызываемые задержками поездов у точек пересечения маршрутов, настолько велики, что становится более выгодным устройство путепроводной развязки;

по соображениям безопасности движения поездов и для обеспечения полной взаимонезависимости движения по каждой из пересекающихся линий.

Применение путепроводов как меры безопасности движения поездов во всех случаях пересечения более или менее загруженных линий было совершенно необходимо еще в сравнительно недавнее время, когда значительная доля подвижного состава наших железных дорог обслуживалась ручными тормозами. Перевод всего подвижного состава на автоматическое торможение, создание надежных и безотказных в работе советских автоматических тормозов и автостопа, оборудование линий автоблокировкой создали достаточные гарантии в безопасности движения поездов через пересечения. Это позволило отказаться от применения путепроводных развязок только как меры безопасности движения. Однако на линиях, электрифицированных на переменном токе, возникновение так называемых блуждающих токов в сети, питающей устройства СЦБ, неблагоприятно влияет на работу последних и в некоторых случаях может вызвать произвольное изменение показаний сигналов или даже перевод стрелок под подвижным составом. Поэтому при пер-

спективном проектировании требование путепроводных развязок как меры безопасности движения может быть признано основательным на линиях, оборудуемых электрической тягой на переменном токе, а также на линиях с высокоскоростным пассажирским движением.

Применение путепроводов для обеспечения полной взаимозависимости движения поездов встречается преимущественно в силу специальных требований при пересечениях, например, рокадных линий с коммуникационными, для обеспечения по каждой из них бесперебойного движения массовых поездопотоков. Следует, однако, отметить, что размеры народнохозяйственных перевозок на таких линиях, как правило, достаточно велики и не допускают пересечения в одном уровне одновременно и по условиям пропускной способности.

Таким образом, важнейшими критериями, определяющими переход от пересечений в одном уровне к путепроводной развязке являются во-первых, несоответствие, или точнее недостаточность размеров пропускной способности пересечения заданным размерам движения поездов и, во-вторых, экономическая целесообразность устройства путепроводной развязки.

Определение пропускной способности пересечения следует производить в зависимости от конкретных условий, в которых оно

Т а б л и ц а 29

Размеры движения по одной железнодорожной линии	Размеры движения по другой железнодорожной линии (в парах поездов)					
	12	18	24	36	48	72
12						
18						
24						
36						
48						
72						

Примечание. При размерах движения на однопутных линиях свыше 18 пар и на двухпутных — свыше 35 пар поездов в сутки на перегонах, прилегающих к пункту примыкания, принята автоблокировка.

находится: профиля и плана подходов, соотношения размеров движения и скорости движения поездов по методике, изложенной выше, в главах I и IV.

При решении принципиальной схемы развязки подходов в проекте развития узла или отдельных его станций можно пользоваться приведенными выше в табл. 10 и 28 данными о размерах пропускной способности пересечений в одном уровне и различных схемах путепроводных развязок, полученными в результате их анализа.

В табл. 29 показаны принципиальные схемы развязки подходов, а в табл. 30 — пересечения на перегоне в зависимости от размеров движения соответственно на примыкающих или пересекающихся линиях. Эти таблицы, составленные на основании тех же данных анализа схем и пропускной способности примыканий и пересечений линий, позволяют получить ответ на вопрос: при каких соотношениях размеров движения по разным линиям допустима та или иная принципиальная схема развязки.

Т а б л и ц а 30

Размеры движения по одной железнодорожной линии	Размеры движения по другой железнодорожной линии (в парах поездов)					
	12	18	24	36	48	72
12						
18						
24						
36						
48						
72						

* По условиям пропускной способности может быть допущен шлюз.

Примечание. Экономическая целесообразность устройства шлюза должна быть подтверждена в каждом отдельном случае сравнением с вариантом путепроводного пересечения.

Экономическая целесообразность сооружения развязки в разных уровнях или перехода от одной схемы примыкания к другой более совершенной, но сложной схеме определяется сравнением их вариантов по строительным и эксплуатационным затратам.

Варианты развязок являются лишь частными вариантами в пределах общего решения одной и той же народнохозяйственной задачи (сооружение железнодорожной линии или развитие и переустройство узла). Поэтому при разрешении вопроса об экономической целесообразности развязки пересечения в разных уровнях следует пользоваться методикой сравнения вариантов проектных решений по новым линиям, станциям и узлам и усилению пропускной способности железных дорог, разработанной в 1961 г. Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства и проектным институтом Гипротранстэи.

Ниже излагаются основные положения этой методики применительно к сравнению и выбору проектных решений по развязкам пересечений в узлах.

Для правильного выбора проектного решения необходимо обеспечить максимальную сопоставимость сравниваемых вариантов. Все сопоставляемые варианты должны удовлетворять требованиям Норм и технических условий проектирования железных дорог, Технических указаний по проектированию станций и узлов и Правил технической эксплуатации железных дорог.

Строительные и эксплуатационные затраты по вариантам должны определяться в сопоставимых границах и в одном уровне действующих цен. Все варианты необходимо разрабатывать и сравнивать для одинаковых размеров и характера выполняемой работы (пропуск заданного числа поездов, маневровых передвижений, одинаковое соотношение числа пассажирских и грузовых поездов и их весовых норм и т. п.). Эксплуатационные требования к сравниваемым вариантам должны предъявляться также одинаковыми.

При сравнении вариантов развязок особое внимание должно обращать на выполнение следующих обязательных требований: обеспечение расчетных размеров работы или заданной пропускной способности;

обеспечение безопасности движения поездов и маневровой работы, безопасности пассажиров и удобства населения, а также обеспечение необходимых условий труда при строительстве и эксплуатации;

создание условий для внедрения и максимального использования новейших достижений науки и техники, комплексной механизации и автоматизации процессов работы железных дорог;

соблюдение установленных сроков строительства и ввода объекта в эксплуатацию.

