

МПС—СССР  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

Кандидат технических наук доцент  
Н. И. ФЕДОТОВ

*На правах рукописи*

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНЦИЙ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК • 1967

**Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу:**

**Днепропетровск, 10, Университетская, 2, Институт инженеров железнодорожного транспорта.**

**Публичная защита диссертации состоится на заседании ученого совета** **1967 г.**

МПС—СССР

Днепропетровский институт  
инженеров железнодорожного транспорта

---

---

Кандидат технических наук доцент  
Н. И. ФЕДОТОВ

*На правах рукописи*

Проектирование  
и организация работы станций  
при неравномерном движении поездов

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК 1967

Работа выполнена в Новосибирском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Основные теоретические положения проверялись на станциях Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской, Свердловской, Южно-Уральской, Казахской и других железных дорог СССР.

Осуществление поставленных XXIII съездом КПСС важнейших задач развития народного хозяйства нашей страны приведет к дальнейшему увеличению грузооборота железнодорожного транспорта.

Рост объема перевозок и развитие сети железных дорог сопровождаются усилением колебаний размеров движения поездов и их воздействия на работу участков, грузовых, сортировочных и других станций.

Колебания объема перевозок были известны давно и рассматривались в работах А. Н. Фролова, С. Д. Карейши, И. И. Васильева, В. Д. Никитина, С. В. Земблинова, А. Д. Каретникова, А. К. Угрюмова, А. И. Платонова, И. Г. Тихомирова, Н. Н. Баркова, С. А. Пономарева, Ф. У. Грушевского, Г. Поттхоффа, Р. Клайна и других ученых.

Исследования последних лет подтвердили устойчивость колебаний вагонопотоков, выявили отдельные закономерности колебаний и их влияния на работу различных устройств транспорта. Но проблема проектирования и организации работы станций при неравномерном движении поездов, приобретающая в условиях постоянного роста грузонапряженности и колебаний объема перевозок исключительно большое значение, до сих пор еще не решена.

Для решения этой проблемы в диссертации рассмотрены следующие вопросы:

- 1) колебания объема работы станций и их воздействие на процессы пропуска и обработки поездов и вагонов;
- 2) экономическое обоснование мощности путевого развития сортировочных, грузовых и других устройств станций;
- 3) оптимальные режимы работы станций и прилегающих участков при неравномерном движении поездов.

Исследование различных станционных процессов при случайных колебаниях входящего и выходящего потока поездов и вагонов выполнено методами теории вероятностей и массо-

вого обслуживания с применением современной вычислительной техники.

Основные теоретические положения диссертации проверялись на станциях дорог Урала, Сибири, Казахстана, Дальнего Востока и других районов страны.

Диссертация состоит из введения, в котором приводится краткий обзор исследований по рассматриваемым вопросам, и девяти глав.

В первой главе рассматриваются колебания объема работы станций.

Неравномерная работа транспорта начинается с погрузки и выгрузки вагонов на отдельных грузовых пунктах и станциях. Небольшие колебания погрузки и выгрузки вагонов, складываясь, могут усиливаться, вызывая колебания вагонопотоков по отдельным периодам суток, суткам и месяцам.

Анализ разнообразных причин, вызывающих неравномерную работу транспорта, показал, что колебания объема перевозок тесно связаны с процессом производства и движения грузов и являются постоянными, обычными условиями работы транспорта. Поэтому работу всех устройств транспорта необходимо рассматривать при постоянных колебаниях и изменениях объема перевозок.

Все факторы, вызывающие колебания погрузки, выгрузки вагонов и размеров движения поездов, действуют в различных направлениях на всех станциях и участках железнодорожной сети. Число этих факторов настолько велико, что результат их взаимодействия — колебания объема работы станции — можно рассматривать как случайные величины и исследовать их методами теории вероятностей.

Обследование колебаний погрузки и выгрузки вагонов на большом количестве грузовых пунктов с различным объемом работы показало, что частота колебаний соответствует нормальному или пуассоновскому закону распределения случайных величин. Стандартное отклонение зависит от мощности грузовых пунктов, объема работы и для отдельных грузовых пунктов равно

$$\sigma_i = \sqrt{r \lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{a}\right)}, \quad (1)$$

а для станции

$$\sigma_{ст} = \sqrt{\sum_1^n \sigma_i^2}, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  — среднее число вагонов какого-либо вида, которые грузятся или выгружаются на грузовом пункте за период  $T$ ;

$a$  — наибольшее число вагонов, которые могут быть погружены или выгружены на грузовом пункте за период  $T$ ;

$r$  — среднее число вагонов в группах.

При небольшом объеме работы, когда  $\lambda_i < 4$  вагонов и  $a > (3-4)\lambda_i$ , распределение колебаний погрузки и выгрузки вагонов соответствует закону Пуассона.

Неравномерная погрузка и выгрузка вагонов приводит к колебаниям размеров движения поездов по отдельным периодам суток и суткам. Частота этих колебаний, как показали исследования, соответствует биномиальному закону распределения, которое, при достаточно больших размерах движения, можно заменить нормальным, а при небольших размерах движения на участках с большой пропускной способностью — распределением Пуассона.

Параметры распределения колебаний зависят от размеров движения, пропускной способности примыкающих линий и определяются по формулам:

$$\lambda_i = \frac{n_i}{24} T; \quad (3)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{a}\right)}, \quad (4)$$

при  $a = \frac{N}{24} T;$

где  $\lambda_i, a$  — среднее и наибольшее число поездов какого-либо вида за период  $T$ ;

$n_i$  — среднее число поездов соответствующего вида за сутки;

$N$  — пропускная способность примыкающих к станции участков.

Неравномерное прибытие поездов на станции и колебания числа вагонов различных назначений в составах приводят к колебаниям накопления вагонов и составов в сортировочном парке. Частота этих колебаний также соответствует биномиальному распределению, которое можно заменить распределением Пуассона и определять вероятность прибытия в составе или накопления за период  $T$   $B$  вагонов какого-либо назначения по формуле:

$$P_B = \frac{\lambda_i k}{\kappa!} e^{-\lambda_i} \left[ 1 + \frac{B - kr_c}{r_c} \frac{\lambda_i - k - 1}{k + 1} \right], \quad (5)$$

где  $\lambda_i$  — среднее число отцепов какого-либо назначения в составах или число поездов, с которыми прибывают вагоны данного назначения за период  $T$ ;

$r_c$  — среднее число вагонов какого-либо назначения в отцепках или прибывающих составах.

Величина  $k = \left[ \frac{B}{r_c} \right]$  представляет целое число отцепов в со-

ставах или групп средней величины, прибывающих с каждым составом.

Обследование прибытия, отправления поездов и накопления вагонов на станциях за различные периоды времени показало, что теоретическое распределение соответствует фактическому распределению колебаний размеров движения, накопления вагонов и составов.

Во второй главе рассматриваются простои поездов и локомотивов на станциях при колебаниях размеров движения.

При разработке графика движения моменты прибытия и отправления поездов увязываются так, чтобы простой поездов и локомотивов на станциях был наименьшим. Но обгоны грузовых поездов пассажирскими, колебания размеров движения и различные отклонения от графика приводят к нарушению этой связи и увеличению простоя поездов и локомотивов.

Возникающие из-за случайных колебаний размеров движения дополнительные простои поездов и локомотивов являются также случайными величинами и могут рассчитываться методами теории вероятностей.

