

УДК 656.225

**МЕТОДИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВНУТРИСУТОЧНОГО БАЛАНСА
ЛОКОМОТИВОВ НА СТАНЦИЯХ СТЫКОВАНИЯ РОДОВ ТОКА**

Корниенко Н. В.

Ведущий технолог,

*АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»
(ВНИИЖТ),*

Москва, Российская Федерация

Корниенко А. С.

Студент,

Российский Университет транспорта (МИИТ),

Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ.

Введение. В ходе осуществления перевозочного процесса внутрисуточная неравномерность распределения эксплуатируемого парка локомотивов достигает значительных размеров. Дефицит локомотивов в местах их размена приводит к нарушению баланса тяговых ресурсов, что требует принятия оперативных решений по их дополнительной подсылке по регулировочному заданию. В этой связи, актуальной и важной задачей является разработка механизма регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов на станциях при исчерпании резервов тяги, что позволит не только компенсировать влияние внутрисуточной неравномерности их распределения, но и в целом повысить степень рациональной эксплуатации локомотивного парка.

Материалы и методы. Решение задачи регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов при исчерпании резервов тяги основывается на технологии интервального регулирования поездопотоков по периодам суток, предусматривающую отправление грузовых поездов в количестве не более

норматива, а также балансовый расчет и восстановление парного движение тяговых ресурсов.

Результаты. Предложена методика регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов на станциях стыкования родов тока при исчерпании резервов тяги.

Обсуждение и заключение. Использование предлагаемой методики позволяет повысить эффективность регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов по 3-х часовым периодам в условиях высокой неравномерности движения поездов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: станция стыкования родов тока, участковая скорость, баланс тяговых ресурсов, технология интервального регулирования, резерв тяговых ресурсов, подсылка локомотивов по регулировочному заданию.

METHOD OF REGULATION OF INTRA-DAILY BALANCE OF LOCOMOTIVES AT STATIONS OF JOINTING OF TYPES OF CURRENT

Kornienko N. V.

The leading technologist,

JSC Scientific Research Institute of Railway Transport (VNIIZHT),

Moscow, Russian Federation

Kornienko A.S.

Student,

Russian University of Transport (MIIT),

Moscow, Russian Federation

Annotation.

Introduction. During the transportation process, the intraday unevenness of the distribution of the operated fleet of locomotives reaches significant proportions. The shortage of locomotives in the places of their exchange leads to a violation of the

balance of traction resources, which requires making operational decisions on their additional dispatch according to the regulatory task. In this regard, an urgent and important task is to develop a mechanism for regulating the intraday balance of traction resources at stations when traction reserves are exhausted, which will not only compensate for the effect of intraday uneven distribution, but also generally increase the degree of rational operation of the locomotive fleet.

Materials and methods. The solution to the problem of regulating the intra-day balance of traction resources when reserves of traction are exhausted is based on the technology of interval regulation of train flows by periods of the day, which provides for the departure of freight trains in an amount not exceeding the standard, as well as the balance calculation and restoration of paired movement of traction resources.

Results. A method is proposed for regulating the intraday balance of traction resources at DC docking stations when thrust reserves are exhausted.

Discussion and conclusion. The use of the proposed methodology makes it possible to increase the efficiency of regulating the intraday balance of traction resources over 3-hour periods in conditions of high uneven train movement.

KEYWORDS: DC docking station, local speed, balance of traction resources, interval control technology, reserve of traction resources, sending locomotives according to the adjustment task.

Введение. Рациональное использование эксплуатируемого парка локомотивов обеспечивается качеством увязки графиков оборота локомотивов и локомотивных бригад с графиком движения поездов, которая учитывает размещение резервов тяговых ресурсов на станциях оборота локомотивов с учетом неравномерности движения поездов [1, 2]. Однако из-за высокой неравномерности распределения тяговых ресурсов на железнодорожных полигонах резервов тяги на станциях смены локомотивов в отдельные

внутрисуточная периоды зачастую оказывается недостаточно и баланс локомотивов на станциях оборота нарушается.

Практическое решение задачи установления и баланса тяговых ресурсов связано с применением технологии интервального регулирования поездопотоков по периодам суток. В оперативных условиях технология предусматривает отправление грузовых поездов в количестве не более норматива, установленного по 3-х часовым периодам, а также балансовый расчет и восстановление парного движения локомотивов [3]. В этой связи, актуальной и важной задачей является разработка механизма регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов на станциях при исчерпании резервов тяги, что позволит не только компенсировать влияние внутрисуточной неравномерности их распределения, но и в целом повысить степень рациональной эксплуатации локомотивного парка.

Постановка задачи. В первом приближении проблема может быть решена «применительно к станциям стыкования родов тока – наиболее простому виду станций оборота, где происходит 100% размен поездных локомотивов «один к одному» и которые оказывают значительное влияние на обеспечение стабильного продвижения поездопотоков. В настоящее время на сети ОАО «РЖД» расположено 25 станций стыкования родов тока» [4, 5]. Эти станции, как правило, «располагаются на железнодорожных маршрутах, имеющих ограничения в пропускной способности, и являются «барьерными» местами на ключевых экспортных направлениях и подходах к портам. На таких станциях возникают непроизводительные простои транзитных поездов - задержки на подходах к станции» [6, 7], ожидание обеспечения поездными локомотивами, и, как следствие, заполнение емкости приемоотправочных парков.

