

УДК: 656.22

Расчет и оценка эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог

Calculation and evaluation of the effectiveness of the use of transportation capabilities of railways

Левин Д.Ю., д.т.н., профессор, АО «НИИАС»; E-mail: levindu@yandex.ru, Москва, Россия
Levin D.Yu., D.ofSci., Professor, JSC «NIIAS»; E-mail: levindu@yandex.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Дальнейшее развитие теории расчёта и использования пропускной и провозной способности железных дорог связано с широким использованием имитационного моделирования движения поездов. Новые возможности позволили: на двухпутных участках учитывать все влияющие факторы, на однопутных участках во всем диапазоне непарности движения поездов получать максимальные размеры, впервые определять пропускную способность разветвленных полигонов, установить целесообразность вождения соединенных поездов и установить взаимодействие пропускной провозной способностей. В условиях дефицита пропускной, провозной и перерабатывающей способности особую актуальность представляют оценка существующего уровня и повышение эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог.

Ключевые слова: расчет и использование перевозочных возможностей, пропускная и перерабатывающая способность, имитационное моделирование, однопутные и двухпутные участки, разветвлённые полигоны.

Abstract

Further development of the theory of calculation and use of the throughput and carrying capacity of railways is associated with the widespread use of simulation modeling of train traffic. New opportunities allowed: on double-track sections to take into account all influencing factors, on single-track sections in the entire range of unpaired train traffic, to obtain maximum dimensions, for the first time to determine the throughput of branched polygons, to establish the feasibility of driving connected trains and to establish the interaction of carrying capacity. In the context of a shortage of throughput, carrying and processing capacity, an assessment of the current level and an increase in the efficiency of using the transportation capabilities of railways are of particular relevance.

Keywords: calculation and use of transportation capabilities, throughput and processing capacity, simulation modeling, single and double track sections, branched polygons.



Введение

Развитие железнодорожного транспорта определяется инвестициями и научно-техническим прогрессом. На развитие только Восточного полигона в последние годы тратятся триллионы рублей, но отставание развития железнодорожного транспорта на огромной территории страны в послевоенные годы было настолько велико, что на преодоление этого отставания потребуются многие годы.

Научно-технический прогресс постоянно развивается, достигнуты большие успехи в увеличении технических возможностей подвижного состава, сооружений и устройств. Тем парадоксальней выглядит ситуация, когда при дефиците пропускной способности участков и перерабатывающей способности сортировочных станций, их полезное использование не превышает 60–90 %.

Большое значение приобретает умение оценивать реальные перевозочные возможности существующих и проектируемых участков и эффективно их использовать. Оценка реальных перевозочных возможностей позволяет обоснованно планировать объем перевозок и необходимые для этого ресурсы, заключать договорные обязательства на перевозку пассажиров и грузов, выполнять установленные сроки доставки.

Оценка перевозочных возможностей

В существующей Инструкции по расчету пропускной и провозной способности железных дорог ОАО «РЖД» [1] (далее – Инструкция) есть наличная, проектируемая, потребная и результативная пропускная способность. Но, чтобы оценить сложившуюся ситуацию с использованием пропускной способности нет определения (показателя). Поэтому кроме существующих определений целесообразно включить используемую пропускную способность. Это позволит оценивать реальное использование пропускной способности (особенно при дефиците) и организовать работу по увеличению уровня использования. Также позволит из определения наличная пропускная способность убрать факторы, которые надо учитывать при анализе использования пропускной способности.

Первые определения пропускной и провозной способности предложил А.Н. Фролов [2]: «Пропускная способность есть мощность дороги, зависящая от неподвижных устройств и оборудования», «Провозная способность – мощность дороги, зависящая от подвижных элементов, т.е. паровозов и вагонов».

Первые аналитические формулы предложил В.Н. Щегловитов [3] для определения пропускной способности двухпутных участков при телеграфной и жезловой средствах связи. С тех пор много десятилетий незыблемым считается расчет пропускной способности с помощью графика движения и аналитических формул. Несколько поколений специалистов предложенный тогда подход к расчету пропускной способности считали непреложной истиной и не подвергали сомнению [4–13].

Современные определения пропускной способности участка ошибочно содержат утверждение, что она зависит от организации движения поездов (типа графика), но ва-

риантов разработки графика движения поездов чрезвычайно много и каждому из них соответствует своя пропускная способность. Какое же из этих значений принимать за наличную пропускную способность участка? Необходимо устранить противоречие: максимальные размеры движения в графике определяются пропускной способностью, в то время как сама пропускная способность – графиком движения. Это противоречие устраняется ранжированием пропускной способности и графика движения поездов по приоритету. Первичной должна быть техническая характеристика участка – пропускная способность, а график движения поездов – вторичным, т.к. отвечает на вопрос: как используется пропускная способность. В связи с этим, и теория пропускной способности должна иметь самостоятельные направления: расчет, использование и развитие.

Для расчета пропускной способности нецелесообразно использовать существующие аналитические выражения из-за:

- ограниченности сферы возможного применения лишь невысокой загрузкой участка (при высокой интенсивности движения возникает разрыв между «теоретической» и фактической наличной пропускной способностью);
- использования средних величин, геометрических характеристик участка, постоянной скорости движения;
- зависимости от принимаемого типа графика движения поездов;
- линейной зависимости между слагаемыми;
- невозможности учесть многообразие влияющих факторов на поездную работу;
- невозможности учесть несинхронность движения потока поездов (рассматривается движение одиночного поезда);
- невозможности учесть особенности движения поездов различных категорий;
- отсутствия учета взаимного влияния потока поездов, машинистов и участка и т.д.

Появление вычислительной техники вызвало всплеск научных исследований и возникновение принципиально новых возможностей и методов решения многих практических задач. К сожалению, новые возможности не коснулись вопросов расчета пропускной способности. Эти возможности, прежде всего, связаны с использованием имитационного моделирования движения поездов, которое позволяет заглянуть вглубь поездной работы на участках и описать механизм поведения поездопотоков. При этом выявилось, что аналитические выражения не в состоянии описать процесс поездной работы, учесть многообразие факторов, влияющих на движение поездов, и имеют ограниченную область применения, не охватывающую максимальные размеры движения.

Использование имитационного моделирования предоставляет принципиально новые возможности расчета пропускной и провозной способности железных дорог, в котором:

- на двухпутных участках учитывается все многообразие влияющих факторов и особенности движения потока поездов;



- на однопутных участках получают действительно максимальные результаты во всем диапазоне непарности движения поездов;
- определять пропускную способность разветвленных полигонов и решение большого числа прикладных задач;
- на конкретных направлениях определяется целесообразность и эффективность вождения соединенных поездов;
- учитывается взаимодействие пропускной и провозной способности и достигается увеличение перевозочных возможностей железных дорог.

Использование имитационного моделирования должно стать основой автоматизированной системы расчета пропускной и провозной способности железных дорог, в том числе для составления паспортов участков, направлений, регионов и сети в целом.