Дополнительный простой транзитных поездов зависит от пропускной способности линии  $N$ , размеров движения  $n_i$  распределения прибытия и отправления поездов по отдельным периодам суток и может определяться по формуле:

$$t_a = \frac{720}{N} \frac{N - n_i}{n_i} (\lambda_c + 1) \quad (6)$$

Среднее число поездов на станции на какой-либо момент времени

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{i=a''-1} P_i'' \sum_{k=1}^{k=a'-i} \kappa P'_{i+k} - \sum_{i=0}^{i=a''-m-1} P_i'' \sum_{k=1}^{k=a'-m-i} \kappa P'_{m+i+k}, \quad (7)$$

где  $a', a''$  — наибольшее число поездов, которые могут прибывать или отправляться на соответствующую линию за период  $T$ ;

$P_i' P_j''$  — вероятности прибытия  $i$  и отправления  $j$  поездов за период  $T$ ;

$m$  — число путей на станции для приема поездов соответствующего направления.

Каждая из сумм в выражении (7) определяется по таблицам, рассчитанным на электронно-вычислительной машине.

Анализ зависимости дополнительного простоя транзитных поездов от путевого развития станций с различным объемом работы и пропускной способностью примыкающих участков показал, что число приемо-отправочных путей оказывает небольшое влияние на величину  $t_d$ . Поэтому дополнительный простой транзитных поездов каждого направления приближенно можно определить по формуле

$$t_d = \frac{1440}{N} \frac{N - n_i}{n_i} (1 + 0,04m) \quad (8)$$

Средний простой транзитных поездов на узловых станциях

$$t_d = \frac{\sum t_{dj} n_{ij}}{\sum n_{ij}} \quad (9)$$

где  $t_{dj}$  — дополнительный простой поездов каждого направления;

$n_{ij}$  — число транзитных поездов, отправляемых на каждое направление за сутки.

На сортировочных станциях, когда минимальные интервалы прибытия разборочных поездов  $I_n'$  меньше интервалов их расформирования  $I_p$  возникают простои поездов в ожидании расформирования. Среднее время простоя равно:

$$t_d = 0,125 (I_p - I_n') P_l \left[ \lambda_r - 1 - \frac{a'}{2(m+a')} \sum_{i=2}^{i=a'-m} i P'_{m+i} \right] \quad (10)$$

Сумму  $\sum i P'_{m+i}$  можно определять по таблицам, рассчитанным на электронно-вычислительной машине. Для достаточно больших значений  $a'$  дополнительный простой разборочных поездов приближенно равен

$$t_d = 0,125 (I_p - I_n') (\lambda_r + m - 2) P_l \quad (11)$$

Наибольшие размахи колебаний размеров движения происходят за период

$$T = 24 \left( 1 - \frac{\sum n_{ni} + \sum n_{pi}}{\sum N_i} \right), \quad (12)$$

где  $\sum n_{ni}$  и  $\sum n_{pi}$  — среднее число пассажирских и разборочных поездов, принимаемых станцией примаыкающих направлений за сутки;

$\sum N_i$  — общая пропускная способность примаыкающих линий.

Наибольшее ( $\alpha'$ ) и среднее ( $\lambda_\tau$ ) число разборочных поездов, принимаемых за период  $T$ , равны:

$$\alpha' = \frac{\sum N_i}{24} T \quad (13) \quad \lambda_\tau = \sum n_{pi} \left( 1 - \frac{\sum n_{ni} + \sum n_{pi}}{\sum N_i} \right) \quad (14)$$

При нормальном распределении колебаний размеров движения вероятность прибытия поездов с интервалами  $I_n < I_p$

$$P_I = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{0 - I_{nc}}{\sigma}}^{\frac{I_p - I_{nc}}{\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}} du; \quad (15)$$

или

$$P_I = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{I_{nc} - I_p}{\sigma} \right) \right]; \quad (16)$$

при

$$u = \frac{I_n - I_{nc}}{\sigma} \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{I_{nc} - I_{n'}}{3} \quad (17)$$

Средние интервалы прибытия поездов  $I_{nc}$  определяются по размерам движения, а значение  $\Phi(u)$  — по таблицам функции Лапласа.

При неравномерном накоплении вагонов отдельных назначений в сортировочном парке возникают простои составов в ожидании формирования. Сортировочный парк и маневровые локомотивы можно рассматривать как многоканальную систему массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком составов и определять среднее время ожидания формирования по формуле:

$$t_{o\phi} = \frac{(i \alpha_n)^i t_\phi}{(i+1)! (1-\alpha_n)^2 \left[ \sum_{k=0}^{k=i} \frac{(i \alpha_n)^k}{k!} + \frac{(i \alpha_n)^{i+1}}{i! (1-\alpha_n)} \right]} \quad (18)$$

где  $i$  — число маневровых локомотивов, работающих на вы-  
тяжках в сортировочном парке;

$\alpha_n$  — коэффициент использования маневровых локомо-  
тивов;

$t_\phi$  — среднее время, затрачиваемое локомотивом на фор-  
мирование и выставку одного состава.

Анализ зависимости  $t_{оф} = f(i, \alpha_n, t_\phi)$  показал, что при уве-  
личении  $\alpha_n$  и  $t_\phi$  время ожидания формирования возрастает. Особенно резко возрастает величина  $t_{оф}$  для рекомендуемых  
в настоящее время значений  $\alpha_n = 0,8 - 0,9$ , достигая на от-  
дельных станциях 1,5—2 часов на состав. При увеличении  
числа маневровых локомотивов время ожидания формирова-  
ния для одних и тех же значений  $\alpha_n$  и  $t_\phi$  уменьшается.

Сформированные на станции поезда выставляются в парк  
отправления и после соответствующей подготовки могут быть  
отправлены по первой нитке графика. Но моменты окончания  
всех операций по технологическому процессу не совпадают с  
с моментами отправления поездов, так как накопление ваго-  
нов каждого назначения является случайным процессом, не-  
зависимым от графика отправления поездов. Поэтому возни-  
кающий из-за случайных колебаний размеров движения до-  
полнительный простой поездов в парке отправления, опреде-  
ляемый по формуле (6), увеличивается в среднем на  $0,5 I_0$ .

Обследования простоя поездов и локомотивов на станциях  
с различным объемом работы показали, что отклонения рас-  
считанного по предлагаемым формулам дополнительного про-  
стоя поездов от фактического не превышают 6%, что допусти-  
мо при решении различных вопросов проектирования и орга-  
низации работы станций.

Дополнительные простои поездов и локомотивов, вызы-  
ваемые колебаниями размеров движения и накопления ваго-  
нов на станциях, приводят к задержкам в продвижении гру-  
зов, увеличению парка вагонов и локомотивов, путевого раз-  
вития станций и увеличению эксплуатационных расходов на  
содержание подвижного состава и путей. Поэтому сокраще-  
ние простоя поездов и локомотивов на станциях имеет исклю-  
чительно большое значение не только для ж.-д. транспорта,  
но и для всего хозяйства страны.

Сокращение простоя поездов и локомотивов на станциях  
возможно путем уменьшения числа ниток графика для про-  
пуска поездов соответствующего вида, увеличения парка ло-  
комотивов, уменьшения периода колебаний размеров движе-  
ния, усиления мощности сортировочных устройств, увеличе-

ния числа маневровых локомотивов и другими способами. В диссертации рассмотрены условия применения и экономическая эффективность различных способов сокращения простоя поездов и локомотивов на станциях.

При уменьшении числа ниток графика для пропуска поездов какого либо вида сокращается дополнительный простой на станциях перецепки локомотивов по пути движения поездов, но возрастает время ожидания на головной станции. Поэтому сокращение числа ниток графика может быть эффективным для поездов, которые проходят несколько участковых или сортировочных станций.

Оптимальное число ниток в графике движения для пропуска грузовых поездов какого-либо вида при колебаниях размеров движения необходимо определить путем экономического сравнения возможных вариантов с учетом эксплуатационных расходов по простоям поездов и локомотивов на всех станциях и дополнительных затрат на путевое развитие головных станций.

При увеличении числа локомотивов, обслуживающих движение на примыкающих к станциям участках, сокращаются дополнительные простои поездов, но возрастают резервные пробеги локомотивов.