Уравнение баланса тяговых ресурсов на станциях стыкования родов тока может быть представлена следующим образом:

$$\left[\sum_{i=1}^n M_i^{\text{отпр}} + \sum_{i=1}^n M_i^{\text{РТР}}\right]^{\text{неч/чет}} = \left[\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{РТР}}\right]^{\text{чет/неч}}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n M_i^{\text{отпр}}$ - количество локомотивов, отправленных со станции с поездами по перецепке, ед.; $\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр}}$ - количество локомотивов, прибывших на станцию с поездами для перецепки, ед.; $\sum_{i=1}^n M_i^{\text{РТР}}$ – резерв тяговых ресурсов, ед..

Установлено, что в основе расчета баланса тяговых ресурсов целесообразно использовать метод имитационного моделирования поэтапного ввода минимально необходимого количества локомотивов, обеспечивающих отправляемый поездопоток. Такой метод реализуется в рамках динамической транспортной задачи с задержками [8, 9]. В соответствии с этим подходом модель оборота становится замкнутой. При этом она не исключает простои составов в ожидании отправления из-за отсутствия локомотивов, хотя и предполагает их минимизацию путем формулировки требования к вводу дополнительных локомотивов на основе организованной передислокации резервом со станций их избытка в пункты дефицита [10-12].

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что принятием решения по вводу дополнительных локомотивов применительно к установленному 3-х часовому периоду планирования T являются сведения о том, что:

а) величина прогнозного прибытия тяговых ресурсов меньше графической величины их отправления:

$$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{пр чет/неч } T} < \sum_{i=1}^n M_{i \text{ граф}}^{\text{отпр неч/чет } T}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ граф}}^{\text{отпр неч/чет } T}$ – количество локомотивов, планируемых к отправлению со станции с поездами четного и нечетного направлений согласно нормативному графику движения поездов в установленном периоде, ед.;
Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{пр чет/неч } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к прибытию на станцию с поездами четного и нечетного направлений в установленном периоде, ед.;

б) величина прогнозного резерва тяговых ресурсов меньше величины требуемого резерва:

$$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РТР } T} < \sum_{i=1}^n M_i^{\text{РТР } T}, \text{ т.е. } (\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{НР } T} + \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РР } T}) < (\sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{НР } T} + \sum_{i=1}^n M_{i \text{ план}}^{\text{РР } T}), \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n M_i^{\text{РТР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из резерва тяговых ресурсов согласно плану проведения ТО-2 (работа пункта технического обслуживания локомотивов – далее ПТОЛ), к подсылке по регулировочному заданию согласно нормативному графику движения поездов, а также определённых нормативами Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» (далее – ЦД), Центральной дирекцией тяги – филиала ОАО «РЖД» (далее – ЦТ) в установленном периоде, ед.

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{НР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из нормативного резерва в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из регулировочного резерва в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{НР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из резерва тяговых ресурсов согласно установленным нормативам ЦД, ЦТ в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ план}}^{\text{РР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из резерва тяговых ресурсов согласно плану проведения ТО-2 и подсылке по

регулирующему заданию согласно нормативному графику движения поездов, в установленном периоде, ед.

При этом

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{НР } T} &< \\ \sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{НР } T} \text{ т. е. } \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ЦТ } T} &< \sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{ЦТ } T} \vee \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ЦД } T} < \\ \sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{ЦД } T} \vee \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{след } T} &< \sum_{i=1}^n M_{i \text{ граф}}^{\text{след } T}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ЦТ } T}$, $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ЦД } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из технологического резерва ЦТ и оперативного резерва ЦД в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{ЦТ } T}$, $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ норм}}^{\text{ЦД } T}$ – количество локомотивов, определенных нормативами к выдаче из технологического резерва ЦТ и оперативного резерва ЦД в установленном периоде, ед.;

$M_{i \text{ прог}}^{\text{след } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к подсылке по регулировочному заданию в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ граф}}^{\text{след } T}$ – количество локомотивов, определенных к подсылке по регулировочному заданию согласно нормативному графику движения поездов в установленном периоде, ед.

А также

$$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РР } T} < \sum_{i=1}^n M_{i \text{ план}}^{\text{РР } T} \text{ т. е. } \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ПТОЛ } T} < \sum_{i=1}^n M_{i \text{ план}}^{\text{ПТОЛ } T}, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{ПТОЛ } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из ПТОЛ после проведения ТО-2 в установленном периоде, ед.;

$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ план}}^{\text{ПТОЛ } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче прогнозируемых к выдаче из ПТОЛ после проведения ТО-2 согласно плану проведения ТО-2 (работа ПТОЛ) в установленном периоде, ед.

В этом случае условием поддержания баланса является равенство графической величины отправления ТР сумме прогнозных величин прибытия и резерва ТР:

$$\sum_{i=1}^n M_{i \text{ граф}}^{\text{отпр неч/чет } T} = \left(\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{пр чет/неч } T} + \sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РТР } T} \right) \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ прог}}^{\text{РТР } T}$ – количество локомотивов, прогнозируемых к выдаче из резерва ТР в установленном периоде, ед.