Наличие в графиках исполненного движения поездов рассеяния значений вокруг среднего значения характеристик потока поездов свидетельствует о несинхронности движения поездов, которая присутствует даже при свободном движении одиночного поезда и возрастает с увеличением загрузки участка. Основные характеристики несинхронности движения поездов – среднее квадратичное отклонение времени хода, интенсивности и межпоездного интервала. С учетом несинхронности возможны три схемы графиков движения поездов (рис. 1), где

$\sigma_{t_x} < I_p$ – расчетный межпоездный интервал настолько велик, что несинхронность движения не влияет на его фактическую величину, т. е. $I_{\phi} - I_p = \Delta I = 0$ (рис. 1, а);

$\sigma_{t_x} = I_p$ – это равенство является границей между $I_{\phi} = I_p$ и $I_{\phi} > I_p$ (рис. 1, б);

$\sigma_{t_x} > I_p$ – несинхронность движения вызывает такое влияние поездов друг на друга, что $\Delta I > 0$, т. е. средний фактический межпоездный интервал больше расчетного и интенсивность движения потока поездов на выходе с участка меньше, чем на входе (рис. 1, в).

В последнем случае под воздействием несинхронности движения поездов фактический межпоездный интервал на выходе с участка подвергается не только рассеиванию, но его средние значения становятся больше расчетного.

В соответствии с приведенными в Инструкции формулами при существующем путевом развитии и техническом оснащении двухпутных линий наиболее эффективным способом увеличения пропускной способности является снижение межпоездного интервала. Однако практика и исследования показали, что интервал между поездами не может быть уменьшен до сколь угодно малой величины (даже при обеспечении безопасности движения поездов). Кроме этого, при уменьшении межпоездного интервала увеличивается разрыв между реализуемой и наличной пропускной способностью. Существующие методики расчета пропускной способности исходят из геометрических характеристик участка, линейного изменения координат положения поезда на пространственно-временном графике и характеризуют движение одиночного поезда. Это не совсем верно. Стохастический характер движения поездов требует учитывать следование не отдельного (одиночного) поезда,

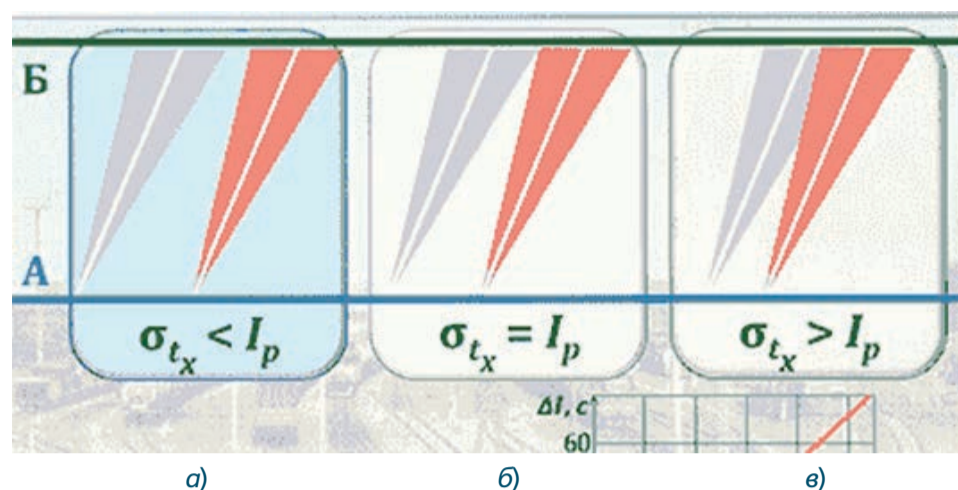


Рисунок 1. Схемы графиков движения с различными межпоездными интервалами

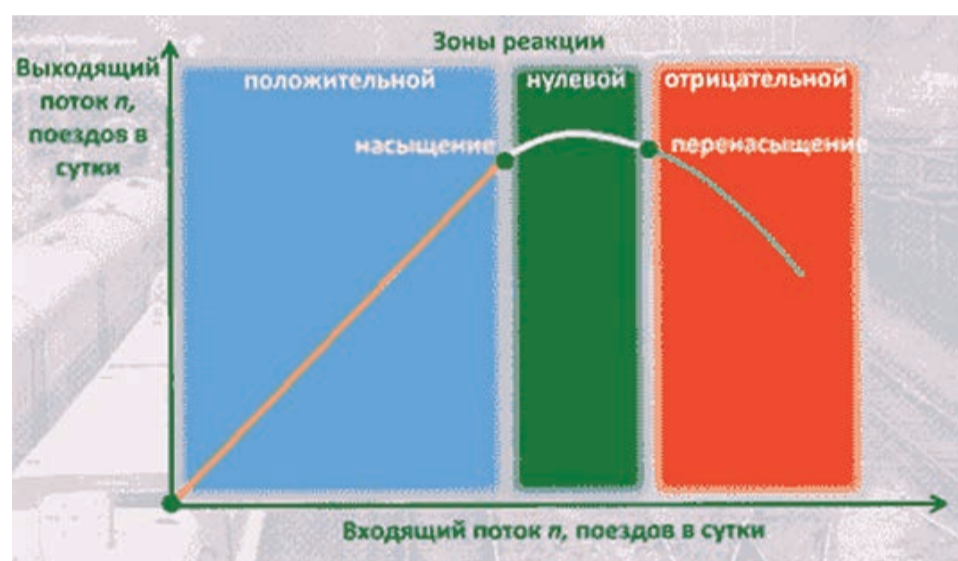


Рисунок 2. Реакция участка на изменение интенсивности потока поездов

а группы (потока) поездов; плотность потока (насыщение участка поездами); распределение скорости движения, интервалов между поездами и интенсивности потока.

Выполненными в АО «НИИАС» исследованиями [14] реакции участка на различные размеры движения поездов установлена взаимосвязь интенсивностей входящего потока поездов и выходящего с участка транзитного потока. Полученная зависимость интенсивностей входящего и выходящего потоков приведена на рис. 2. Начальный участок этой зависимости может быть аппроксимирован линейной функцией и соответствует положительной реакции участка на возрастание интенсивности входящего потока поездов, т. е. любое увеличение входящего потока приводит к возрастанию выходящего потока. Участок сохраняет положительную реакцию до тех пор, пока не будет достигнуто состояние насыщения поездами. После этого дальнейшее увеличение интенсивности входящего потока поездов практически не приводит к возрастанию выходящего потока. При достижении состояния перенасыщения любое увеличение интенсивности входящего потока поездов сокращает размер выходящего потока.

Последнее обстоятельство имеет место в тех случаях, когда с ростом числа поездов на участке быстро увеличивается плотность их размещения, следование на зеленое показание светофора все чаще сменяется на желтое и красное, снижается ходовая скорость и увеличивается время хода поездов. Приведенная реакция участка на изменение интенсивности потока поездов (рис. 2) показывает, что увеличение интенсивности входящего

потока после достижения точки насыщения приводит к несоответствию пропускной способности, получаемой по формулам в Инструкции и фактической.