Оптимальное число локомотивов необходимо определять также путем сравнения возможных вариантов с учетом эксплуатационных расходов по простоям поездов и локомотивов и затрат на приобретение локомотивов.

При увеличении мощности горки сокращаются интервалы между роспуском составов и простоям поездов в парках приема, но возрастают затраты на развитие сортировочных устройств и маневровые локомотивы. Поэтому оптимальная мощность сортировочных устройств и парка приема, а также оптимальный режим их работы необходимо определять по приведенным годовым расходам.

При увеличении числа маневровых локомотивов возрастают затраты на их приобретение и содержание, но сокращаются эксплуатационные расходы по простоям составов в ожидании формирования и выставки в парк отправления. Оптимальное число маневровых локомотивов определяется по общим расходам на формирование поездов на станции.

В третьей главе рассматриваются задержки поездов на подходах к станциям.

При колебаниях размеров движения приемо-отправочные паркы на станциях используются неравномерно в течение су-

ток, и в отдельные периоды поезда останавливаются на промежуточных станциях участков в ожидании освобождения пути приема на участковой или сортировочной станции. Количество задержанных поездов и время их простоя зависят от случайных колебаний размеров движения и являются также случайными величинами.

Среднее число транзитных поездов, задержанных на подходах к станции за период колебаний  $T$

$$K_3 = \sum_{l=0}^{l=a''-d-1} P_1'' \sum_{k=1}^{k=a'-d-l} k P'_{d+i+k}, \quad (19)$$

за сутки

$$K_{3c} = \frac{24}{T} K_3,$$

а за год

$$K_{3г} = \frac{8760}{T} K_3; \quad (20)$$

где  $d$  — число свободных путей на станции для приема поездов соответствующего направления.

Величина  $K_3$  определяется по таблицам, рассчитанным на электронно-вычислительной машине.

Простой поездов, задержанных на подходах, складывается из времени ожидания освобождения пути  $t_{он}$  времени ожидания свободной нитки графика  $t_{он}$  и равен

$$t_3 = t_{он} + t_{он} + 0,5 \Delta t K_3 \left( 1 - \frac{1}{\lambda_T} \right), \quad (21)$$

Величина  $\Delta t = t_{он}$  при  $t_{он} > t_{он}$  или  $\Delta t = t_{он}$  при  $t_{он} < t_{он}$ .

Время ожидания освобождения пути и свободной нитки графика зависит от размеров движения  $n_i$  пропускной способности участка  $N$  и может рассчитываться по следующим формулам:

$$t_{он} = \frac{1440}{N} \frac{N - n_i}{n_i} \quad (22)$$

$$t_{он} = \frac{1440}{N} \frac{\sum n_{ij}}{N - \sum n_{ij}}. \quad (23)$$

Для узловых станций среднее время ожидания освобождения пути

$$t_{он} = \frac{1440}{\sum N_j} \frac{\sum N_j - \sum n_{ij}}{\sum n_{ij}}, \quad (24)$$

а среднее время ожидания свободной нитки графика

$$t_{\text{он}} = \frac{\sum t_{\text{он}j} n_j}{\sum n_j}. \quad (25)$$

Задержки разборочных поездов на подходах к сортировочным станциям могут возникать в тех случаях, когда интервалы прибытия поездов  $I_n$  меньше интервалов их расформирования  $I_p$ .

Наибольшее число поездов  $d$ , которые станция может принять с минимальными интервалами прибытия  $I_n'$  без задержек на подходах, складывается из числа свободных путей  $(m - m_3)$  на какой-либо момент времени, числа составов, которые могут быть расформированы за период  $dI_n'$ , и равно

$$d = (m - m_3) \frac{I_p}{I_p - I_n'}. \quad (26)$$

Среднее число поездов, задержанных на подходах к станции за период  $T$ , равно

$$K_3 = P_T \sum_{k=1}^{k=a'-d} k P'_{d+k} \quad (27)$$

Сумма  $\sum k P'_{d+k}$  определяется по таблицам, рассчитанным на электронно-вычислительной машине, а вероятность  $P_T$  прибытия поездов с интервалами  $I_n > I_p$  — по таблицам нормального распределения.

Время простоя задержанных поездов определяется по формуле (21) при  $t_{\text{он}} = I_p$ .

Обследования возникающих при колебаниях размеров движения задержек поездов на подходах к участковым и сортировочным станциям с различным объемом работы показали, что отклонение расчетных величин  $K_{3r}$  от фактических не превышает 4—5%, что допустимо при решении вопросов проектирования и организации работы станций.

Остановки и простой поездов на промежуточных станциях в ожидании освобождения приемо-отправочных путей на ближайшей участковой или сортировочной станции нарушают нормальную работу участков, замедляют продвижение грузов и вагонов, приводят к увеличению локомотивного парка, числа локомотивных бригад и повышению эксплуатационных расходов. Поэтому сокращение и полное устранение задержек поездов на подходах к станциям является одной из важнейших задач ж.-д. транспорта.

Сокращение задержек поездов на подходах возможно путем увеличения числа приемо-отправочных путей и изменения их специализации, уменьшения периода колебаний и числа ниток графика, по которым пропускаются поезда соответствующего вида, усиления мощности сортировочных устройств и другими способами. В диссертации рассматриваются условия применения и экономическая эффективность различных способов сокращения задержек поездов на подходах.

Приемо-отправочные паркы и пути на станциях обычно специализируются по видам и направлениям движения поездов, что уменьшает число враждебных пересечений маршрутов при приеме, отправлении поездов, подаче и уборке локомотивов. Но в периоды сгущенного движения, когда поезда одного направления начинают останавливаться на подходах, целесообразно отказаться от жесткой специализации и использовать свободные приемо-отправочные пути других парков.

При приеме поездов на неспециализированные пути увеличивается загрузка горловин и пробеги поездных локомотивов, но общая экономия эксплуатационных расходов от сокращения задержек поездов в несколько раз превышает небольшое увеличение затрат на пробеги поездов и локомотивов внутри станции. При проектировании новых и реконструкции существующих станций возможность изменения специализации путей должна обеспечиваться конструкцией горловин и устройствами СЦБ.

При уменьшении числа ниток графика для пропуска разборочных поездов колебания размеров движения принимаются парками приема сортировочных и ближайших участковых станций. Совместное использование путевого развития нескольких станций позволяет пропускать без задержек на подходах большие потоки поездов.

В отдельные периоды поезда на подходах к сортировочным станциям останавливаются из-за замедления темпов расформирования составов или заполнения путей сортировочного парка. В диссертации рассматриваются пути повышения мощности сортировочных устройств, сокращения повторной сортировки вагонов и времени простоя составов в сортировочных парках.

В четвертой главе рассматривается расчет путевого развития станций.

По применяемой в настоящее время методике путевого

развитие рассчитывается при равномерной работе станций, когда количество принимаемых и отправляемых поездов в любой период времени одинаково. При таком упрощении условий работы станций число приемо-отправочных путей определяется по соотношению периодов занятия путей и интервалов прибытия между поездами.

При колебаниях размеров движения число принимаемых и отправляемых поездов по отдельным периодам суток неодинаково, и недостаточное путевое развитие приводит к остановкам и задержкам поездов на подходах. При увеличении количества приемо-отправочных путей сокращаются задержки поездов на подходах, но возрастают затраты на строительство и содержание приемо-отправочных путей. Поэтому расчет числа приемо-отправочных путей на станциях в условиях неравномерного прибытия и отправления поездов сводится к технико-экономическому сравнению вариантов путевого развития.