Варианты, не удовлетворяющие всем предъявленным выше обязательным требованиям, не являются конкурентоспособными.

В тех случаях, когда в связи с особенностями одного из вариантов по нему может быть получена большая пропускная способность, то при одинаковых с другим вариантом строительных и эксплуатационных расходах первому варианту должно быть отдано предпочтение.

ние. Если же эксплуатационные расходы по первому варианту выше, то их следует привести к сопоставимому виду, сравнивая при одинаковых заданных размерах пропускной способности (или размерах движения).

Для приведения вариантов к сопоставимому виду следует также учитывать, что в варианте с меньшими резервами пропускной способности, при быстром росте размеров движения, может раньше потребоваться осуществление последующих этапов (очередей) развития. В этом случае сравнение вариантов производится обычным способом сопоставления затрат при этапных капиталовложениях.

Технико-экономическое сравнение вариантов развязок производится на основе расчета суммы приведенных строительных и эксплуатационных расходов по каждому варианту, с учетом отдаленности расходов во времени.

Сумма приведенных строительных и эксплуатационных расходов в общем виде определяется формулой

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{пр}} = K_0 + \sum_1^{t_1} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} + \frac{K_1}{(1+E)^{t_1}} + \sum_{t_1+1}^{t_2} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} + \dots + \\ + \frac{K_n}{(1+E)^{t_n}} + \sum_{t_n+1}^{t_c} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t}, \end{aligned} \quad (61)$$

где K_0 — капитальные затраты, произведенные до начала эксплуатации объекта;

$K_1, \dots, K_n$ — капитальные затраты, производимые соответственно через $t_1, \dots, t_n$ лет;

$\mathcal{E}_t$ — эксплуатационные расходы за соответствующий год;

$\frac{1}{(1+E)^t}$ — коэффициенты отдаленности, учитывающие уменьшение значимости затрат, совершаемых не в начальный момент, а через t лет;

E — отраслевой нормативный коэффициент сравнительной эффективности;

t_c — год, ограничивающий период суммирования затрат по рассматриваемым вариантам (одинаковый для всех вариантов).

Величину нормативного коэффициента эффективности (E) при сравнении вариантов проектных и плановых решений на железнодорожном транспорте рекомендуется принимать равной 0,10.

Значения коэффициентов отдаленности, а также обратной этим коэффициентам величины — коэффициентов приведения $K_{\text{пр}} = (1+E)^t$ при $E = 0,10$ даны в табл. 31.

Период суммирования затрат устанавливается с учетом особенностей сравниваемых вариантов и во всяком случае должен быть достаточно длительным, чтобы отразить все существенные различия рассматриваемых вариантов, как по капиталовложениям, так и по эксплуатационным расходам.

Годы t	$\frac{1}{(1+E)^t}$	$K_{пр}=(1+E)^t$	Годы t	$\frac{1}{(1+E)^t}$	$K_{пр}=(1+E)^t$
1	0,909	1,10	13	0,290	3,45
2	0,827	1,21	14	0,263	3,80
3	0,751	1,33	15	0,239	4,18
4	0,683	1,46	16	0,218	4,59
5	0,621	1,61	17	0,198	5,05
6	0,565	1,77	18	0,180	5,55
7	0,513	1,95	19	0,164	6,10
8	0,467	2,14	20	0,149	6,71
9	0,424	2,36	25	0,092	10,80
10	0,386	2,59	30	0,057	17,50
11	0,351	2,85	35	0,035	28,60
12	0,319	3,14	40	0,022	45,40

Для вариантов долгосрочных сооружений (постоянные пути, посты и разьезды, путепроводы и т. п.) период суммирования принимается таким, чтобы было обеспечено условие

$$\sum_1^{t_c} \frac{1}{(1+E)^t} \approx \frac{1}{E}.$$

При этом расходы за пределами последнего года, на который известен расчетный грузопоток, учитываются ориентировочно.

В наиболее простом случае — при одноэтапных капиталовложениях и постоянных (в уровне их оценки на момент сравнения) эксплуатационных расходах — суммарные приведенные расходы определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{пр} = K_0 + \frac{\mathcal{E}_{пост}}{E} \quad (62)$$

или

$$\mathcal{E}_{пр} = EK_0 + \mathcal{E}_{пост}, \quad (62a)$$

где $\mathcal{E}_{пост}$ — ежегодные эксплуатационные расходы.

При сравнении вариантов с одноэтапными капиталовложениями, но переменными во времени эксплуатационными расходами сумму приведенных расходов определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{пр} = K_0 + \frac{\mathcal{E}_p}{E} \quad (63)$$

или, соответственно,

$$\mathcal{E}_{пр} = EK_0 + \mathcal{E}_p, \quad (63a)$$

где $\mathcal{E}_p$ — годовые эксплуатационные расходы на расчетный год эксплуатации t_p , величина которого при линейном или близком к нему росте грузооборота определяется из условия $t_p \approx \frac{1}{E}$, или при $E = 0,10$, $t_p = 10$.

Варианты развязок подходов к узлу и отдельным станциям могут различаться схемой развязки (расположением ветвей и числом путей-путепроводов), степенью полноты развязки, т. е. числом пунктов пересечения в одном уровне, профилем соединительных ветвей (верхние и нижние пути развязки) и т. п.

Определение строительных расходов (капиталовложений) по сопоставляемым вариантам развязок необходимо производить возможно полнее. Во всяком случае должны быть определены расходы по следующим показателям:

- отвод земель под сооружения развязки, снос строений и возмещение убытков;

- земляное полотно и верхнее строение сооружаемых путей, устройство водоотводов,

- мосты и путепроводы;

- служебные здания на постах примыкания или пересечения линий (в необходимых случаях) с их оборудованием;

- контактная сеть на путях и ветвях электрифицированных железных дорог;

- устройства СЦБ и связи.