Существующие аналитические выражения для расчета пропускной способности на однопутных участках содержат период графика при поочередной смене направления движения поездов. В результате получаются минимальные размеры движения. Потому, что максимальные размеры движения достигаются, когда все поезда следуют с минимальными интервалами в одном направлении. Т.е. для оценки пропускной способности однопутных участков целесообразно иметь весь диапазон размеров движения при коэффициенте непарности от 0 до 1. Существующие аналитические выражения не позволяют на однопутных участках выявить реальное влияние непарности размеров движения поездов на пропускную способность.

Непарность размеров движения носит объективный характер и вызвана многими причинами. Значительное различие профиля пути в четном и нечетном направлениях приводит к разным весовым нормам поездов. И даже, если в обоих направлениях следует одинаковый вагонопоток, для его перемещения при разных весовых нормах требуется различное число поездов. В преимущественно грузенном направлении составы поездов имеют меньше вагонов, чем в порожнем, что также вызывает непарность движения. На разветвленной сети железных дорог нередко параллельно расположенные однопутные линии специализируют для преимущественного пропуска поездов в одном из направлений.

Непарность характеризуется коэффициентом, определяющим отношение меньшего числа грузовых поездов на направлении n_{2p}' числу поездов другого направления n_{2p}''

$$\beta_H = n_{2p}' / n_{2p}'', \quad 0 < \beta_H \leq 1, \quad (1)$$

В Инструкции с уменьшением коэффициента непарности сокращаются общие размеры движения поездов на участке. Это связано с недоиспользованием возрастающих межпоездных интервалов вследствие уменьшения числа поездов в одном из направлений для увеличения числа поездов другого направления. Между тем использование освободившегося времени для пропуска дополнительных поездов – крупный резерв повышения общих размеров движения поездов на однопутных участках. На однопутных участках размеры движения поездов тем меньше, чем чаще приходится менять направление движения. Наиболее часто смена направлений на перегонах происходит при парном графике движения поездов, при котором реализуются наименьшие размеры движения, что соответствует точке n_m на рис. 3. При неизменном техническом оснащении на участке и сокращении смен направлений движения за счет увеличения пропуска поездов в одну сторону n_{2p}'' , т. е. при уменьшении коэффициента непарности, будут расти общие размеры движения поездов $n_\beta = n_{2p}' + n_{2p}''$. Отсюда видно, что увеличение непарности графика на однопутных линиях дает прирост общих размеров движения поездов. Когда необходимо увеличить размеры движения поездов, ускорить следование поездопотока в од-

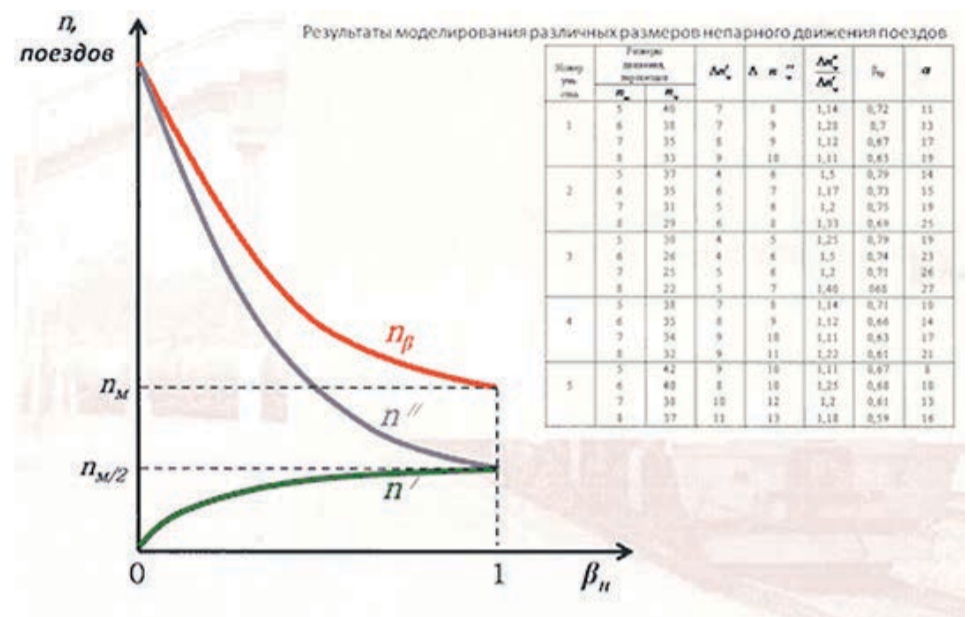


Рисунок 3. Зависимость размеров движения на однопутных участках n_β от коэффициента непарности β_H

ном из направлений однопутного участка, надо знать: как увеличение (уменьшение) размеров движения поездов в одном направлении влияет на размеры движения в другом направлении, сколько поездов максимально может быть пропущено в одном направлении при пропуске обязательного минимума поездов в другом, каковы максимальные размеры движения поездов в одном и другом направлениях при различных значениях коэффициента непарности.

Длина блок-участков, определяемая по межпоездному интервалу, на сети железных дорог значительно больше длины, необходимой для обеспечения безопасности движения поездов. Такая расстановка светофоров приводит к занижению наличной пропускной способности участков. Соблюдение расчетного тормозного пути может существенно сократить длину блок-участков и увеличить пропускную способность участков.

В настоящее время на сети железных дорог фактическая максимально допустимая скорость находится в диапазоне от 40 до 90 км/ч. Кроме этого, на участках действует множество сверхграфиковых предупреждений об ограничении скорости. Улучшение состояния пути и реализация максимально допустимой скорости движения грузовых поездов, установленной ПТЭ – 90 км/ч, может позволить увеличить размеры движения на железных дорогах более чем в два раза.

Не менее важной характеристикой участка, чем пропускная способность, является провозная способность, которая оценивает использование размеров, вместимости поездов для перевозки грузов. Провозная способность определяет максимальное количество составов, вагонов, тонн в поездах, которое может быть пропущено на участке за период времени (час, сутки, год) при определенном техническом оснащении инфраструктуры и подвижного состава. Провозная способность позволяет оценить перевозочные возможности железной дороги с помощью величины состава (размера, вместимости) поездов. Размерность провозной способности участка измеряется: млн. т в год; составов/сутки, числом вагонов или тонн груза и определяется формулой



$$\Gamma_{\max} = \frac{365 Q N_{\text{гр}} \gamma}{k_H 10^6}, \quad (2)$$

где Q – средний вес грузового поезда брутто, т; $N_{\text{гр}}$ – число грузовых поездов за сутки в данном направлении при реализации максимальной пропускной способности линии (она может ограничиваться пропускной способностью участков, станций или других элементов); γ – соотношение веса грузового поезда нетто и брутто; k_H – коэффициент неравномерности перевозок (отношение средних размеров грузового движения в месяце максимальных перевозок к средним размерам движения за сутки в течение года).