Минимальное число путей в приемо-отправочных парках участковых и парках отправления сортировочных станций зависит от времени занятия пути поездом по технологическому процессу  $t_{нт}$  средних интервалов прибытия поездов  $I_{ис}$  соотношения размеров движения  $n_i$  и пропускной способности  $N$  примыкающих участков и равно

$$m_{\min} = \frac{t_{нт}}{I_{ис}} + \frac{N - n_i}{N} \quad (28)$$

Минимальное число путей в парках приема зависит от минимальных интервалов прибытия разборочных поездов  $I_n'$ , интервалов их расформирования  $I_p$  общего количества разборочных  $\Sigma n_{pn}$  и пассажирских  $\Sigma n_n$  поездов на примыкающих участках и может определяться по формуле

$$m_{\min} = \frac{t_{нт}}{I_{ис}} + \frac{0.435 \cdot 10^{-4} (\Sigma n_{pn})^2 (I_p - I_n')^2}{I_{ис} - I_n'} \left( 1 - \frac{\Sigma n_{pn} + \Sigma n_n}{\Sigma N} \right). \quad (29)$$

Максимальное число путей равно наибольшему числу поездов соответствующего вида, которые могут прибывать на станцию за период колебаний  $T$ .

В диссертации приведены формулы для подсчета затрат на строительство путей и расходов, связанных с задержкой поездов на подходах. Оптимальный вариант определяется по наименьшим приведенным годовым расходам.

Количество путей при расчете по предлагаемому методу больше, чем по применяемым в настоящее время способам. Но дополнительные затраты на увеличение путевого разви-

тия, как показали расчеты для станций с различным объемом работы, окупаются за 2—4 года.

Сортировочные парки принимают колебания размеров движения поездов на примыкающих линиях и колебания распределения вагонопотоков по отдельным назначениям и направлениям.

После окончания накопления вагонов состав находится еще в сортировочном парке время

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{ф}} + t_{\text{оф}} + t_{\text{ов}}. \quad (30)$$

Время формирования составов  $t_{\text{ф}}$  определяется технологическим процессом работы станций, а время ожидания формирования  $t_{\text{оф}}$  и выставки составов  $t_{\text{ов}}$  зависит от распределения колебаний накопления составов, загрузки маневровых локомотивов и может определяться по приведенным в диссертации формулам.

Для приема вагонов, поступающих за период  $t_{\text{сп}}$  сортировочный парк должен иметь необходимое путевое развитие, которое можно создать удлинением путей, увеличением их количества или совместным увеличением числа и длины путей.

При увеличении длины и числа путей в сортировочном парке можно больше разместить вагонов, поступающих за период  $t_{\text{сп}}$ , и уменьшить объем повторной сортировки вагонов, направленных на неспециализированные пути. Но увеличение емкости сортировочного парка требует дополнительных затрат и вызывает увеличение эксплуатационных расходов на содержание путей и продвижение вагонов (при удлинении) на сортировочных путях. Поэтому оптимальная емкость сортировочного парка должна определяться путем экономического сравнения возможных вариантов.

Суточный объем повторной сортировки вагонов, направляемых на неспециализированные пути, можно рассчитывать по следующим формулам:

при удлинении сортировочных путей

$$B_{\text{nc}} = \sum_{j=1}^{j=k_{\text{н}}} \frac{A_j}{r_{\text{с}j}} \sum_{i=1}^{i=a-d_{\text{в}}} iP_{j(d_{\text{в}}+i)}; \quad (31)$$

при увеличении числа сортировочных путей

$$B_{\text{nc}} = \frac{1}{k_{\text{н}}} \sum_{j=1}^{j=k_{\text{н}}} A_i \sum_{l=1}^{l=a-d} iP_{\text{с}(d+i)}; \quad (32)$$

при увеличении длины и числа сортировочных путей

$$B_{\text{пс}} = \frac{24}{t_{\text{сп}}} \sum_{i=1}^{l=a-d_b} iP_{d_b+i} \sum_{j=1}^{j=a-d} jP_{c(d+j)}; \quad (33)$$

- где  $A_j$ — мощность какого-либо назначения;  
 $r_{cj}$ — среднее число вагонов в формируемых составах для назначения  $j$ ;  
 $k_n$ — общее число назначений в сортировочном парке;  
 $d_b$ — число вагонов, которые можно разместить на сортировочном пути после окончания накопления состава;  
 $d$ — число дополнительных сортировочных путей для накопления вагонов;  
 $P_{j(d_b+i)}$ — вероятность поступления за период  $t_{\text{сп}} (d_b + i)$  вагонов назначения  $j$ ;  
 $P_{c(d+i)}$ — вероятность накопления за период  $t_{\text{сп}} (d + i)$  составов.

Необходимые строительные затраты и эксплуатационные расходы могут определяться по приведенным в диссертации формулам. Оптимальный вариант определяется по наименьшим приведенным годовым расходам.

Анализ расходов для назначений различной мощности показал, что удлинение сортировочных путей для назначений небольшой мощности (до 300 вагонов в сутки) нецелесообразно, так как затраты на строительство пути и расходы по его содержанию и продвижению вагонов больше экономии, полученной от сокращения повторной сортировки вагонов.

Сравнение различных способов создания дополнительной емкости сортировочного парка показало, что при неравномерном распределении вагонов по назначениям различной мощности наиболее выгодным является увеличение числа сортировочных путей. Рекомендуемое Техническими указаниями по проектированию станций и узлов удлинение всех сортировочных путей при колебании мощности назначений приводит к увеличению затрат на строительство и эксплуатацию сортировочных парков.

В пятой главе исследуются колебания маневровой работы на станциях и их влияние на условия расчета и производительность сортировочных устройств.

Неравномерное прибытие поездов и распределение вагонов по отдельным назначениям приводят к большим коле-

баниям объема маневровой работы по отдельным периодам суток и суткам. В зависимости от условий работы станций изменяются распределение веса и длины отцепов.

Обследование веса и длины отцепов в разборочных поездах на сортировочных станциях показали, что основная часть перерабатываемого потока проходит в отцепах из нескольких вагонов различного веса и длины. Поэтому при проектировании и организации работы сортировочных устройств необходимо учитывать неравномерное распределение веса и длины отцепов в прибывающих поездах. Рекомендуются Техническими указаниями по проектированию станций расчетные бегуны весом 30, 50 и 72 т не отражают фактического распределения веса вагонов.

При расформировании составов на сортировочных горках встречаются разнообразные сочетания отцепов, следующих на различные сортировочные пути. В зависимости от длины, сопротивления движению отцепов, места их разделения в стрелочной зоне и дальности пробега в сортировочном парке изменяются необходимые интервалы между отцепами на вершине горки и скорость роспуска составов. Но учет всех этих величин и непрерывное регулирование скорости роспуска каждого отцепа в зависимости от условий работы спусковой части трудно осуществить, так как часть величин (сопротивление движению и др.) можно точно определить только в процессе движения отцепов в стрелочной зоне.

Для упрощения расчетов и регулирования скорости расформирования составов разнообразные условия скатывания отцепов можно разделить на несколько групп.

Так, по условиям разделения отцепов на стрелках подгорочной горловины можно ограничиться двумя значениями скорости:

- а) при разделении отцепов на стрелках пучков;
- б) при разделении отцепов на остальных стрелочных переездах.

По сопротивлению, скорости движения и дальности пробега отцепов скорость роспуска можно определять по наиболее трудным сочетаниям при скатывании отцепов с торможением и без торможения. А разнообразное распределение вагонов различного веса по длине отцепов заменить наиболее трудным распределением груженых и порожних вагонов в отцепах.

При такой группировке всех условий скатывания отцепов скорость расформирования составов на сортировочных гор-

ках можно изменять только в зависимости от длины отцепов и стрелки их разделения. Эти данные легко получить из натуральных и сортировочных листов.

Исследованиями установлено, что при свободном скатывании отцепов наиболее трудным является сочетание П—Х. За плохой бегун (П) для этого сочетания необходимо принимать отцеп с наибольшим сопротивлением движению и гружеными вагонами в хвосте, а за хороший (Х) — отцеп с наименьшим сопротивлением движению и гружеными вагонами в голове.