Если возникают сопутствующие работы по переустройству горловин станций примыкания ветвей развязки, то они должны учитываться тоже.

При определении эксплуатационных расходов по вариантам развязки необходимо учитывать:

- пробег грузовых и пассажирских поездов;

- задержки на пересечениях маршрутов их следования;

- содержание путей, стрелок, контактной сети, путепроводов и стоимость защиты и очистки путей от снега.

Иногда может дополнительно потребоваться учет расходов по содержанию эксплуатационного штата и технических устройств на пунктах примыкания, разветвления и пересечения линий при изменении числа этих пунктов по вариантам и при сравнении путепроводных развязок с развязками в одном уровне.

Если по вариантам изменяется число остановок поездов или значительно различаются профильные условия на подходах, может потребоваться учет затрат на разгон и торможение поездов. При определении затрат от задержки поездов не на подходах, а на пересечениях в горловинах станций, характерных для некоторых схем путепроводных развязок (развязки подходов с последовательной схемой расплетения путей), затраты на разгон и торможение поездов в большинстве случаев могут не учитываться, так как задерживаться будут отправляющиеся, а не прибывающие поезда.

Время задержки $T_{зд}$ (в мин за сутки) при преимуществе маршрута прибытия поезда перед маршрутом отправления определяется по формуле

$$T_{зд} = \frac{N_{пр} N_{от} (t_{пр} + t_{от})^2}{2 \cdot 1440}, \quad (64)$$

где $N_{\text{пр}}$ и $N_{\text{от}}$ — число прибывающих и отправляющихся поездов, маршруты которых взаимно пересекаются;
 $t_{\text{пр}}$ и $t_{\text{от}}$ — время занятия маршрутов соответственно прибытием и отправлением поездов.

Строительные и эксплуатационные расходы для сравнения и выбора проектных решений по развязкам следует учитывать лишь по тем элементам затрат, которые различаются в сравниваемых вариантах объемом расходов, а также условиями или сроками их выполнения. Различия в затратах по вариантам должны выявляться с максимально возможной полнотой.

ПОДСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПУТЕПРОВОДНЫХ РАЗВЯЗОК

Опыт проектирования развязок пересечений в железнодорожных узлах показывает, что во многих случаях экономическая целесообразность сооружения путепроводных развязок наступает значи-

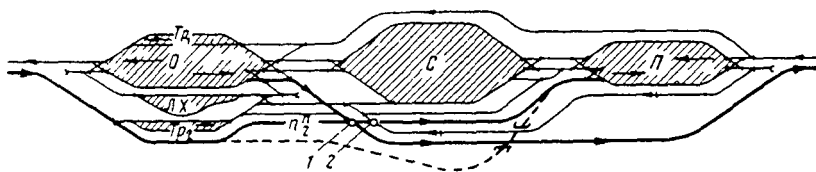


Рис 92

тельно раньше, чем будет исчерпана пропускная способность пересечений в одном уровне. Это обосновывается и теоретическими исследованиями.

По данным канд. техн. наук Б. Д. Штанге [13], сооружение развязки в разных уровнях двух пересекающихся маршрутов движения поездов наступает примерно при 72 занятиях точки пересечения пропуском поездов в течение суток. Из табл. 28 видно, что необходимость в путепроводной развязке по условиям пропускной способности пересечения, например, в горловине узла (см. табл. 28, вторая схема сверху) наступает лишь при $78 + 78 = 156$ занятиях поездами точки пересечения маршрутов в сутки. Сопоставляя эти данные, можно полагать, что если при разработке проектного решения расчетная загрузка пересечения в одном уровне достигает приблизительно 50 % суточного времени (720 мин в сутки), то необходимо обязательное сравнение этого решения с путепроводной развязкой. Путепроводная развязка может оказаться выгоднее.

Условия целесообразности сооружения путепроводной развязки рассмотрены на примере схемы сортировочной станции [6, 12] на рис. 92. Расчеты сделаны для поездов весом 3 000 т при тепловозе ТЭЗ и соотношениях перерабатываемого поездопотока нечетного и четного направлений $n_1^n : n_2^n$, равному 2 : 1 или 1 : 1.

Число транзитных поездов в нечетном направлении $n_1^{\text{тр}}$ принято в размере 10% общего поездопотока того же направления. Устройство путепровода в схеме на рис. 92 ликвидирует следующие пересечения: в точке 1 — прибытие в сутки $n_2^{\text{п}}$ поездов в переработку с отправлением $n_2 = n_2^{\text{тр}} + n_2^{\text{п}}$ поездов транзитных и своего формирования, в точке 2 — прибытие в переработку $n_2^{\text{п}}$ поездов с проходом локомотивов от этих же поездов в количестве $л_2^{\text{п}} = n_2^{\text{п}}$.