Наибольшее влияние на провозную способность участка оказывают вес, скорость движения поездов и межпоездной интервал

$$\Gamma = \frac{365 \cdot T \cdot V \cdot Q}{60 \cdot S}, \quad (3)$$

где T – рассматриваемый период времени, мин; V – скорость движения поездов, км/ч; Q – средний вес поездов нетто, тонн; S – межпоездной интервал, км.

Для оценки влияния веса и скорости движения поездов на провозную способность целесообразно использовать функциональную формулу

$$\Gamma = \frac{8760 \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{cp}}(Q_H) \cdot v_x(Q_H) \varphi j}{2l_{\text{cp}} + v_x(Q_H) \Sigma \tau}, \quad (4)$$

где l_{cp} – среднее расстояние между отдельными пунктами; $\Sigma \tau$ – часть периода графика, включающая станционные интервалы и потери времени на разгон и замедление, ч.

При необходимости увеличения провозной способности необходимо максимизировать значение произведения $Q_{\text{бр}}^{\text{cp}}(Q_H) \cdot v_x(Q_H)$. Но при этом очень важно учитывать, что между весом и скоростью движения поездов – обратно пропорциональная зависимость. Зависимость между пропускной и провозной способностью при движении поездов с различной весовой нормой при неизменном техническом оснащении участка приведена на рис. 4.

При существующем техническом оснащении оптимальный вес поездов, обеспечивающий максимальную провозную способность участка, определяется по формуле

$$l = 365 n_{\text{гр}} \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{cp}} \varphi \rightarrow \max, \quad (5)$$

где $n_{\text{гр}}$ – наличная пропускная способность участка, поездов в сутки; $Q_{\text{бр}}^{\text{cp}}$ – средний вес брутто поезда, т; φ – соотношение веса поезда нетто и брутто (в современных условиях $\varphi = 0,76$).

Как видно из приведенной формулы, провозную способность участка определяют максимальная интенсивность потока поездов и их средний вес. В свою очередь, обе эти переменные величины являются функциями многих влияющих на них аргументов (профиль пути, длина станционных приемоотправочных путей, мощность локомотивов, ходовая скорость грузовых поездов и т.д.).

Максимальное значение провозной способности достигается наибольшим значением произведения $v \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{cp}}(Q_H)$. Зависимость провозной способности участка от изменения этого произведения (рис. 5) показывает,

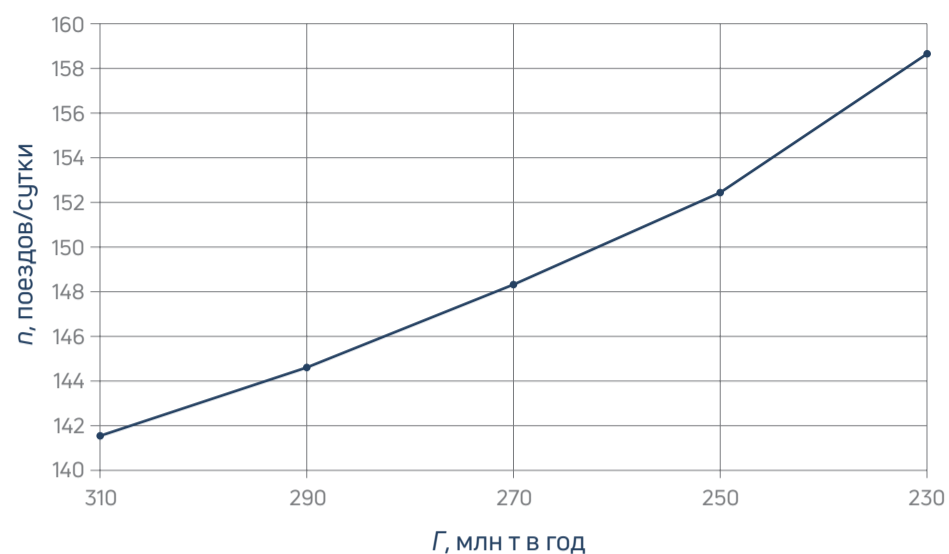


Рисунок 4. Зависимость между пропускной и провозной способностью участка при изменении весовой нормы поездов

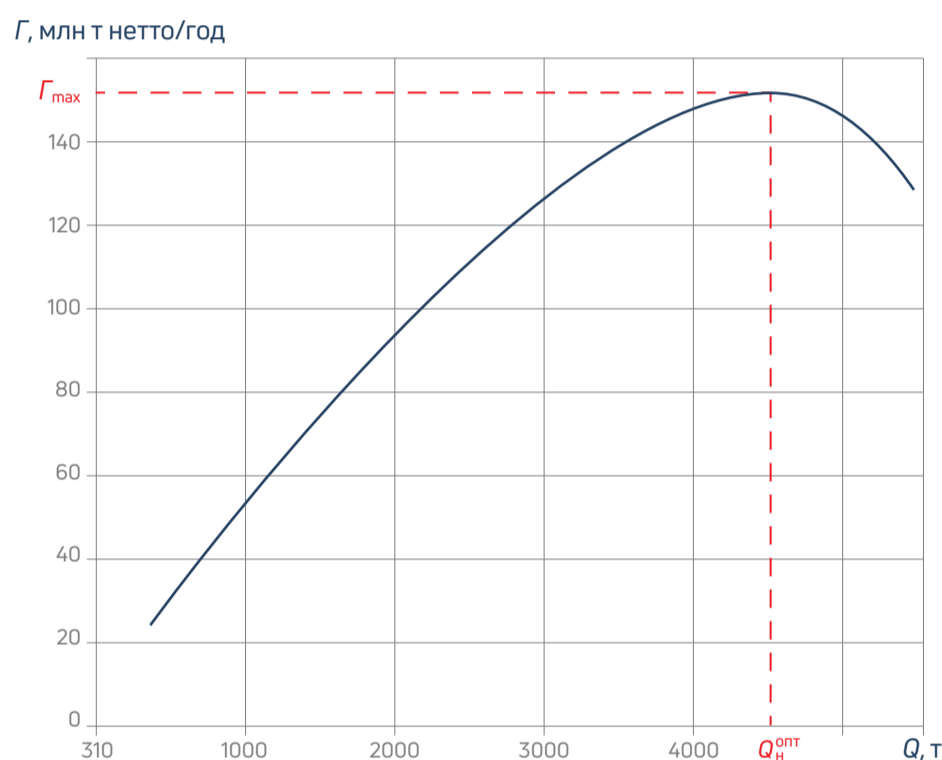


Рисунок 5. Зависимость провозной способности участка от весовой нормы поездов

что увеличение среднего веса поезда и соответственно весовой нормы дает больший эффект от прироста провозной способности, чем потери от уменьшения при этом скорости движения поездов. При дальнейшем увеличении весовой нормы потери от уменьшения скорости превышают прирост провозной способности от повышения среднего веса поезда. Таким образом, при высоком уровне использования пропускной способности, несмотря на уменьшение скорости движения поездов есть возможность повысить их средний вес, а вместе с ним и провозную способность, обеспечив освоение возрастающего объема перевозок.