При скатывании отцепов с торможением наиболее трудным является сочетание Х—П из отцепов;

Х — отцеп с груженными вагонами в хвосте и наименьшим сопротивлением движению, с остановкой в начале сортировочного парка.

П — отцеп с груженными вагонами в голове, следующий с наибольшей допускаемой скоростью движения на расстояние, равное дальности прицельного торможения.

Интервалы  $t_0'$  между отцепами сочетания П—Х определяются условиями перевода первой разделительной стрелки и замедлителя и достигают наименьшего значения при наиболее крутом профиле и наибольшей допускаемой скорости движения отцепов на участке от вершины горки до первой позиции.

Интервалы  $t_0''$  между отцепами сочетания Х—П определяются условиями перевода последней разделительной стрелки. Зависимость интервалов  $t_0''$  для одиночных вагонов от сопротивления движению  $w_n''$  и  $w_x$  плохих и хороших бегунов, высоты  $H_r$  и тормозной характеристики  $\epsilon$  горки может быть выражена формулой:

$$t_0'' = AH_r - BH_r^2 - Cw_n'' - Dw_x - E\epsilon + F \quad (34)$$

Коэффициенты  $A, B, C, D, E, F$  зависят от числа разделительных стрелок, типа стрелочного привода и приведены в диссертации.

Тормозная характеристика горки определяется по мощности и расположению тормозных позиций в стрелочной зоне и равна

$$\epsilon = \sum \gamma_i 2^{n_{Ti}}, \quad (35)$$

где  $\gamma_i$  — отношение мощности соответствующей позиции к мощности тормозных средств по пути следования отцепов;

$n_{Ti}$  — порядковый номер разделительной стрелки, за которой располагается соответствующая позиция.

Изменение интервалов при увеличении длины отцепов можно определять графическим или аналитическим способом по приведенным в диссертации формулам.

Отношение числа отцепов, распускаемых с интервалами  $t_0''$ , общему числу отцепов, называемое коэффициентом скорости, зависит от числа путей в пучках  $m_n$  распределения отцепов по сортировочным путям и может определяться по формуле:

$$\beta_v = (m_n - 1) \frac{1}{\sum B_i} \sum \frac{B_i}{k_i} \quad (36)$$

где  $B_i$  — число вагонов, прибывающих с каждой примыкающей к станции линии за сутки;

$k_i$  — число сортировочных путей, на которые следуют вагоны из поездов с направления  $i$ .

При увеличении длины отцепов возрастает скорость роспусков составов и мощность горки, определяемая по формуле

$$M = \frac{60 r_c}{\frac{L_n}{60 l_0} \left[ (1 - \beta_v) t_0' + \beta_v t_0'' \right] + t_n} \quad (37)$$

где  $r_c$  — число вагонов в составах;

$l_0$ ,  $L_n$  — средняя длина отцепов и составов;

$t_n$  — интервал между роспуском составов.

Исследования показали, что при автоматическом регулировании скорости роспуска составов в зависимости от длины отцепов и стрелки их разделения мощность горки можно увеличить в 1,5—2 раза.

В шестой главе рассматривается осаживание вагонов в сортировочном парке.

При скатывании отцепов с различными сопротивлениями движению в сортировочном парке между отцепами остаются свободные участки путей. Для соединения и продвижения отцепов на сортировочных путях производится осаживание вагонов рельсовыми или внерельсовыми средствами.

Длина группы вагонов, после накопления которых на сортировочном пути требуется осаживание, зависит от распределения сопротивлений движению отцепов, высоты горки, уклона путей и при полном прицельном торможении определяется по формуле:

$$L_{cr} = L_n + l_0 \left[ \frac{1 - \alpha_n}{\alpha_n} - (1 - \alpha_n)^{x_m} \left( \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\alpha_x} \right) \right], \quad (38)$$

где  $l_n$  — дальность пробега плохих бегунов;

$l_0$  — средняя длина отцепов;

$x_m$  — число отцепов, которые могут разместиться на сортировочном пути между плохим и массовым бегуном;

$\alpha_n, \alpha_x$  — вероятность плохих и хороших бегунов.

Вероятности бегунов, их сопротивления движению и дальность пробега определяются по распределению веса и сопротивлений движению вагонопотока, перерабатываемого горкой.

В диссертации приведены формулы для определения длины осаживаемой группы при неполном прицельном торможении, возникающем при ошибках в работе устройств автоматики и ограничении дальности пробега стцепов.

Продвижение вагонов на сортировочных путях может выполняться локомотивами со стороны горки и вытяжек или тракторами. Время, затрачиваемое на осаживание вагонов, при расформировании одного состава может рассчитываться по следующим формулам:

1. При осаживании вагонов локомотивами со стороны горки

а) при  $L_{ог} < 0,5 L_c$

$$T_{ос} = \left( \frac{L_n}{L_{ог}} - 1 \right) \left[ a_r + v_r L_{ог} \right]; \quad (39)$$

б) при  $L_{ог} \geq 0,5 L_c$

$$T_{ос} = \left( \frac{L_n}{L_{ог}} - 1 \right) \left[ a_r + v_r (L_c - L_{ог}) \right] \quad (40)$$

2. При подтягивании вагонов локомотивами со стороны вытяжек

а) при  $L_{ог} < 0,5 L_c$

$$T_{ос} = \left( \frac{L_n}{L_{ог}} - 1 \right) \left[ a_v + v_m L_{ог} + v_n (L_c - L_{ог}) \right]; \quad (41)$$

б) при  $L_{ог} \geq 0,5 L_c$

$$T_{ос} = \left( \frac{L_n}{L_{ог}} - 1 \right) \left[ a_v + (v_m + v_n)(L_c - L_{ог}) \right]; \quad (42)$$

3. При осаживании вагонов тракторами

$$T_{ос} = \left( \frac{L_n}{L_{ог}} - 1 \right) \left[ 0,25 L_n (a_t + v_t L_{ог}) + a_{сн} L_{ог} + a_e \right]; \quad (43)$$

где  $L_n, L_c$  — средняя длина составов и сортировочных путей;

$a_r, a_b$  — время за заезд локомотива для осаживания со стороны горки и вытяжек;

$a_r, a_{cu}, a_c$  — время на заезд, сцепление и пересечение путей тракторами;

$\theta_r, \theta_m, \theta_d, \theta_r$  — время на осаживание, подтягивание вагонов и продвижение локомотивов и тракторов, отнесенное на 1 м пути.

Время простоя горки при осаживании вагонов горочными локомотивами зависит от числа групп, осаживаемых параллельно с роспуском  $j_{no}$ , числа локомотивов  $k_{no}$  и может определяться по следующим формулам:

а) при  $L_{or} < 0,5 L_c$

$$T'_{oc} = \frac{1}{k_{no}} \left( \frac{L_n}{L_{or}} - j_{no} - 1 \right) (a_r + \theta_r L_{or}) \quad (44)$$

б) при  $L_{or} \geq 0,5 L_c$

$$T'_{oc} = \frac{1}{k_{no}} \left( \frac{L_n}{L_{or}} - j_{no} - 1 \right) [a_r + \theta_r (L_c - L_{or})]. \quad (45)$$

По приведенным формулам можно определить объем работы по осаживанию вагонов при различных условиях работы существующих и проектируемых горок.

В седьмой главе рассматриваются вопросы расчета конструкции сортировочных устройств при колебаниях объема работы и автоматизации процесса сортировки вагонов.

Современное техническое оснащение сортировочных устройств позволяет проектировать горки различной конструкции и мощности. В зависимости от числа и типа замедлителей, стрелочных переводов, системы управления стрелками и замедлителями изменяется мощность, стоимость строительства и эксплуатации горок.