Обе точки пересечения размещены возможно ближе к горловине парка отправления. Время занятия пересечения одним поездом,

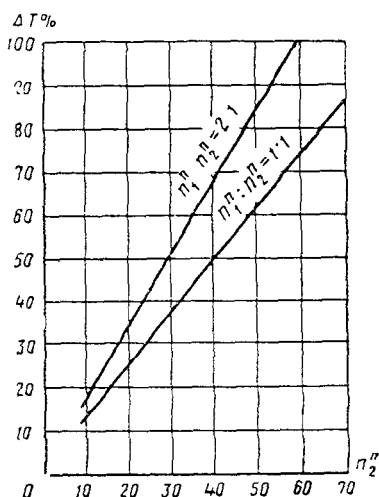


Рис. 93

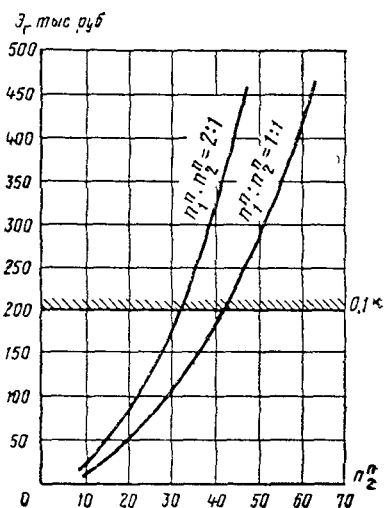


Рис. 94

прибывающим в переработку (при расчете по наложенной в масштабе схеме), определилось равным $t_{\text{пр}} = 8$ мин, отправляющимся поездом — $t_{\text{от}} = 6$ мин и поездным локомотивом — $t_{\text{д}} = 3$ мин.

Величина ΔT загруженности пересечения в процентах от суточного времени (1 440 мин), полученная в результате расчетов, приведена на графике (рис. 93), из которого видно, что необходимость в путепроводной развязке по условиям пропускной способности пересечения в одном уровне (при $\Delta T = 80\%$) может наступить лишь при размерах четного перерабатываемого поездопотока от 47 до 65 поездов, что составит вместе с нечетным потоком примерно 130—140 поездов в сутки.

Подсчитаем теперь экономию на эксплуатационных расходах от ликвидации пересечения и, сравнив ее с дополнительными капиталовложениями, вызываемыми сооружением путепроводной развязки, решим вопрос о целесообразности последней по экономическим соображениям.

При совпадении времени подхода к пересечению (см. рис. 92) двух поездов задерживается отправляющийся поезд, при одновременном подходе поезда и локомотива задерживается локомотив. Годовые задержки подвижного состава (в часах) на пересечениях при неравноправных маршрутах определены по формулам:

для отправляющихся поездов

$$T_r = 0,0021 n_2^{\Pi} n_2 (t_{\text{пр}} + t_{\text{от}})^2, \quad (65)$$

для локомотивов

$$T_r = 0,0021 n_2^{\Pi} n_2^{\Pi} (t_{\text{пр}} + t_{\text{л}})^2. \quad (65a)$$

Годовая экономия $\mathcal{E}_r$ от ликвидации задержек на пересечениях при стоимости часа задержки локомотива ТЭЗ 9,7 руб., поезда весом 3 000 т с тем же локомотивом — 20,7 руб. и при прочих упомянутых условиях расчета приведена на рис. 94.

Разница в капиталовложениях на сооружение главных путей с пересечением в одном уровне и на их путепроводную развязку, вычисленная в сопоставимых границах плана и профиля, определена в размере 200 тыс. руб., из них:

На сооружение земляного полотна	113	тыс. руб.
» » путепровода с углом пересечения 30°	84	» »
На верхнее строение пути	3	» »

Приведенные к годовым строительные расходы, исходя из 10-летнего срока их окупаемости, нанесены на график (см. рис. 94) прямой линией 0,1K, выше которой лежит зона выгоды путепроводной развязки. Из графика видно, что целесообразность постройки путепроводной развязки по экономическим соображениям наступает уже при размерах четного перерабатываемого поездопотока 30—40 поездов в сутки, что соответствует примерно 50% суточной загрузки пересечения в одном уровне.

ВЛИЯНИЕ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПОДХОДЕ ПОЕЗДОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ В ОДНОМ УРОВНЕ

На рис 1 показано простейшее пересечение двух линий при движении поездов по каждой из них только в одну сторону

Если через пересечение по первой линии проходит n_1 поездов, а по второй линии проходит n_2 поездов и каждый из n_1 поездов занимает пересечение в течение t_1 мин, а каждый из n_2 поездов — в течение t_2 мин, то определение пропускной способности пересечения сводится к решению уравнения $n_1 t_1 + n_2 t_2 = 1440$ мин (без учета поправки $1 - \Delta t$)

Предположим теперь, что один из поездов первого направления подходит к пересечению в тот момент, когда последнее занимает поезд, проходящий по второй линии. Первый поезд останавливается перед закрытым сигналом (см рис 1) и может двинуться далее только после освобождения пересечения другим поездом, проходящим по второй линии. Время занятия собствен-

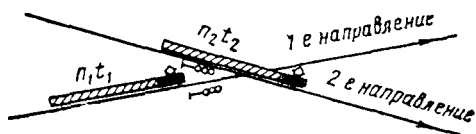


Рис 1

но пересечения от этого не изменится (если не учитывать уменьшения скорости прохода через пересечение того поезда, который имел остановку), однако по первой линии удастся пропустить меньше поездов вследствие увеличения времени нахождения их на перегоне на то дополнительное время задержки каждого поезда, под-

ход которого к пересечению совпал с занятием последнего поездом другой линии. То же самое можно сказать и о поездах второй линии, если они не имеют преимуществ в пропуске через пересечение перед поездами первой линии, т. е. маршруты их равноправны

Отсюда следует, что в уравнении пропускной способности пересечения из общего числа 1440 мин в сутках необходимо исключить суммарное время задержек поездов обеих линий во всех случаях одновременного их подхода к пункту пересечений линий. Обозначим это время через $T_{зд}$. Ниже указан порядок определения этого времени в различных случаях пересечений железнодорожных линий в одном уровне

1-й случай Пересечение двух однопутных линий при движении поездов по каждой из них только в одну сторону (рис 2)

Общее время занятия пересечения всеми поездами направления АБ за сутки составляет $n_A t_{AB}$ мин. Соответственно, для ВГ общее суточное время занятия пересечения составит $n_B t_{BG}$ мин. Вероятность задержки поездов направления

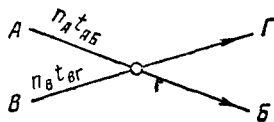


Рис. 2

АБ по теории вероятностей равна $\frac{n_B t_{BG}}{1440}$, а поездов направления ВГ соот-

ветственно $\frac{n_A t_{AB}}{1440}$ мин. Среднее время задержки одного поезда первого

направления АБ составляет $\frac{t_{GB}}{2}$, а второго направления ВГ соответственно

$\frac{t_{AB}}{2}$ мин. Число задержанных поездов направления АБ составит

$\frac{n_B t_{BG}}{1440} n_A$ и направления ВГ соответственно $\frac{n_A t_{AB}}{1440} n_B$.