С помощью моделирования движения поездов на ЭВМ выполнены расчеты по установлению влияния вождения соединенных поездов на параметры потока. Преимущества использования модели для этих целей особенно очевидны, если учесть, что эксперименты по пропуску различного числа соединенных поездов в широком диапазоне на реальных железнодорожных линиях невозможны.

В каждом конкретном случае организация движения соединенных поездов должна быть технико-



экономически обоснована. При организации регулярного обращения соединенных поездов формирование их целесообразно на технических станциях с мощными струями вагонопотоков и на грузовых, отгружающих массовые грузы маршрутами. Необходимость вождения соединенных поездов возникает при полном использовании пропускной способности.

При рассмотрении изменения интенсивности движения и провозной способности участка при различной доле соединенных поездов установлено, что увеличение числа одинарных составов, объединенных в один поезд, сокращает наличную пропускную способность участка. Так, при одинаковой доле соединенных поездов, равной 10 %, вождение строенных по сравнению с организацией движения сдвоенных поездов снижает наличную пропускную способность на четыре поезда, а вождение пяти составов, соединенных вместе, – на 9 поездов. Кроме того, увеличение доли соединенных поездов также сокращает наличную пропускную способность. Графически эта зависимость представлена в правой части номограммы на рис. 6. В левой части этой номограммы показано влияние организации движения соединенных поездов на использование провозной способности (n'). Таким образом, номограмма на рис. 6 позволяет установить влияние различной доли соединенных поездов на наличную пропускную способность и использование провозной способности. При максимальной интенсивности движения на участке 122 поезда в сутки вождение 20 % сдвоенных снижает наличную пропускную способность на 1,5, а 20 % строенных – на 8,5 поезда в сутки, но при этом провозная способность увеличивается для среднесетевых условий соответственно на 11,4 млн. и 24,5 млн. т грузов в год, или на 19 и 41 одинарный состав в сутки.

По действующей Инструкции расчет пропускной способности железных дорог ограничен нахождением результирующей пропускной способности отдельных участков. Учитывая большую разветвленность сети железных дорог, наличие параллельных ходов для повышения эффективности эксплуатационной работы, качества планирования перевозок и оптимизации проектирования новых и реконструкции существующих линий важное значение приобретает определение перевозочных возможностей полигонов сети (регионов, дорог и в целом сети). С этой целью целесообразно использовать теорию графов и потоки в сетях.

Задача нахождения максимального потока в любой разветвленной сети является задачей линейного программирования, но поскольку это весьма специальный случай задачи линейного программирования, существуют более эффективные алгоритмы, чем симплекс-метод для общей задачи линейного программирования. Одним из таких алгоритмов является разработанный Л. Фордом и Д. Фалкерсоном метод расстановки пометок, основанный на теореме о максимальном потоке.

Максимальный поток (пропускная способность разветвленного полигона) может определяться с помощью одного из основных понятий теории сетей – разреза. Разрез определяется как множество участков, исключение которых из сети отделяет источник от стока. Как правило,

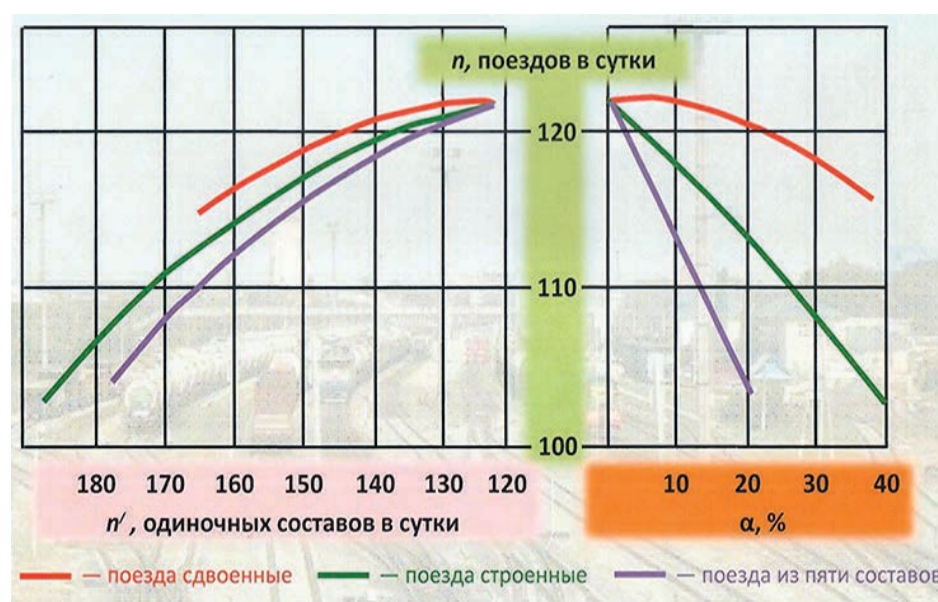


Рисунок 6. Номограмма для определения провозной способности (в одинарных составах) в зависимости от доли соединенных поездов α

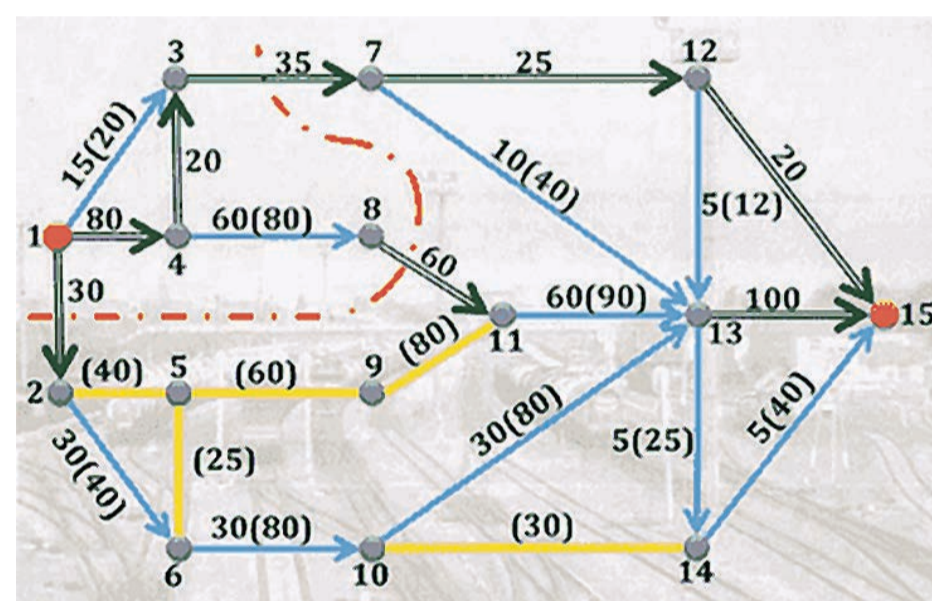


Рисунок 7. Граф разветвленного полигона

разрез проходит по участкам с максимальным использованием пропускной способности (штрихпунктирная линия на рис. 7): $n = n_{3-7} + n_{8-11} + n_{1-2} = 35 + 60 + 30 = 125$ поездов.