Методы исследования. В ходе осуществления перевозок, несмотря на имеющийся на станции резерв, в условиях частых колебаний скоростей поездопотоков для соблюдения графических условий баланса в отдельных суточных периодах на станциях стыкования родов тока тяговых ресурсов оказывается недостаточно [13]. Исследования показывают, что такое рассогласование на практике можно принять как характеризующее работу станции в течение суток (рис.1-2).

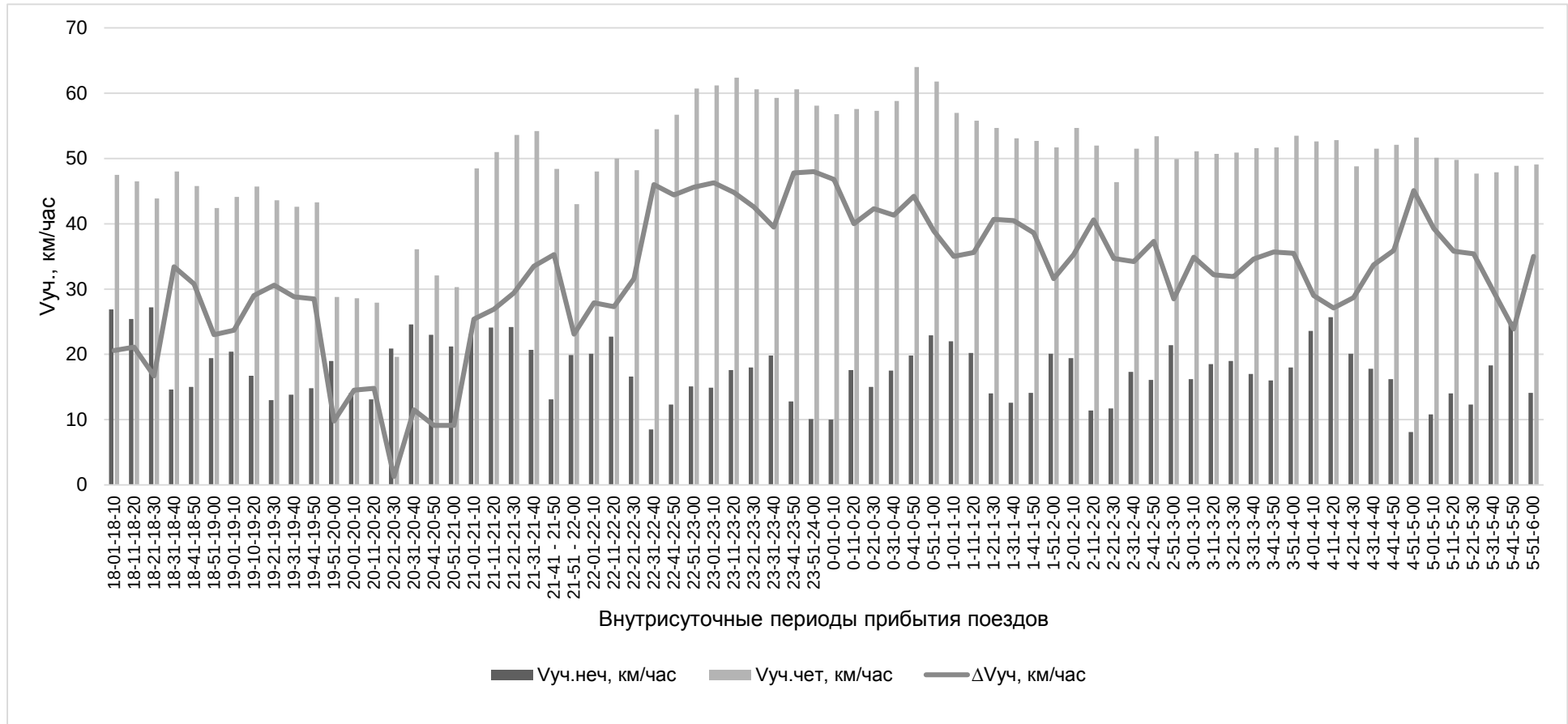


Рис.1. Анализ внутрисуточных колебаний участковых скоростей входящих поездопотоков за среднестатистические сутки (1 смена)

- Источник: рисунок разработан авторами на основании анализа данных программного комплекса управления эксплуатационной работой ГИД «Урал-ВНИИЖТ»