Тогда общее время задержки всех поездов первого направления AB за сутки составит

$$T_A = \frac{n_B t_{B\Gamma}}{1440} n_A \frac{t_{B\Gamma}}{2} = \frac{n_A n_B t_{B\Gamma}^2}{2 \cdot 1440} \text{ мин.}$$

Для поездов второго направления $B\Gamma$ общее суточное время задержки соответственно получится равным

$$T_B = \frac{n_A n_B t_{AB}^2}{2 \cdot 1440} \text{ мин.}$$

Суммируя T_A и T_B , получим общее время задержки для поездов обоих направлений

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{B\Gamma}^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин} \quad (1)$$

или, если придерживаться обозначений, приведенных на рис. 1,

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_1 n_2 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.}$$

Если отнести общее время задержки поездов в течение суток к числу поездов (пар поездов) каждой из линий $\frac{T_{\text{зд}}}{n_1}$ или $\frac{T_{\text{зд}}}{n_2}$, то получим поправки C_1 и C_2 на задержку поездов, вводимые в формулы пропускной способности

В данном случае:

$$C_1 = \frac{n_2 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин}$$

и

$$C_2 = \frac{n_1 (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин}$$

2-й случай. Попутное слияние двух подходов (рис 3).

При одновременном подходе поездов из A и B к пункту слияния линий один из поездов задерживается у сигнала, ограждающего точку слияния D .

Максимальное время этой задержки равно $t + \tau$ — времени занятия перегона DB ранее пропускаемым поездом, минимальное время — нулю, а в

среднем $\frac{t + \tau}{2}$ мин. При этом время хода

поездов обеих сливающихся линий по перегону DB принимается одинаковым, считая, что пропускаются поезда одной и той же категории

Тогда вероятность задержки поездов

из A составит $\frac{n_2(t + \tau)}{1440}$, а поездов из B

соответственно $\frac{n_1(t + \tau)}{1440}$

Общее суточное время задержки поездов каждого из направлений (из A или из B) будет равно $\frac{n_1 n_2 (t + \tau)^2}{2 \cdot 1440}$ мин, откуда общее время задержки поездов обоих направлений

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_1 n_2 (t + \tau)^2}{1440} \text{ мин.} \quad (2)$$

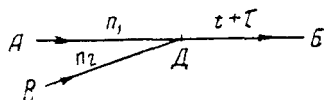


Рис. 3

Поправки для определения пропускной способности точки слияния составляют:

$$C_1 = \frac{n_2 (t + \tau)^2}{1440} \text{ мин}$$

и

$$C_2 = \frac{n_1 (t + \tau)^2}{1440} \text{ мин}$$

на один поезд соответствующей линии. При автоблокировке вместо $t + \tau$ следует подставлять значение I как в формулу (2), так и в формулы поправок.

3-й случай¹. Пересечение двух однопутных линий при движении поездов на одной из них в обе стороны, а на другой — только в одну сторону (рис. 4)

Время задержки поездов направления АБ поездами, идущими по другой линии в направлении от В на Г, составит, по аналогии с 1-м случаем,

$$n_A \frac{n_B t_{BG}}{1440} \cdot \frac{t_{BG}}{2},$$

а поездами, идущими из Г на В, —

$$n_A \frac{n_B t_{GB}}{1440} \cdot \frac{t_{GB}}{2}.$$

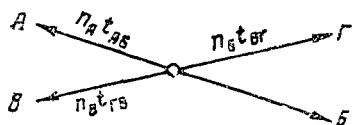


Рис 4

Время задержки поездов направления ВГ поездами АБ равно

$$n_B \frac{n_A t_{AB}}{1440} \cdot \frac{t_{AB}}{2},$$

тоже поездов обратного направления ГВ поездами АБ —

$$n_B \frac{n_A t_{AB}}{1440} \cdot \frac{t_{AB}}{2}.$$

Тогда общее время задержки поездов будет равно

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B t_{BG}^2}{2 \cdot 1440} + \frac{n_A n_B t_{GB}^2}{2 \cdot 1440} + \frac{n_A n_B t_{AB}^2}{2 \cdot 1440} + \frac{n_A n_B t_{AB}^2}{2 \cdot 1440},$$

или после сложения

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (2t_{AB}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (3)$$

Поправки C_1 и C_2 нетрудно получить, разделив $T_{зд}$ соответственно на n_A или n_B

4-й случай. Пересечение двух однопутных линий при движении поездов на этих линиях в обе стороны (рис 5)

Определяя последовательно время задержки поездов одного направления поездами каждого из направлений другой линии, получим общее суточное время задержки поездов на обеих линиях

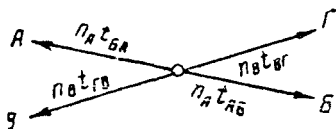


Рис. 5

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BG}^2) + n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{GB}^2)}{2 \cdot 1440} + \frac{n_A n_B (t_{BA}^2 + t_{BG}^2) + n_A n_B (t_{BA}^2 + t_{GB}^2)}{2 \cdot 1440},$$

¹ Этот случай характерен для пересечения однопутной линии с одним из путей двухпутной линии.