Сумма наличной пропускной способности участков, входящих в разрез, составляет пропускную способность разветвленного полигона сети железных дорог. Это определение имеет большое практическое значение. Участки, входящие в «разрез»: 3–7, 8–11, 1–2, являются «узким местом» и определяют общую пропускную способность. Поэтому повышение пропускной способности этих участков увеличивает общую пропускную способность.

Понятие разреза имеет большое значение и для оперативного управления потоками поездов. По кратчайшему пути между станциями 1 и 15 (рис. 7) максимально может быть пропущен поток 60 поездов/сутки. В оперативных условиях при временном возрастании потока или уменьшения пропускной способности участков весь заданный поток не может быть пропущен по кратчайшему пути. И тогда возникает вопрос о нахождении промежуточной величины заданного потока между общим максимальным потоком и следующим только по кратчайшему пути. Такие участки выделены в таблице 1. >>>

При сменно-суточном планировании с помощью табл. 1 можно проверить:

- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов максимального потока. При превышении, часть поездов должна сдаваться по другим железнодорожным стыкам;
- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов пропускной способности кратчайшего направления. При превышении, по табл. 1 выбираются круглые пути направления поездов.

Если рассматривать полигон любой дороги, то все они, как правило, имеют более двух стыковых пунктов с соседними дорогами. Тогда все возникающие задачи сводятся к задаче о потоке в сети с несколькими источниками и стоками. Решается задача с одним источником и одним стоком с добавлением одного дополнительного (фиктивного) источника и одного дополнительного (фиктивного) стока. Добавляются новые ориентированные ребра, ведущие из дополнительного источника во все существующие источники, а также ориентированные ребра, ведущие из каждого стока в дополнительный сток и имеющие бесконечно большие пропускные способности. Для нахождения максимального потока на полигоне с несколькими источниками и стоками целесообразно использовать метод, предложенный Гомори – Ху. Основная идея состоит в том, что несколько вершин сети принимаются за одну. Ребра между всеми «сжимаемыми» вершинами получают бесконечную пропускную способность. При этом ребра, связывающие вершину, не принадлежащую к числу сжимаемых, со всеми сжимаемыми вершинами, заменяются одним ребром с пропускной способностью, равной сумме пропускных способностей заменяемых связывающих ребер.

На исходной сети (рис. 8) определен максимальный поток поездов между источниками 1, 2 и стоками 12, 13, 14. Он равен 175 поездам (рис. 8). Разрез для этой задачи проходит по участкам 3–7, 8–11, 2–5, 2–6. Сумма пропускной способности участков, входящих в разрез, составляет общую пропускную способность многополюсной сети. Изменение условий задачи на неизменной сети привело к тому, что увеличение общей пропускной способности обеспечивает повышение наличной пропускной способности на отдельно взятых участках 2–5 и 2–6 по 15 поездов/сут на каждом.

На стыке интересов участников транспортного рынка возникает проблема эффективного использования пропускной способности, а в условиях ее дефицита – и вопросы ответственности за недостаточное использование.

Повышение уровня полезного использования пропускной способности

Максимальное использование пропускной способности достигается управлением еще только зарождающегося перевозочного процесса, моделированием предстоящей эксплуатационной работы, предвидением и недопущением затруднений.

Таблица 1

Распределение поездопотоков на разветвленном полигоне

Размеры потоков поездов/сут	Дополнительные пути следования потоков	Лимитирующие участки	Увеличение пути следования по сравнению с кратчайшим, км
61–90	1–2–5–9–11–13–15	1–2, 11–13	95
91–110	1–3–7–12–15	1–3, 12–15	170
111–115	1–4–3–7–12–13–15	7–12	230
116–120	1–4–3–7–13–15	13–15	250
121–125	1–4–3–7–13–14–15	3–7	310

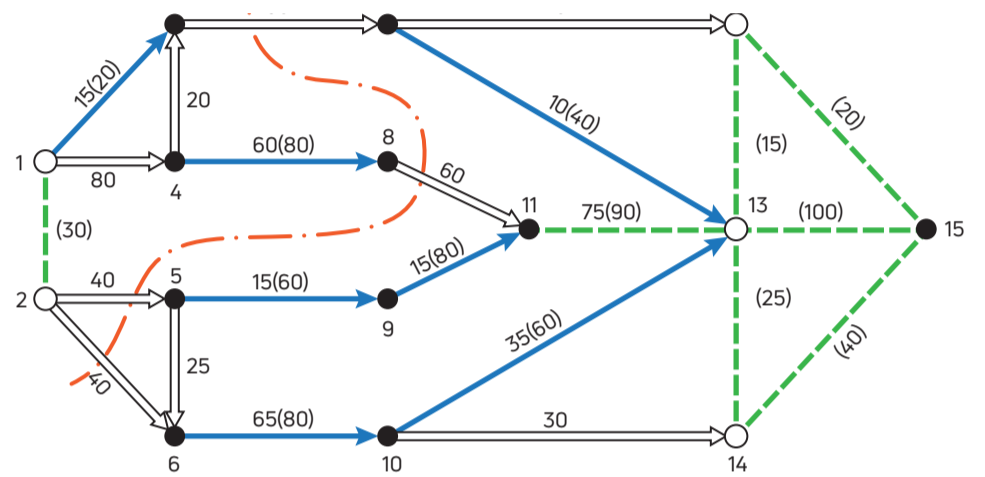


Рисунок 8. Максимальный поток и разрез на многополюсной сети

Предстоящий перевозочный процесс зарождается на сортировочных станциях, что определяет возможность в процессе накопления составов управлять поездообразованием, заблаговременно решать многочисленные задачи планирования, оперативного управления и обеспечения эксплуатационной работы железных дорог. Современный пассивный, неуправляемый процесс накопления составов не создает достоверной исходной информации необходимой глубины для оперативного планирования и управления поездной и грузовой работой, регулирования локомотивного парка и организации работы локомотивных бригад, не учитывает возможности своевременного обеспечения сформированных составов локомотивами, обеспечения «ниток» графика движения и насыщения участков поездами, соответствия четных и нечетных поездов в пунктах смены локомотивов, загрузку и условия работы технических и грузовых станций и т.д.

В тоже время технология перевозочного процесса не предусматривает регулирования и управления подводом поездов на сортировочные станции, не обеспечивает своевременного обеспечения сформированных составов локомотивами и отправления поездов со станций и не создает условия для неукоснительного соблюдения технологического процесса работы станций.