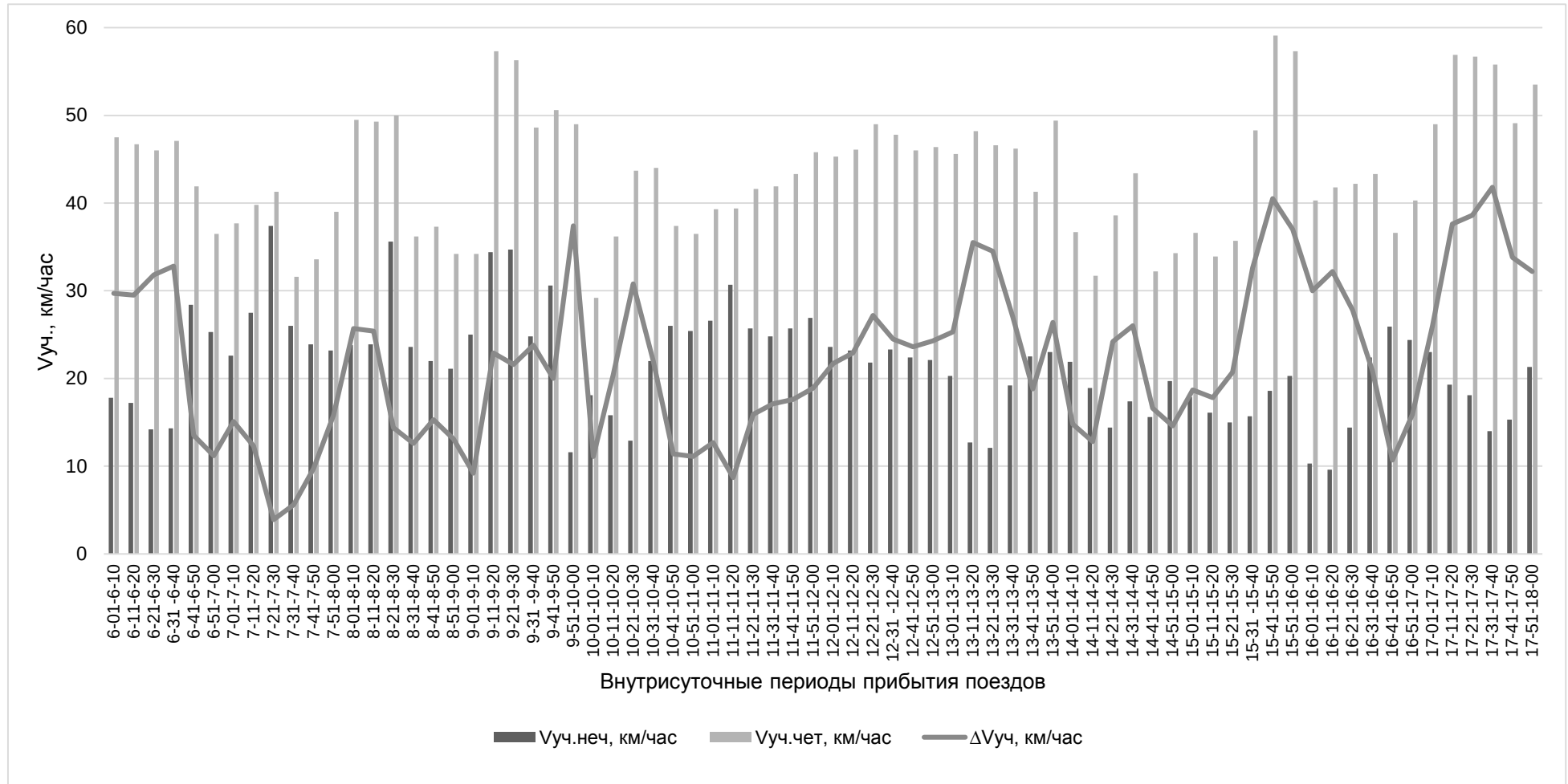


Рис.2. Анализ внутрисуточных колебаний участковых скоростей входящих поездопотоков за среднестатистические сутки (2 смена)

*Источник: рисунок разработан авторами на основании анализа данных программного комплекса управления эксплуатационной работой ГИД «Урал-ВНИИЖТ»

В отличие от установленного графиком движения поездов это рассогласование связано с неравномерностью перевозочного процесса и не позволяет осуществлять размен тяги, что приводит к прекращению приема поездов на станцию (интервалы неприема поездов выделены голубым цветом) и длительным простоям поездов в ожидании локомотивов. Станция работает с перерывами в движении поездов, не обеспечивая необходимый размен тяги. Анализ работы станции стыкования родов тока показывает, что по окончании каждого 3-х часового периода суток поезда обоих направлений остаются не обеспеченными локомотивами (рис.3-4).