или после приведения подобных членов и возможных сокращений

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BA}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{1 \cdot 440} \text{ мин.} \quad (4)$$

5 й случай. Пересечение однопутной и двухпутной линии с устройством поста-шлюза (рис 6)

Поезда однопутной линии пересекают поочередно, но в разное время каждый из главных путей двухпутной линии. При этом сечение происходит в двух точках, которые могут рассматриваться отдельно, аналогично 3-му случаю. Общее время задержки поездов на пересечении в точке *a* равно [см. формулу (3)]

$$\frac{n_A n_B (2t_{AB}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{2 \cdot 1 \cdot 440},$$

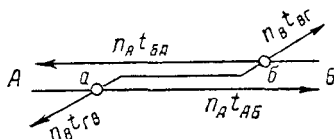


Рис. 6

а время задержки поездов в точке *b* составит соответственно

$$\frac{n_A n_B (2t_{BA}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{2 \cdot 1 \cdot 440}.$$

Суммируя время задержки поездов в точках *a* и *b*, получим общее суточное время задержки поездов обеих линий на их пересечении

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BA}^2 + t_{BG}^2 + t_{GB}^2)}{1 \cdot 440} \text{ мин,} \quad (4a)$$

т. е. то же, что и на пересечении двух однопутных линий (см. 4-й случай) при движении поездов на этих линиях в обе стороны

6 й случай. Пересечение однопутной линией обоих путей двухпутной линии (рис. 7)

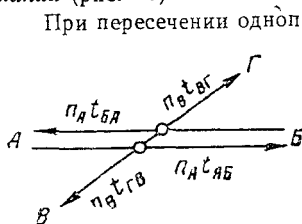


Рис. 7

поездами двухпутной линии при парном графике можно считать равным $\frac{t_{\max} + (t_{AB} + t_{BA})}{2}$ мин; тогда процент занятости пересечения, или что то же, вероятность задержки поездов однопутной линии, составит

$$\frac{n_A (t_{\max} + t_{AB} + t_{BA})}{2 \cdot 1 \cdot 440}.$$

Среднее время задержки каждого поезда однопутной линии составит $\frac{(t_{AB} + t_{BA}) + 0}{2} = \frac{t_{AB} + t_{BA}}{2}$, а число задержанных поездов — $2n_B$, ум-

ноженное на вероятность задержки. Тогда общее время задержки поездов однопутной линии составит

$$\frac{n_A n_B (t_{\max} + t_{AB} + t_{BA}) (t_{AB} + t_{BA})}{2 \cdot 1440} \text{ мин}$$

Определим теперь задержку поездов двухпутной линии. Вероятность задержки поездов двухпутной линии поездами направления $B\Gamma$ равна $\frac{n_B t_{B\Gamma}}{1440}$, среднее время задержки $\frac{t_{B\Gamma}}{2}$ и число задержанных поездов $-2n_A \times$

$\times \left(\frac{n_B t_{B\Gamma}}{1440} \right)$. Отсюда общее время задержки поездов двухпутной линии

поездами только направления $B\Gamma$ составит $\frac{n_A n_B t_{B\Gamma}^2}{1440}$; поездами направле-

ния ΓB соответственно $\frac{n_A n_B t_{\Gamma B}^2}{1440}$, а теми и другими —

$$\frac{n_A n_B (t_{B\Gamma}^2 + t_{\Gamma B}^2)}{1440}.$$

Складывая теперь общее время задержек поездов однопутной и двухпутной линий, получим

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B (t_{\max} + t_{AB} + t_{BA}) (t_{AB} + t_{BA})}{2 \cdot 1440} + \frac{n_A n_B (t_{B\Gamma}^2 + t_{\Gamma B}^2)}{1440},$$

или

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B [(t_{\max} + t_{AB} + t_{BA}) (t_{AB} + t_{BA}) + 2 (t_{B\Gamma}^2 + t_{\Gamma B}^2)]}{2 \cdot 1440} \text{ мин. (5)}$$

В частном случае при

$$t_{AB} = t_{BA} = t_A$$

и

$$t_{B\Gamma} = t_{\Gamma B} = t_B$$

формула (5) примет вид

$$T_{\text{зд}} = \frac{n_A n_B (3t_A^2 + 2t_B^2)}{1440} \text{ мин. (6)}$$

7-й случай. Примыкание однопутной линии к двухпутной (рис 8)

В точке примыкания D , во-первых, имеет место пересечение маршрутов движения поездов из A на B и из B на B и, во-вторых, слияние маршрутов движения из A и B на B . Время задержки поездов при пересечении маршрутов определяется по аналогии с первым случаем и составляет

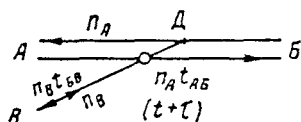


Рис. 8

$$\frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BD}^2)}{2 \cdot 1440}.$$

Время задержки поездов при слиянии подходов от A и B , аналогично второму случаю, составит $\frac{n_A n_B (t + \tau)^2}{1440}$ или при автоблокировке $\frac{n_A n_B l^2}{1440}$.