Из-за отсутствия управления подвода поездов к станциям коэффициент неравномерности прибытия поездов на сортировочные станции равен 2. На самые крупные отечественные сортировочные станции (Свердловск-Сортировочный, Бекасово-Сортировочное, Орехово-Зуево), перерабатывающие 5–6 составов в час, поезда прибывают в диапазоне от 0 до 10 поездов в час (рис. 9 и 10). Когда прибывает меньше 5 поездов в час, то невосполнимо теряется перерабатывающая >>>

способность сортировочных горок. А если больше 6 поездов в час, то возникают простои поездов у входного светофора из-за несвоевременного приема и межоперационные простои вагонов на станции. Межоперационные простои на сортировочных станциях сети железных дорог достигают почти 40 % времени нахождения на станции транзитных вагонов с переработкой и 65 % – транзитных вагонов без переработки.

В результате неравномерности прибытия поездов сортировочные станции работают с избытком вагонного парка, не в оптимальных условиях и замедляют доставку грузов.

Отправленные со станций формирования поезда в пути следования до станций назначения находятся в обезличенном поездопотоке, т.е. каждый отдельный поезд не находится под непрерывным диспетчерским контролем с целью своевременного прибытия на станцию назначения. Уровень выполнения графика движения грузовых поездов – 70 % создает неопределенность времени прибытия поездов на сортировочные станции.

Таким образом, причиной непроизводительного простоя вагонов на сортировочных станциях и невосполнимых потерь перерабатывающей способности сортировочных горок является отсутствие действенного механизма управления подводом поездов к сортировочным станциям и создания оптимальных условий их работы.

Если на сортировочных станциях сравнить моменты завершения накопления составов в течение суток за несколько лет, то мы увидим, что они никогда не повторяются. И само время накопления составов каждого назначения находится в очень широком диапазоне. Колебания продолжительности процессов накопления составов зависят от многих факторов, прежде всего, от изменения среднесуточных и почасовых объемов поступающих вагонопотоков.

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие – последовательность операций и нормы времени на их выполнение. Для эффективного оперативного управления работой станции этого недостаточно. Требуется третья составляющая – создание оптимальных условий работы, а для адаптации к реальной обстановке необходима четвертая составляющая – управление технологией.

Создание сетевой автоматизированной системы взаимодействия станций формирования и назначения поездов, которая позволит непрерывно учитывать, планировать, регулировать и управлять подходом поездов к сортировочным станциям в соответствии с перерабатывающей способностью. Разработка такой системы позволит: ликвидировать невосполнимые потери перерабатывающей способности сортировочных горок, межоперационные простои вагонов на станциях, создать оптимальные условия работы сортировочных станций без содержания избытка вагонного парка, задержки поездов из-за неприема станциями.

В сетевой автоматизированной системе предусматривается:

- учет и контроль дислокации всех формируемых поездов назначением на каждую сортировочную станцию;

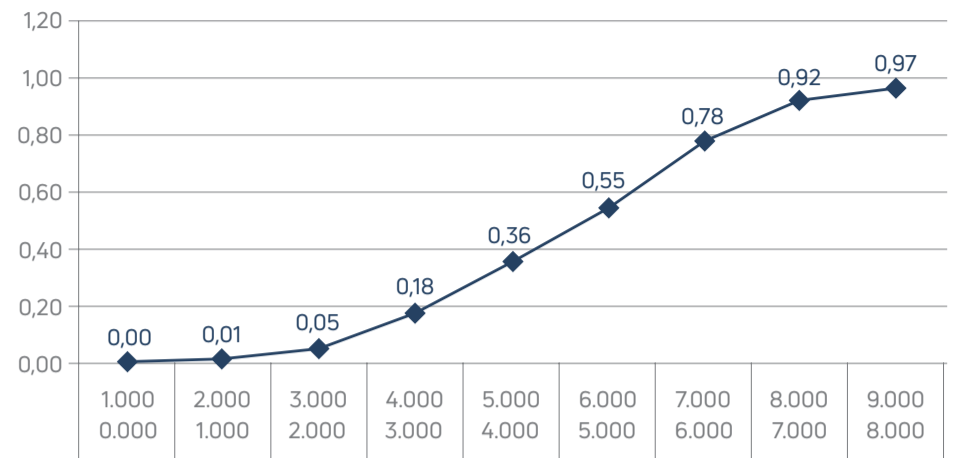


Рисунок 9. Интегральная кривая распределения почасового прибытия поездов на станцию Бекасово-Сортировочное

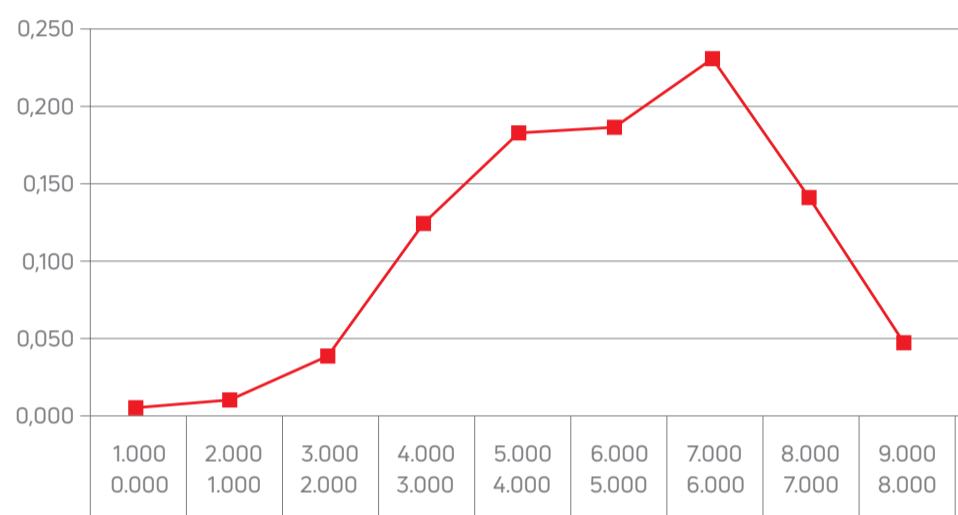


Рисунок 10. Дифференциальная кривая распределения почасового прибытия поездов на станцию Бекасово-Сортировочное