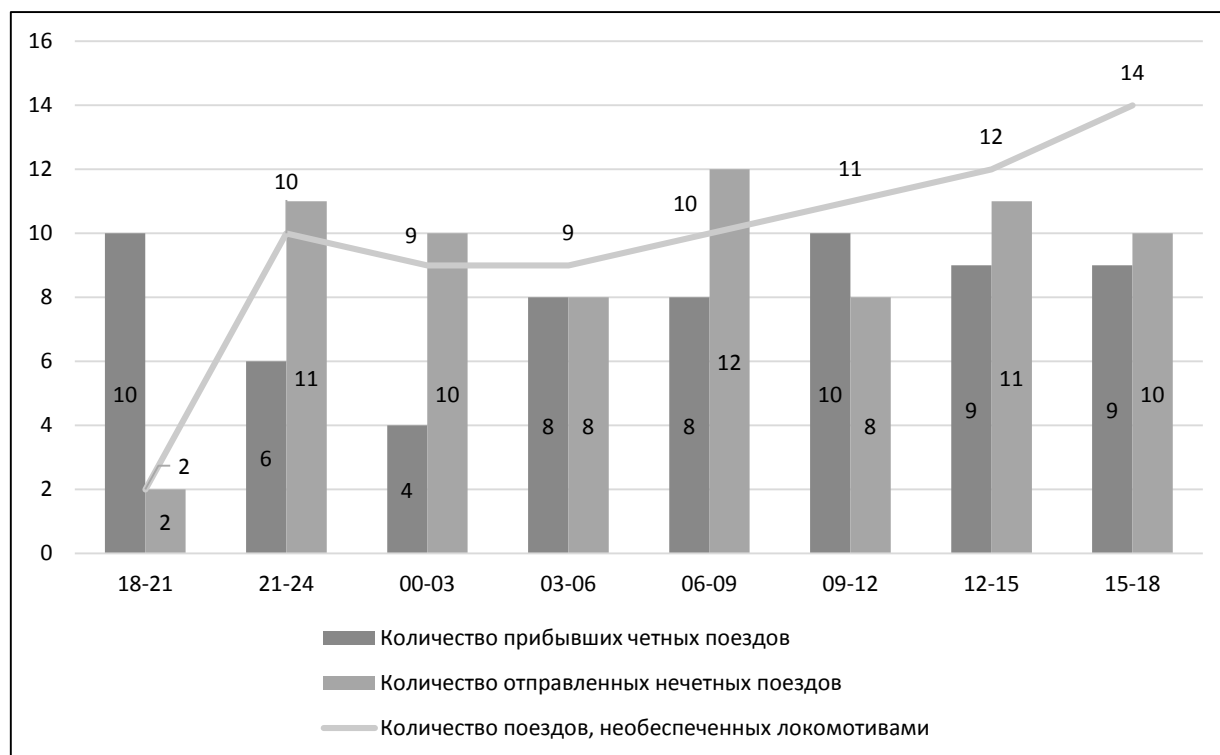


Рис.3. Анализ обеспечения ниток графика тяговыми ресурсами за среднестатистические сутки (нечетное направление)

*Источник: рисунок разработан авторами на основании анализа данных программного комплекса управления эксплуатационной работой ГИД «Урал-ВНИИЖТ»

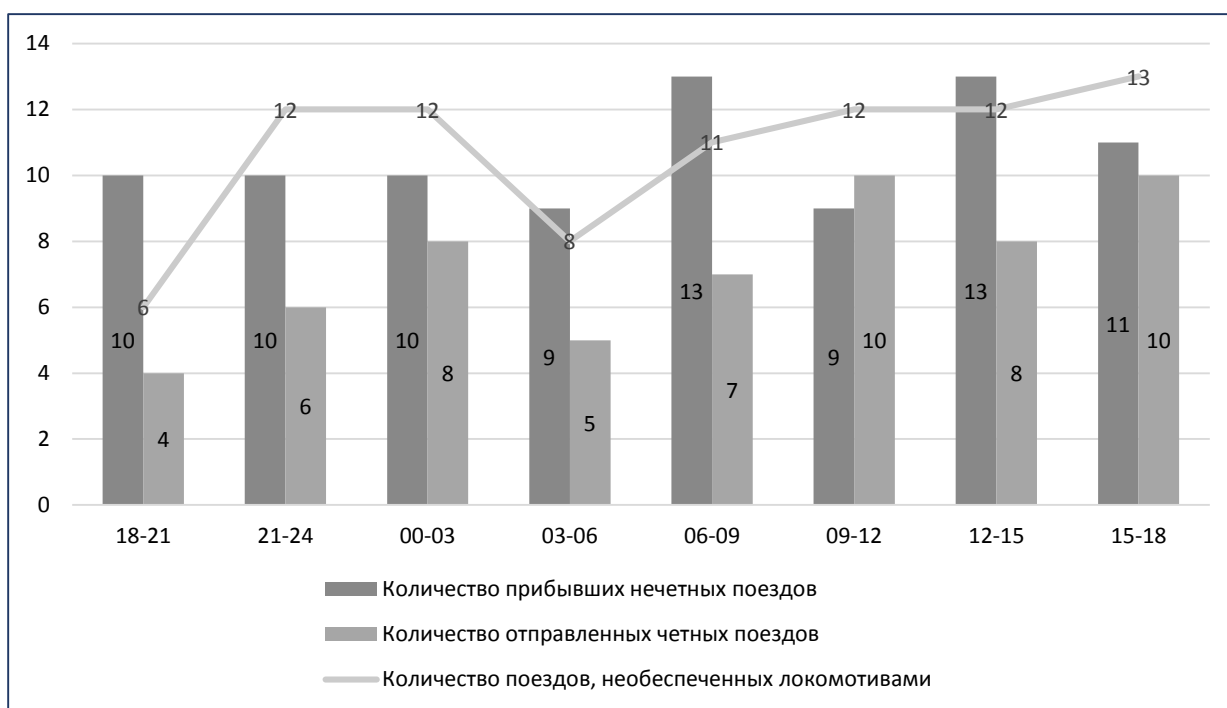
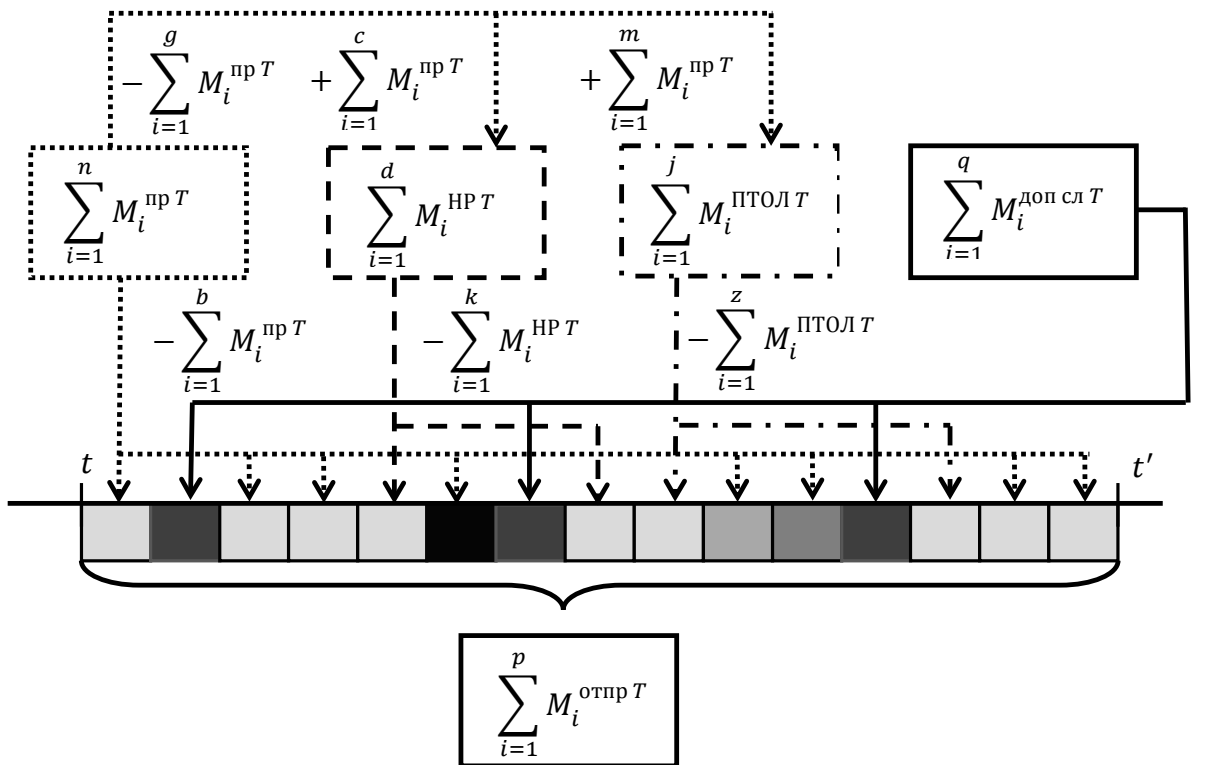