Суммируя время задержек при пересечении и слиянии маршрутов, получим общее суточное время задержек поездов в пункте примыкания однопутной линии к двухпутной:

а) при полуавтоматической блокировке

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B [t_{AB}^2 + t_{BB}^2 + 2(t + \tau)^2]}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (7)$$

б) при автоблокировке

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BB}^2 + 2l^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (8)$$

Если время хода по перегону ДБ для поездов n_A и n_B различно и равно соответственно t_A и t_B , то формула (7) принимает вид:

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B [t_{AB}^2 + t_{BB}^2 + (t_A + \tau)^2 + (t_B + \tau)^2]}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (7a)$$

Наконец, если время занятия маршрута слияния поездами от А и В больше интервала попутного следования этих поездов по перегону ДБ, т. е. $t_{AB} > l < t_{BB}$, то формула (8) примет вид

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (2t_{AB}^2 + t_{BB}^2 + t_{BB}^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (8a)$$

Нетрудно заметить, что эта последняя формула аналогична формуле определения задержек в 3-м случае

8-й случай. *Примыкание однопутной линии к двухпутной в горловине раздельного пункта с путевым развитием* (рис. 9)

При осуществлении примыкания к горловине раздельного пункта с путевым развитием обычно появляется возможность обеспечить одновременный прием поездов из А и В. Тогда остаются только задержки поездов в точке пересечения маршрутов движения из А на Б и из Б на В, и время задержек выразится аналогично первому случаю формулой

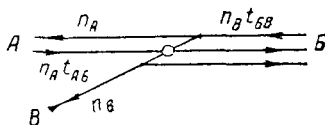


Рис. 9

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (t_{AB}^2 + t_{BB}^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (1a)$$

Если в дальнейшем (в противоположной горловине станции) раздельные пути приема от А и В сливаются в один главный путь, то общую задержку поездов следует определять по формулам предыдущего 7-го случая.

9-й случай. *Примыкание двухпутной линии к двухпутной* (рис. 10).

Очевидно, что в этом случае так же, как и в 7-м, время вероятных задержек поездов следует определять по формулам (7), (7a), (8) и (8a).

10-й случай. *Примыкание двухпутной линии к двухпутной, но при обеспечении раздельных путей подхода от А и В* (рис. 11).

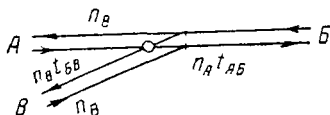


Рис. 10

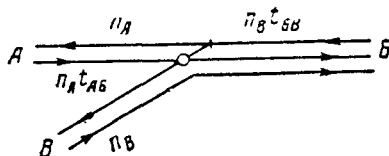


Рис. 11

Как видно из схемы, случай аналогичен 1-му и 8-му. Время задержки поездов определяется по формуле (1a).

11-й случай. Пункт перехода от двух однопутных линий к двухпутному перегону (рис 12).

Из схемы видно, что в точке a происходит пересечение маршрутов движения поездов из A на B с маршрутами следования поездов из B на B , а в точке b — слияние маршрутов из A и B на B , т. е. случай аналогичен 7-му. В соответствии с обозначениями на рис 12 можно написать

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (t_1^2 + t_2^2 + 2I^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.},$$

где I — интервал попутного следования поездов по двухпутному перегону. При полуавтоматической блокировке $I = t + \tau$.

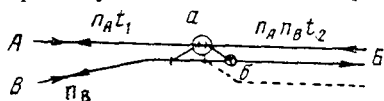


Рис. 12

Чаще всего пункт перехода от однопутных линий к двухпутному перегону устраивается на предузловой станции, при этом обеспечивается возможность одновременного приема поездов из A и B , как показано на рис 12 пунктиром. Однако третий путь вливается в противоположной горловине станции в главный путь направления на B и задержки поездов от A и B в точке слияния маршрутов их пропуска через предузловую станцию останутся прежними и должны учитываться. Общее время задержки поездов в этом случае составит

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B (t_{пр}^2 + t_{от}^2 + 2I^2)}{2 \cdot 1440} \text{ мин.}, \quad (9)$$

где $t_{пр}$ и $t_{от}$ — соответственно время занятия пересечения прибывающими на станцию и отправляющимися на A и B поездами.

12-й случай. Шлюз на пересечении двух однопутных линий (рис 13)

При шлюзовом пересечении одна из линий, в данном случае AB , пользуется преимуществом в движении поездов и задерживаются лишь поезда линии $BГ$. Расчетных точек здесь две a и b .

Вероятность задержки поездов направления $BГ$ поездами AB в точке b составит

$$\frac{n_A t_{AB}}{1440},$$

среднее время задержки каждого поезда

$$\frac{t_{бГ} + t_{AB}}{2},$$

а общее время задержки

$$\frac{n_A n_B t_{AB} (t_{AB} + t_{бГ})}{2 \cdot 1440}.$$

Общее время задержки поездов направления $BГ$, но уже поездами направления $БА$ равно

$$\frac{n_A n_B t_{БА} (t_{БА} + t_{бГ})}{2 \cdot 1440}.$$

Вероятность задержки поездов направления $ГВ$ поездами AB в точке a составляет

$$\frac{n_A t_{AB}}{1440},$$

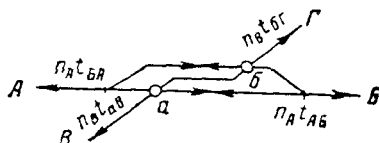


Рис. 13

среднее время задержки одного поезда

$$\frac{t_{aB} + t_{AB}}{2}$$

и общее время задержки

$$\frac{n_A n_B t_{AB} (t_{AB} + t_{aB})}{2 \cdot 1440},$$

а поездами направления БА соответственно

$$\frac{n_A n_B t_{BA} (t_{BA} + t_{aB})}{2 \cdot 1440}.$$

Суммируя время задержек поездов по каждому из направлений линии ВГ, получим

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B [t_{AB} (2t_{AB} + t_{бГ} + t_{aB}) + t_{BA} (2t_{BA} + t_{бГ} + t_{aB})]}{2 \cdot 1440} \text{ мин.} \quad (10)$$