При увеличении мощности сортировочных устройств возрастают затраты на их строительство и эксплуатацию, но уменьшаются расходы, связанные с простоем поездов в ожидании расформирования, а также затраты на строительство и содержание путей парка приема. Поэтому оптимальную мощность сортировочных устройств при неравномерном прибытии поездов необходимо определять путем экономического сравнения возможных вариантов от минимальной до максимальной мощности. В диссертации приведены формулы для расчета минимальной и максимальной мощности сортировочных устройств и методика расчета строительных и эксплуатационных расходов по вариантам.

Разработанные в нашей стране системы автоматического регулирования скорости движения отцепов АРС ЦНИИ и АРС ГТСС накладываются на существующее размещение тормозных средств с укладкой дополнительной позиции на каждом сортировочном пути. Но при проектировании новых горок можно осуществить любой наиболее экономичный вариант размещения тормозных средств, обеспечивающий требуемую мощность горки при ее оптимальной высоте и профиле.

Исследованием большого количества вариантов размещения тормозных средств установлено, что наиболее экономичным для горок малой мощности является размещение замедлителей на одной позиции перед пучками из 6—8 путей, а для горок большой мощности — на двух позициях в стрелочной зоне.

Для получения наименьших интервалов между отцепами сочетания П—Х на горках большой мощности первую позицию необходимо располагать между первой и второй разделительными стрелками. Мощность и расположение второй позиции определяются по требуемой мощности горки при неравномерном прибытии поездов и распределении отцепов по сортировочным путям.

Для определения места расположения второй позиции и числа путей в пучках необходимо решить сложную систему уравнений. В диссертации разработан приближенный способ расчета числа путей в пучках по требуемой мощности и тормозной характеристике горки. В зависимости от требуемой мощности горки число путей в пучках изменяется от 8 до 2.

Мощность второй позиции, необходимая для получения требуемых интервалов  $t_0''$  между отцепами сочетания Х—П, определяется по формуле:

$$h_T'' = \frac{\varepsilon - 2}{2^{n_2} - 2} h_T, \quad (46)$$

где  $h_T$  — мощность тормозных средств по пути следования отцепов;

$n_2$  — порядковый номер разделительной стрелки, за которой расположена вторая позиция.

Минимальная мощность второй позиции при автоматическом регулировании скорости движения отцепов зависит от допускаемой скорости движения и соударения вагонов, их сопротивления движению, тормозной характеристики замедлителей, числа путей в пучках и может рассчитываться по формулам, приведенным в диссертации.

При автоматическом регулировании скорости движения отцепов возможны ошибки и погрешности в работе устройств и приборов. Для погашения возможных ошибок и обеспечения безопасного подхода отцепов к вагонам на сортировочных путях при дальности пробега 500—700 м необходимо укладывать дополнительную позицию мощностью 0,40—0,45 м.

При повышении точности измерения сопротивления движению, допускаемой скорости соударения вагонов и правильном размещении второй позиции можно обеспечить большую дальность прицельного торможения без устройства парковой позиции на сортировочных путях.

Высота горки обеспечивает скатывание отцепов по стрелочной зоне и их продвижение на сортировочных путях. От высоты зависят дальность пробега отцепов, объем работы и расходы по осаживанию вагонов в сортировочном парке, затраты на тормозные средства и строительство горки. При увеличении дальности пробега отцепов высота горки и строительные затраты возрастают, но эксплуатационные расходы сокращаются за счет уменьшения объема работы по осаживанию вагонов в сортировочном парке. Поэтому оптимальная высота горки должна обеспечивать наименьшие приведенные годовые расходы и определяться путем технико-экономического сравнения возможных вариантов от минимального до максимального значения\*

Минимальная высота горки должна обеспечивать скатывание всех отцепов за предельные столбики сортировочных путей при наиболее неблагоприятных условиях работы и наибольшей возможной ошибке устройств автоматики. В результате приближенного решения системы уравнений в диссертации получена следующая формула для определения минимальной высоты горки:

$$H_{\text{гmin}} = \frac{\gamma_3 + w_{\text{ок}} 10^{-3}}{(\gamma_3 - (w_n - w_{\text{ок}}) 10^{-3})} [h_{\text{ск}} (n_p + c) + L_{\text{сз}} w_n 10^{-3} + l_n (w_n - i_c) 10^{-3} - h_0]; \quad (47)$$

при

$$L_{\text{сз}} = l_1 + \left( l_p - \frac{h_{\text{ск}}}{\gamma_3} \right) (n_p + c) + l_{\text{дкТ}}. \quad (48)$$

За максимальную принимается такая высота горки, при которой плохие бегуны достигают на спускной части наиболь-

---

\* В 1961 г. это положение вошло в Технические указания по проектированию станций и узлов.

шей допускаемой скорости движения. Дальнейшее увеличение высоты горки нецелесообразно, так как при той же дальности пробега отцепов приводит к повышению строительных и эксплуатационных расходов. Максимальная высота горки определяется по следующей формуле, полученной путем решения системы уравнений:

$$H_{г\text{ макс}} = \frac{\gamma_3 + \omega_{ох} \cdot 10^{-3}}{\gamma_3 - (\omega_{п} - \omega_{ох}) \cdot 10^{-3}} [h_{п\text{ макс}} - h_0 - h_{ск} (n_p + c - n_{пт}) + (L_{сз} - l_p n_{пт}) \omega_{п} \cdot 10^{-3}] ; \quad (49)$$

где  $\omega_{ох}$ ,  $\omega_{п}$  — сопротивление движению очень хорошего и плохого бегуна в кг/т;

$\gamma_3$  — тормозная характеристика замедлителей;

$h_{ск}$  — энергетическая высота на преодоление сопротивления от стрелок и кривых, отнесенная на одну разделительную стрелку, в м;

$h_{п\text{ макс}}$ ,  $h_0$  — энергетическая высота, соответствующая максимальной и начальной скорости движения плохих бегунов, в м;

$n_p$ ,  $c$  — число разделительных и дополнительных стрелок по пути движения отцепов;

$n_{пт}$  — число разделительных стрелок за второй позицией;

$l_1$  — расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки в м;

$l_p$  — средняя длина стрелочной зоны (без тормозных позиций), отнесенная на одну разделительную стрелку, в м;

$l_d$  — длина прямых вставок между кривыми и замедлителями и изолированных участков в м;

$l_n$  — дальность пробега плохих бегунов в сортировочном парке в м;

$k_t$  — число тормозных позиций в стрелочной зоне по пути движения отцепа;

$i_c$  — уклон путей сортировочного парка в ‰.

Анализ выполненных проектов горок с различным числом путей показал, что при укладке симметричных стрелочных переводов с маркой крестовины  $1/6$  величины  $l_p$ ,  $l_d$  и  $h_{ск}$  равны:  $l_p = 29-30$  м;  $h_{ск} = 0,152-0,162$  м;  $l_d = 10-12$  м для замедлителей Т-50 и  $l_d = 18-20$  м для замедлителей типа КВ.

В диссертации приведены формулы для определения основных строительных затрат и эксплуатационных расходов, зависящих от высоты горки.

Профиль горки проектируется в настоящее время из условия получения наибольшей крутизны, возможной по допускаемым уклонам и скорости движения.

При свободном скатывании такой профиль обеспечивает наименьшие интервалы между отцепами сочетания П—Х. Но на механизированных горках свободное скатывание отцепов происходит только на участке от вершины горки до начала первой позиции. На участке от начала первой позиции до предельных столбиков на сортировочных путях большинство отцепов скатывается с торможением. Поэтому профиль этого участка должен рассчитываться из условия получения наименьших интервалов между отцепами сочетания Х—П.

В диссертации излагаются графический и аналитический способы расчета профиля, обеспечивающие наилучшие условия скатывания хороших бегунов с торможением и наименьшие интервалы между отцепами сочетания Х—П, при автоматическом регулировании скорости движения отцепов.