Рис.4. Анализ обеспечения ниток графика тяговыми ресурсами за среднестатистические сутки (четное направление)

*Источник: рисунок разработан авторами на основании анализа данных программного комплекса управления эксплуатационной работой ГИД «Урал-ВНИИЖТ»

При этом необеспечение нечетных поездов увеличивается, а прием/отправление локомотивов резервом с/на прилегающие к станции стыкования перегоны практически отсутствует (локомотивы либо простаивают в ожидании перецепки, либо заходят на территорию ПТОЛ).

Согласно сформулированному условию (6), планируемые нитки отправления обеспечиваются тяговыми ресурсами за счет перецепки локомотивов, выдачи из нормативного резерва и ПТОЛ (рис.5). Если нитки не обеспечиваются, то возникает необходимость использования дополнительной подсылки локомотивов. В этом случае необходимо использовать алгоритм автоматизированного баланса тяговых ресурсов в 3-х часовых периодах планирования, предназначенный для использования в условиях, близких к исчерпанию резервов тяги на станции, подробно рассмотренный в [4].



- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | обеспеченная локомотивом нитка поезда нормальной весовой нормы |  | обеспеченная локомотивом нитка поезда повышенной массы и длины |
|  | обеспеченная локомотивом нитка контейнерного поезда |  | обеспеченная локомотивом нитка соединенного поезда |
|  | нитка, требующая подсылки локомотива по регулировке | | |

- $\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр } T}$ - количество локомотивов, прибывшим с поездами
 $\sum_{i=1}^b M_i^{\text{пр } T}$ - количество локомотивов, перецепленные к ниткам графика по прибытию
 $\sum_{i=1}^g M_i^{\text{пр } T}$ - количество локомотивов, прибывших с поездами и направленные в нормативный резерв и ПТОЛ
 $\sum_{i=1}^c M_i^{\text{пр } T}$ - количество локомотивов, поступивших в нормативный резерв
 $\sum_{i=1}^m M_i^{\text{пр } T}$ - количество локомотивов, поступивших в ПТОЛ
 $\sum_{i=1}^d M_i^{\text{НР } T}$ - количество локомотивов, находящихся в нормативном резерве
 $\sum_{i=1}^k M_i^{\text{НР } T}$ - количество локомотивов, выданных из нормативного резерва
 $\sum_{i=1}^j M_i^{\text{ПТОЛ } T}$ - количество локомотивов в ПТОЛ
 $\sum_{i=1}^z M_i^{\text{ПТОЛ } T}$ - количество локомотивов, выданных из ПТОЛ
 $\sum_{i=1}^q M_i^{\text{доп сл } T}$ - количество локомотивов, прогнозируемых к дополнительной подсылке
 $\sum_{i=1}^p M_i^{\text{отпр } T}$ - количество локомотивов, планируемых к отправлению с поездами

Рис.5. Пониточные тяговые ресурсы в установленном 3-х часовом периоде планирования T