- прогноз времени хода (по эталонам) между станциями формирования и назначения поездов и прибытия на сортировочную станцию;
- при отклонениях в ходе перевозочного процесса – своевременная корректировка времени следования и прибытия на сортировочную станцию;
- оперативный учет загрузки сортировочных станций;
- путь следования поездов между станциями формирования и назначения поездов условно делится на часовые пояса (время хода по которым 1 ч), сумма поездов, находящихся в n-ом часовом поясе, оперативно показывает их поступление на сортировочную станцию через n часов;
- сопоставление и оперативное приведение в соответствие интенсивности подвода поездов к сортировочной станции и интенсивности роспуска составов с горки;
- для обеспечения необходимой интенсивности подвода поездов к сортировочной станции применение регулировочных мероприятий;
- качество работы сортировочной станции оценивается режимным графиком (оптимальному режиму работы сортировочных станций соответствует минимальное время нахождения вагонов на станции и соответствующее содержание вагонного парка);
- для реализации системы планирования, управления и регулирования подвода поездов к сортировочным станциям разрабатывается иерархическая структура непрерывного диспетчерского руководства за подходом поездов от станций формирования до станций назначения;



- для создания сетевой автоматизированной системы задача управления подвода поездов к сортировочным станциям формализуется с помощью цепей Маркова (последовательность событий с конечным исходом, где вероятность события зависит только от состояния, достигнутого в предыдущем событии);
- математическая постановка задачи управления подвода поездов к сортировочным станциям с использованием стохастических моделей состояния и управления, что позволит заблаговременно предвидеть возможные затруднения и отклонения и вырабатывать оптимальные управляющие воздействия (регулирующие меры).

Создание системы планирования, управления и регулирования подвода поездов к сортировочным станциям позволит за счет приведения прибытия поездов на станции в соответствие с перерабатывающей способностью сортировочных горок: создавать оптимальные условия работы сортировочных станций, ликвидировать простои поездов из-за неприема станциями, увеличить полезное использование перерабатывающей способности сортировочных горок, ликвидировать межоперационные простои вагонов на станциях, содержать в норме вагонный парк на сортировочных станциях, давать достоверную информацию о подходе поездов за 24–30 ч.

Такая глубина достоверного прогноза прибытия поездов на сортировочные станции позволяет до прибытия вагонов на станции заблаговременно моделировать процесс накопления составов, в ходе которого оперативно оптимизировать организацию вагонопотоков, получать исходные данные для обеспечения и планирования предстоящего перевозочного процесса.

Моделирование процесса накопления составов позволит:

- планировать составообразование;
- заблаговременно определять потребность локомотивов и локомотивных бригад;
- оптимально управлять поездообразованием;
- прогнозировать и заблаговременно сопоставлять число планируемых составов, локомотивов, локомотивных бригад и «ниток» графика движения поездов;
- заблаговременно приводить в соответствие число составов, локомотивов, локомотивных бригад и «ниток» графика движения поездов;
- планировать явку локомотивных бригад в основных депо и отдых в оборотных депо;
- планировать поездообразование и отправление поездов со станций исходя из создания оптимальных условий работы участков, пунктов смены локомотивов и локомотивных бригад;
- заблаговременно «развязывать» железнодорожные узлы (распределять сортировочную работу);
- определять затраты времени накопления при изменении нормы длины и массы поездов;
- оптимизировать очередность роспуска составов с горки;
- при скользящей специализации путей сортировочного парка после их освобождения устанавливать новые назначения составов;

- получать исходную информацию для управления локомотивным парком;
- заблаговременно планировать моменты завершения накопления составов в соответствии с «нитками» графика движения, в том числе при его оперативной разработке;
- в соответствии с планируемыми моментами завершения накопления составов выбирать эффективные назначения среди включенных и не включенных в план формирования и т.д.

Некоторые простейшие из этих задач имеются в действующих АСУ, но эффективность решения всех перечисленных задач во многом зависит от глубины планирования составообразования.

Управление поездообразованием обеспечит единство и взаимную связь всего перевозочного процесса, синхронность работы хозяйств, предприятий, нормативно-технологических документов, выполнение различных технологических операций

Заключение

Предложенный подход реализует возможность оперативного управления поездообразованием, позволяющая оптимизировать число формируемых составов, в соответствии с колебаниями размеров вагонопотоков, возможностью своевременного обеспечения их поездными локомотивами, «нитками» графика движения, созданием оптимальных режимов работы участков и сортировочных станций. Оперативное управление поездообразованием значительно расширяет число задач, решаемых планом формирования поездов, и позволит диспетчерскому аппарату вместо фиксирования прошедших и происходящих событий управлять предстоящей эксплуатационной работой.

Оперативное управление поездообразованием предусматривает:

- моделирование процесса накопления составов еще до прибытия вагонов на станцию;
- создание критериев, расчетных нормативов и методики оперативной корректировки плана формирования грузовых поездов;
- корректировку плана формирования грузовых поездов с учетом колебаний интенсивности поступления вагонопотоков, затруднений на грузовых станциях и других влияющих факторов;
- наличие заблаговременной информации о реальной возможности обеспечения формируемых составов локомотивами и локомотивными бригадами;
- наличие информации о «нитках» графика и возможности отправления поездов;
- наличие информации о насыщении участков поездами и возможности своевременного пропуска поездов до станции назначения;
- в период предоставления «окон» использование возможностей формирования более дальних назначений поездов;
- при возникновении чрезвычайной (нештатной) ситуации – перераспределение сортировочной работы и направления вагонопотоков. ■

Список литературы

1. Инструкция по расчету пропускной и провозной способности железных дорог ОАО «РЖД». Утверждена Распоряжением зам. Генерального директора ОАО «РЖД» С.А. Кобзевым № 545/р от 04.03.2022, - 342 с.
2. Фролов А.Н. Общие соображения о простое вагонов в сортировочном парке. XX совещательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог 1902 г. Протоколы заседаний и труды. М., 1903.
3. Щегловитов В.Н. Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах. – Варшава.: Типография А.Г. Сыркина, 1909.
4. О'Рурк А.Н. Использование линий, перегонов и подвижного состава. – Л.: Прибой, 1931, - 232 с.
5. Васильев И.И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Трансжелдориздат, 1941, - 575 с.
6. Вопросы эксплуатации железных дорог. Труды ЦНИИ МПС. Вып. 1. М.: Трансжелдориздат, 1946, - 130 с.
7. Васильев И.И., Гордеенко И.Я. Организация движения поездов на железнодорожном транспорте. М.: Трансжелдориздат, 1953, - 450 с.
8. Пейсахзон Б.Э. Вес и скорость грузовых поездов. Труды ВНИИЖТ. Вып. 71. М.: Трансжелдориздат, 1957, - 204 с.
9. Пейсахзон Б.Э. Расчеты потребной пропускной способности железных дорог //Вестник ВНИИЖТ, 1961, № 6, С.46-52.
10. Тихонов К.К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог. М.: Транспорт, 1974, - 192 с.
11. Козлов В.Е., Перминов А.С., Чернюгов А.Д. Повышение веса и скорости движения поездов. М.: Транспорт, 1977, - 65 с.
12. Каретников А.Д., Воробьев Н.А. График движения поездов. М.: Транспорт, 1979, - 302 с.
13. Макаровичкин А.М., Дьяков Ю.В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. М.: Транспорт, 1981, - 287 с.
14. Левин Д.Ю., Павлов В.Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. – М. ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. – 364 с.