Если принять $t_{бГ} = t_{aB} = t_{от}$, то

$$T_{зд} = \frac{n_A n_B [t_{AB} (t_{AB} + t_{от}) + t_{BA} (t_{BA} + t_{от})]}{1440} \text{ мин.} \quad (10a)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Земблинов. Большие узлы. Труды МИИТ, вып. XVI, М., ОГИЗ — Гострансиздат, 1931.
 2. С. В. Земблинов [и др.] Основы построения транспортных узлов. М., Трансжелдориздат, 1959.
 3. А. М. Корнаков. Развязки железнодорожных линий в узлах. «Железнодорожное строительство», 1951, № 7.
 4. А. М. Корнаков. Посты-шлюзы и их пропускная способность. «Техника железных дорог», 1952, № 11.
 5. А. М. Корнаков. Пропускная способность путепроводных развязок железнодорожных линий на подходах к узлам. «Техника железных дорог», 1953, № 3.
 6. А. М. Корнаков. Объединение парков присаи отправления на односторонних сортировочных станциях «Транспортное строительство», 1959, № 3.
 7. А. М. Корнаков. О наивыгоднейшей величине угла пересечения путей в путепроводных развязках. «Транспортное строительство», 1959, № 6.
 8. В. Д. Никитин. Метод построения схем железнодорожных станций. Труды МИИТ, вып. XXI М., ОГИЗ — Гострансиздат, 1932.
 9. В. Н. Образцов. Техника проектирования узлов. Труды МИИТ, вып. V, М., 1927.
 10. В. Н. Образцов. Тоннельные путепроводы при проектировании узлов и станций. Труды МИИТ, вып. II, М., 1926.
 11. Б. Э. Пейсахзон. Расчеты потребной пропускной способности железных дорог. «Вестник ЦНИИ», 1960, № 6.
 12. И. Е. Савченко, К. Ю. Скалов. Развитие железнодорожных станций и узлов. М., Трансжелдориздат, 1960.
 13. Б. Д. Штанге. О стандартизации в развитии станций. «Техника железных дорог», 1948, № 4.
 14. Б. Д. Штанге. Потери от задержек на пересечениях в одном уровне. «Бюллетень Союзтранспроекта», 1949, № 2.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

От автора	Стр. 3
---------------------	-----------

Г л а в а I

Развязки пересечений в одном уровне, шлюзовые пересечения и их пропускная способность

Общие понятия о развязке пересечений	5
Пропускная способность пересечений	6
Пересечение двух однопутных линий на перегоне	9
Пересечение двух подходов железнодорожных линий при движении поездов по каждому из них только в одну сторону	14
Пересечение однопутной линии с двухпутной	21
Пересечение двух двухпутных линий	23
Упрощение расчетных формул пропускной способности пересечений	23
Пересечения на постах-шлюзах	25
Шлюз на пересечении двух однопутных линий	26
Шлюз на пересечении однопутной линии с двухпутной	28
Принцип безостановочного шлюзования поездов	33

Г л а в а II

Развязки пересечений в разных уровнях.

Теория пересечений и развязки подходов, применение ее к анализу и выбору схем развязок в узлах различного типа

Общие понятия о развязке в разных уровнях	41
Теория пересечений и развязки подходов	41
Развязки по линиям	48
Развязки по направлениям движения	50
Условия взаимной корреспонденции поездопотоков в развязках по линиям и по направлениям движения	54
Развязки по роду движения	57
А. Развязки в узлах с параллельным расположением специализированных станций	57
Б. Развязки в узлах с последовательным расположением специализированных станций	63
В. Частные случаи решения развязок	67
Развязки в узлах треугольного и треугольно-кольцевого типа	71
Развязки крестообразных узлов	76
Развязки узлов кольцевых и комбинированного типа	82
Основные выводы	84

Г л а в а III

План и профиль путей в развязках. Выбор оптимального угла пересечения путей

План путей	88
Продольный профиль	92
Угол пересечения путей в развязках	96

	Стр.
Зависимость строительных расходов от угла пересечения путей . . .	97
Эксплуатационные затраты и выбор оптимального угла пересечения .	103
Влияние направления трассы линии на величину оптимального угла .	106
Величина оптимального угла в сложных случаях путепроводного пересечения	111
Относительная устойчивость величины оптимального угла при изменении других факторов	113
Ограничения в выборе оптимального угла по условиям профиля подходов	115
Путепроводы для пересечений с оптимальными углами	118
Основные выводы	122

Глава IV

Пропускная способность путепроводных развязок

Зависимость пропускной способности от схемы развязки	123
Расчет пропускной способности по ограничивающим элементам . . .	123
Размеры пропускной способности развязок	130

Глава V

Критерии перехода от развязок в одном уровне к путепроводным развязкам. Методика сравнения вариантов развязок

Пропускная способность и экономическая целесообразность перехода к путепроводным развязкам	134
Методика сравнения вариантов развязок	137
Подсчет экономической целесообразности сооружения путепроводных развязок	141

<i>Приложение</i> Влияние задержек при одновременном подходе поездов на пропускную способность пересечения в одном уровне	144
---	-----



Анатолий Михайлович Корнаков

РАЗВЯЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ В УЗЛАХ

Обложка художника *А М Азерского*

Технический редактор *Л Ф Воротникова*

Корректор *В С Чеснокова*

Сдано в набор 14/III 1962 г

Подписано к печати 23/V 1962 г

Формат бумаги 60 × 90¹/₁₆ Печатных листов 9³/₄.

бум листов 4³/₈, учетно изд листов 9,57 Тираж 3000

Т07025 ЖДИЗ 44314 Зак тип 193

Цена 48 коп Переплет 10 коп

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва, Басманный туп, 6а

1 я типография Трансжелдориздата МПС

Москва, Б Переяславская, 46