При переменной скорости роспуска профиль надвигной части должен обеспечивать переход от одной скорости роспуска к другой при наиболее трудных условиях расформирования и может рассчитываться по приведенным в диссертации формулам.

Расчет высоты, размещения тормозных средств и профиля по предлагаемому способу обеспечивает переработку неравномерно поступающего вагонопотока и значительное сокращение затрат на строительство и эксплуатацию горок.

В восьмой главе рассматриваются пути повышения мощности существующих горок.

Наиболее значительное увеличение мощности существующих горок, необходимое для освоения возрастающих вагонопотоков при неравномерном движении поездов, можно получить при параллельном роспуске составов, изменении размещения тормозных средств и переменной скорости роспуска составов.

В диссертации установлено, что число параллельно выпускаемых составов зависит от доли угловых вагонов, распределения прибытия разборочных поездов и может рассчитываться по формуле:

$$n_{\text{пр}} = \frac{24}{T} \sum_{k=1}^{k=a'} k P'_{\text{тк}} \sum_{i=k}^{i=a''} P''_{\text{ти}}, \quad (50)$$

где  $P_{\text{тк}}$ ,  $P_{\text{ти}}$ —вероятности прибытия  $k$  и  $i$  поездов за период  $T$

с вагонами в соответствующие части сортировочного парка;

$a', a''$  — наибольшее число поездов первого и второго вида, которые могут прибыть на станцию за период  $T$ .

Исследования показали, что при неравномерном прибытии поездов мощность горки, при параллельном роспуске составов только из вагонов назначением в соответствующие части сортировочного парка, даже при небольшом угловом потоке, увеличивается незначительно.

Для увеличения количества параллельно распускаемых составов можно направлять угловые вагоны на отсевные пути, останавливать сортировку одного из составов на период скатывания угловых вагонов другого состава или формировать на ближайших сортировочных станциях поезда только из вагонов назначением в соответствующие части сортировочного парка. В диссертации исследованы условия применения этих способов и выведены формулы для определения получаемой мощности.

Повышение мощности горок при различных способах организации параллельного роспуска зависит от доли углового потока и достигает наибольшей величины — 40—60% при подготовке составов на ближайших сортировочных станциях.

Для осуществления параллельного расформирования составов необходимо частичное переустройство путевого развития и увеличение количества горочных локомотивов. Необходимые строительные затраты на переустройство горловин парка приема и увеличение количества маневровых локомотивов в значительной степени зависят от местных условий и колеблются от 200 до 500 тыс. рублей. Эксплуатационные расходы на содержание дополнительного штата и устройств возрастают на 80—100 тыс. рублей в год.

Мощность существующих горок можно увеличить путем изменения размещения тормозных средств.

Большинство горок нашей страны с расположением второй позиции перед пучками из 6—8 путей имеют небольшую тормозную характеристику ( $\epsilon_{\phi} = 3 - 3,5$ ) и скорость роспуска составов при дальности прицельного торможения 300—400 м. Недостаток тормозных средств в настоящее время компенсируется дополнительным торможением отцепов ручными башмаками в сортировочном парке.

Для повышения скорости роспуска можно увеличить тормозную характеристику горки до требуемой  $\epsilon_r$ , определяемой

из выражения (34), путем уменьшения числа путей в пучках или укладкой парковой позиции у предельных столбиков на каждом сортировочном пути. Необходимая мощность парковой позиции определяется по формуле

$$h_{\text{тп}} = h_{\text{т}} \frac{\epsilon_{\text{т}} - \epsilon_{\text{ф}}}{2^{n_{\text{р}}}} \quad (51)$$

Уменьшение числа путей в пучках связано с большим объемом работ по переустройству подгорочной горловины в процессе эксплуатации горок, а укладка парковой позиции требует больших затрат на замедлители.

Оптимальное решение, определяемое путем экономического сравнения вариантов, в значительной степени зависит от местных условий. При изменении размещения тормозных средств без увеличения количества сортировочных путей выгоднее укладка парковой позиции, а при увеличении количества сортировочных путей — уменьшение числа путей в пучках.

Наиболее быстрое повышение мощности горки можно получить при переходе от постоянной скорости роспуска к переменной. При автоматическом регулировании скорости роспуска состава мощность горки можно увеличить в 1,5—2 раза.

До введения автоматического управления горочными локомотивами скорость роспуска можно изменять для отдельных частей состава в зависимости от длины и места разделения отцепов. Переход от одной скорости роспуска к другой выполняется по размеченному натурному листу и указаниям дежурного по горке. Регулирование скорости роспуска отдельных частей составов позволяет, как показал опыт работы станции Инская, увеличить мощность горки на 40—70%.

Сравнение различных способов повышения мощности горки показало, что по строительным затратам и эксплуатационным расходам наиболее выгодным является переход к переменной скорости роспуска. При дальнейшем увеличении объема работы мощность горки можно увеличить путем уменьшения числа путей в пучках или укладкой парковой позиции на сортировочных путях. Параллельный роспуск составов требует наибольших эксплуатационных расходов и может применяться только после использования других способов повышения мощности горки.

В девятой главе рассматриваются вопросы экономического обоснования мощности грузовых устройств при неравномерном прибытии и отправлении вагонов и грузов.

По применяемой в настоящее время методике расчета мощность отдельных элементов грузовых пунктов определяется по среднесуточному грузообороту, а возможные колебания учитываются коэффициентами сгущения и неравномерности. Применение в технико-экономических расчетах необоснованных значений коэффициентов сгущения и неравномерности подач приводит к искажению результатов экономического сравнения вариантов и ошибкам в расчете технического оснащения грузовых пунктов.

При неравномерном распределении работы грузовых пунктов по отдельным периодам суток и суткам возникают простои вагонов, автомашин и механизмов в ожидании грузовых операций.

Простой вагонов в ожидании грузовых операций складывается из времени ожидания погрузки-выгрузки вагонов в одной подаче  $t_{ог}$  и времени ожидания начала грузовых операций с каждой подачей  $t_{ох}$ . Величина этих простоев зависит от числа вагонов  $d_n$ , с которыми могут одновременно выполняться грузовые операции, времени выполнения грузовых операций  $t_r$ , наибольшего числа вагонов  $r_n$  в подаче и может рассчитываться по следующим формулам:

$$t_{ог} = \frac{t_r}{2d_n} \sum_{j=1}^{j=r_n-d_n} j P_{d_n+j}; \quad (52)$$

$$t_{ох} = \frac{1}{4} (t_{rn} - I_n') (\lambda_x + P_{x=0} - 1) P_I, \quad (53)$$

где  $P_{d_n+j}$  — вероятность прибытия в подачу  $d_n + j$  вагонов;

$I_n'$  — минимальный интервал прибытия подач;

$t_{rn}$  — среднее время выполнения грузовых операций с одной подачей;

$P_I$  — вероятность прибытия подач с интервалами

$$I_n < t_{rn}.$$

Простои автомашин в ожидании грузовых операций зависят от распределения колебаний числа прибывающих машин, мощности и числа погрузочно-выгрузочных механизмов, времени и организации работы грузовых пунктов.

На грузовых станциях общего пользования при перевозке грузов автомашинами большого числа различных организаций практически отсутствует согласование моментов прибытия автомашин к грузовой двор. В этом случае поток при-

бывающих машин можно считать простейшим и определять средний простой автомашин в ожидании грузовых операций по формуле

$$t_{\text{ом}} = \frac{\alpha_r t'_{\text{гм}}}{2(1-\alpha_r)} \left[ 1 + 1,1 \left( 1 - \frac{t'_{\text{гм}}}{t_{\text{гм}}} \right)^2 \right], \quad (54)$$

где  $\alpha_r$  — коэффициент использования погрузочно-выгрузочных механизмов;

$t'_{\text{гм}}$ ,  $t_{\text{гм}}$  — наименьшее и среднее время погрузки-выгрузки одной машины.

При обслуживании грузовых перевозок одной транспортной организацией и движении машин по графику ожидание грузовых операций вызывается в основном колебаниями интервалов прибытия, времени погрузки, выгрузки и оборота машин. Среднее время ожидания грузовых операций в этом случае определяется по формуле

$$t_{\text{ом}} = \frac{1}{4} (t_{\text{гм}} - I'_m) (\lambda_m + P_{x=0} - 1) P_i, \quad (55)$$

где  $I'_m$  — минимальный интервал прибытия машин;

$\lambda_m$  — среднее число машин, прибывающих за период  $T$ ;

$P_i$  — вероятность прибытия машин с интервалами  $I_m < t_{\text{гм}}$ .

Анализ работы машин при неорганизованном прибытии на грузовой двор показал, что при  $\alpha_r \leq 0,5 - 0,6$  количество машин, ожидающих грузовые операции, не превышает 1,0 — 1,5. При дальнейшем увеличении коэффициента  $\alpha_r$  количество ожидающих машин резко возрастает.

При обслуживании перевозок одной транспортной организацией, четкой специализации погрузочно-разгрузочных механизмов и организации движения машин по графику можно в 3—5 раз уменьшить простой машин в ожидании грузовых операций при высоких коэффициентах использования грузозустройств и механизмов.

Исследования распределения прибытия вагонов и автомашин позволяют правильно рассчитать емкость складов и мощность механизмов.

При минимальной емкости складов и мощности механизмов, рассчитанных на переработку среднесуточного потока грузов, затраты на строительство грузовых пунктов будут наименьшими, а эксплуатационные расходы, связанные с простоем вагонов и автомашин, — наибольшими. При увеличении мощности грузовых пунктов возрастают строительные затраты, но сокращаются простой вагонов, автомашин и

эксплуатационные расходы. Поэтому оптимальная емкость складов и мощность погрузочно-выгрузочных механизмов должны определяться путем экономического сравнения возможных вариантов с учетом неравномерного прибытия вагонов и грузов.

В диссертации излагается методика расчета основных расходов и сравнения возможных вариантов мощности грузовых пунктов.

### **Основные выводы**

1. Все устройства железнодорожного транспорта работают при постоянных колебаниях и изменениях объема перевозок. Число факторов, вызывающих изменения объема работы станций, настолько велико, что результат их взаимодействия — колебания погрузки, выгрузки, накопления вагонов и размеров движения — можно считать случайными величинами и исследовать их методами теории вероятностей.

2. Частота колебаний погрузки, выгрузки, накопления вагонов и составов, прибытия и отправления поездов соответствует пуассоновскому или нормальному закону распределения случайных величин, параметры которого зависят от размеров работы и пропускной или перерабатывающей способности устройств.

3. Колебания размеров движения оказывают большое влияние на все станционные процессы, вызывая дополнительные простои поездов, локомотивов, вагонов, механизмов и автомашин. Величина этих простоев зависит от размеров движения, мощности устройств, распределения колебаний и может определяться по предлагаемому в диссертации способу.

Разработанная в диссертации методика расчета простоя поездов, локомотивов и вагонов с использованием современной вычислительной техники позволяет быстро и с достаточной точностью оценивать различные варианты организации работы станций и примыкающих участков, определять оптимальные технологические процессы и режимы работы, мощность и размеры различных устройств.

4. Колебания объема работы оказывают большое влияние на путевое развитие и конструкцию различных устройств станции. Оптимальное число приемо-отправочных и сортировочных путей, мощность сортировочных, грузовых и других устройств на станциях при неравномерном движении поездов должны определяться путем экономического сравнения возможных вариантов,

Методика расчета мощности и конструкции станционных устройств, предлагаемая в диссертации, позволяет, при использовании современной вычислительной техники, с небольшими затратами труда и времени определять оптимальное путевое развитие парков, число маневровых локомотивов, мощность сортировочных и других устройств станций.

5. Для пропуска потока поездов и вагонов при колебаниях размеров движения на многих существующих станциях необходимо увеличить число путей в парках, мощность сортировочных и других устройств. Затраты, необходимые для усиления мощности станционных устройств, окупаются за счет сокращения эксплуатационных расходов за 2—4 года.

6. Конструкция сортировочных устройств должна обеспечивать необходимую при неравномерном движении поездов перерабатывающую способность станции при наименьших расходах по их строительству и эксплуатации. Оптимальная высота, размещение тормозных средств и профиль сортировочных горок при неравномерном прибытии и распределении отцепов различной длины по назначениям могут рассчитываться по предлагаемому в диссертации методу.

7. Для переработки растущих вагонопотоков необходимо повышать мощность существующих сортировочных устройств. Наибольшее повышение мощности при наименьших затратах и эксплуатационных расходах можно получить при автоматическом регулировании скорости роспуска составов в зависимости от длины отцепов и стрелки их разделения. До введения автоматического регулирования скорости движения горочных локомотивов скорость роспуска можно изменять для отдельных частей состава. При дальнейшем увеличении объема работы станций мощность горок можно повысить путем сочетания переменной скорости роспуска с укладкой дополнительных тормозных средств в стрелочной зоне и на сортировочных путях.

8. Выполненные в диссертации исследования позволяют внести в Технические указания по проектированию станций и узлов необходимые изменения и дополнения по расчету путевого развития приемо-отправочных и сортировочных парков, сортировочных, грузовых и других устройств.

*Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих работах:*

1. Колебания объема работы на грузовых станциях. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 39, Новосибирск, 1964, стр. 53—76, 27 илл.
2. Простой поездов и локомотивов на участковых и сортировочных станциях. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 54, Новосибирск, 1966, стр. 33—47, 8 илл.
3. Задержки поездов на подходах к станциям. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 45, Новосибирск, 1965, стр. 12—35, 5 илл.
4. Расчет числа приемо-отправочных путей на участковых и сортировочных станциях. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 29, Новосибирск, 1962, стр. 20—60, 17 илл.
5. Расчетные сочетания отцепов для механизированных сортировочных горок. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 20, Новосибирск, 1959, с. 114—122, 1 илл.
6. Размещение тормозных средств при автоматизации сортировочных горок. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 20, Новосибирск, 1959, с. 123—142, 5 илл.
7. Осаживание вагонов в сортировочном парке. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 20, Новосибирск, 1959, с. 87—110, 6 илл.
8. Расчет времени осаживания вагонов в сортировочном парке. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 29, Новосибирск, 1962, стр. 111—127, 5 илл.
9. Переменная скорость роспуска составов на сортировочных горках\* Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 25, Новосибирск, 1962, стр. 135—164, 12 илл.
10. Параллельный роспуск составов на механизированных сортировочных горках. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 45, Новосибирск, 1965, стр. 89—98, 4 илл.
11. Пути повышения мощности сортировочных горок\*. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 45, Новосибирск, 1965, стр. 99—117, 12 илл.
12. Расчет грузовых устройств на станциях. Труды Новосибирского института инженеров ж.-д. транспорта, вып. 54, Новосибирск, 1966, стр. 15—32, 1 илл.
13. Увеличение скорости роспуска составов с сортировочных горок\* «Железнодорожный транспорт», № 7, 1965, стр. 42—43, 3 илл.
14. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок. Учебное пособие. Новосибирск, 1960, 102 стр., с илл.
15. Beidrücken der Wagen in Richtungsgleisen. «Deutsche Eisenbahntechnik», H. 12, 1960. Verlag Technik, Berlin, s. 580-587, 6 Bild.

---

\* Совместно с А. В. Быкадоровым,

---

Сдано в набор 6 мая 1967 г. Подписано к печати 17 мая 1967 г.

Формат 60×84. 2 печ. л. Тираж 250. Заказ 812. МН04152

---

Новосибирск. Типография НИИЖТа, ул. Дуси Ковальчук, 191.

Сканировала Камянская Н.А.