*Источник: разработан авторами

Решение задачи. Как обсуждалось в [4], установление баланса тяговых ресурсов за счет регулировочного резерва $\sum_{i=1}^n M_i^{PP}$ целесообразно выполнять при исчерпании нормативного резерва $\sum_{i=1}^n M_i^{HP}$. Величина регулировочного резерва не может быть определена заранее и должна подчиняться условиям расхода нормативного резерва в зависимости от разности скоростей входящих на станцию поездопотоков. Исследования показывают, что проблема может быть решена за счет использования предложенной в [4] зависимости между прогнозной величиной дополнительной подсылки локомотивов по регулировке $\Delta M^{\text{прог } T}$ (как части регулировочного резерва) и разницей участковых скоростей поездопотоков встречных направлений $\Delta V_{\text{уч}}^{\text{прог } T}$:

$$\Delta M^{\text{прог } T} = f \left(\Delta V_{\text{уч}}^{\text{прог } T} \right), \quad (7)$$

На основе предложенной зависимости разработана методика регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов при исчерпании резервов тяги, которая включает в себя этапы I – V.

Этап I. Оценка возможности регулирования баланса за счет использования тяговых ресурсов, имеющихся на станции

На первом этапе назначается 3-х часовой период регулирования. В установленном периоде определяется состояние баланса по системам тяги постоянного и переменного тока: дефицит, профицит или равенство имеющегося числа локомотивов требуемому.

1.1 Назначение периода производится в следующей последовательности:

1.1.1 Уточняется расположение наиболее удаленных станций дислокации (оборота и перецепки) тяговых ресурсов по родам тока на полигоне для организации подсылки локомотивов в случае необходимости (рис.6).

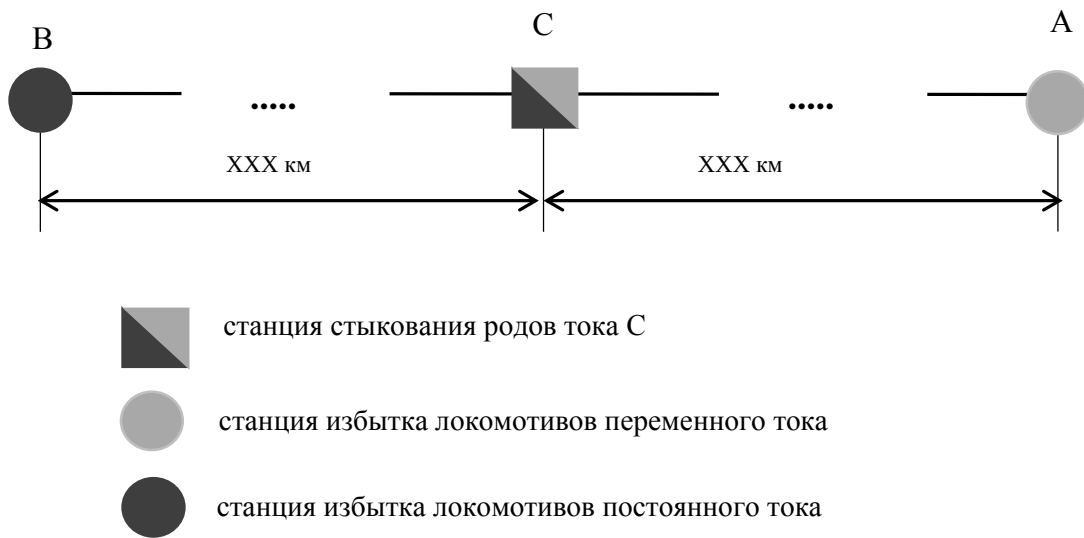


Рис.6 – Схематичное определение дислокации необходимых тяговых ресурсов относительно станции С

*Источник: разработан авторами

1.1.2 По значению графической средней участковой скорости $V_{уч}^{граф}$ определяется максимальное время движения локомотивов переменного и постоянного тока от наиболее удаленных станций их дислокации $t_{ij}^{доп\ сл\ max}$, полученное значение округляется в большую сторону

$$t_{ij}^{доп\ сл\ max} = f(V_{уч}^{граф}), \quad (8)$$

1.1.3 Принимается, что начало периода регулирования баланса T_i равно

$$T_i = t_{тек} + t_{ij}^{доп\ сл\ max}, \quad (9)$$

где $t_{тек}$ – начальный момент регулирования баланса, час

и может изменяться в зависимости от $t_{ij}^{доп\ сл\ max}$

$$T_i = f(t_{ij}^{доп\ сл\ max}), \quad (10)$$

1.2. Состояние баланса определяется на основе обработки ниток прибытия $N^{\text{пр чет}}$, $N^{\text{пр неч}}$ и ниток отправления $N^{\text{отпр чет}}$, $N^{\text{отпр неч}}$ по станции в четном и нечетном направлениях в следующей последовательности:

1.2.1 По каждой из систем тока в установленном периоде проверяется соответствие числа и серий локомотивов, требуемых для отправления поездов – числу и сериям локомотивов в поездах по прибытию за вычетом их постановки на ТО и в нормативный резерв:

а) система тяги постоянного тока

$$N^{\text{отпр неч}} \rightarrow M^{\text{отпр неч}}, N^{\text{пр чет}} \rightarrow M^{\text{пр чет}}, \quad (11)$$

$$M^{\text{отпр неч}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{отпр неч}}, M^{\text{пр чет}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр чет}}$$

$$\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр чет}} = \left(\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{ПТОЛ}} + \sum_{i=1}^n M_i^{\text{сл}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{НР}} \right)^{\text{чет}}$$

$$M^{\text{отпр неч}} \leftrightarrow M^{\text{пр чет}}$$

б) система тяги переменного тока

$$N^{\text{отпр чет}} \rightarrow M^{\text{отпр чет}}, N^{\text{пр неч}} \rightarrow M^{\text{пр неч}}, \quad (12)$$

$$M^{\text{отпр чет}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{отпр чет}}, M^{\text{пр чет}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр неч}}$$

$$\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр неч}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр 3ч}} = \left(\sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{ПТОЛ}} + \sum_{i=1}^n M_i^{\text{сл}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{НР}} \right)^{\text{неч}}$$

$$M^{\text{отпр чет}} \leftrightarrow M^{\text{пр неч}}$$

1.2.2 Определяется система дефицита тяговых ресурсов

1.2.2.1 для системы тяги постоянного тока:

если $M^{\text{отпр неч}} > M^{\text{пр чет}}$, то возникает дефицит тяговых ресурсов;

если $M^{\text{отпр неч}} < M^{\text{пр чет}}$, то возникает профицит тяговых ресурсов;

если $M^{\text{отпр неч}} = M^{\text{пр чет}}$, то устанавливается баланс тяговых ресурсов.

1.2.2.2 для системы тяги переменного тока:

если $M^{\text{отпр чет}} > M^{\text{пр неч}}$, то возникает дефицит тяговых ресурсов;

если $M^{\text{отпр чет}} < M^{\text{пр неч}}$, то возникает профицит тяговых ресурсов;

если $M^{\text{отпр чет}} = M^{\text{пр неч}}$, то устанавливается баланс тяговых ресурсов.

1.2.3 Дальнейший расчет ведется для системы тяги, характеризующей дефицитом тяговых ресурсов в установленном периоде.

Этап II. Оценка пониточной потребности тяговых ресурсов в установленном периоде для системы тяги, характеризующей дефицитом локомотивов

Оценка пониточной потребности осуществляется в следующей последовательности:

2.1 Оценивается число локомотивов из планируемого прибытия (включая графиковую регулировку), предназначенных для перецепки (с учетом вычета их постановки на ТО и в нормативный резерв) к планируемым для отправления составам по ниткам графика с учетом ранее не обеспеченных ниток (рис.7).

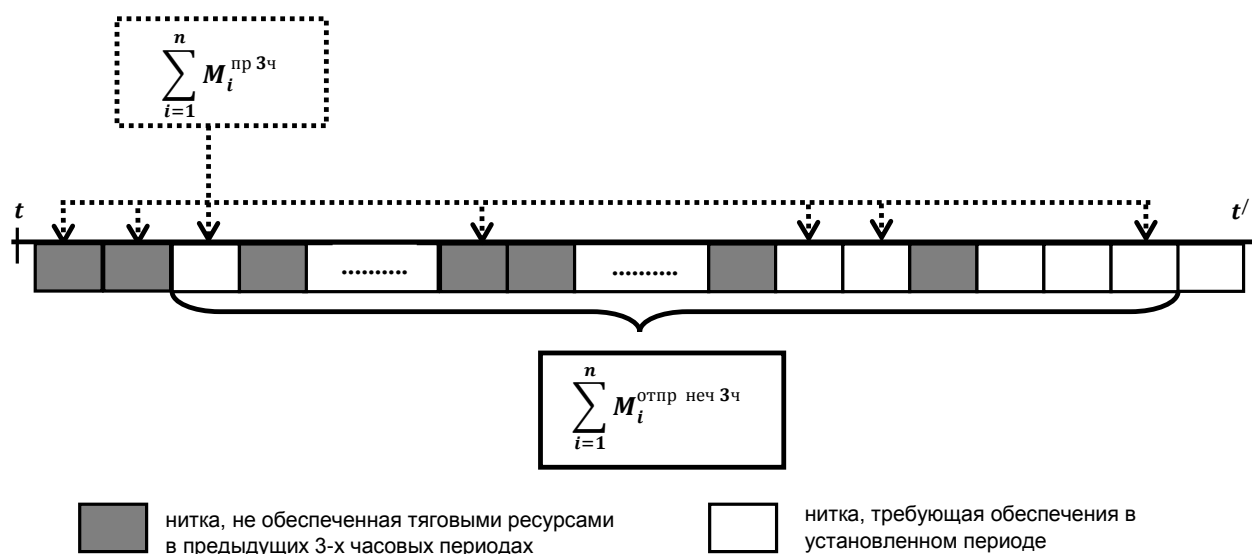


Рис.7 – Схема перецепки прибывших локомотивов под готовые к отправлению составы по ниткам графика в периоде $[t, t']$

*Источник: разработан авторами

2.2. Оценивается число планируемых выдач локомотивов из ПТОЛ для подвязки к планируемым ниткам отправления в установленном периоде с учетом

ниток, не обеспеченных тяговыми ресурсами в предыдущих 3-х часовых периодах (рис. 8).

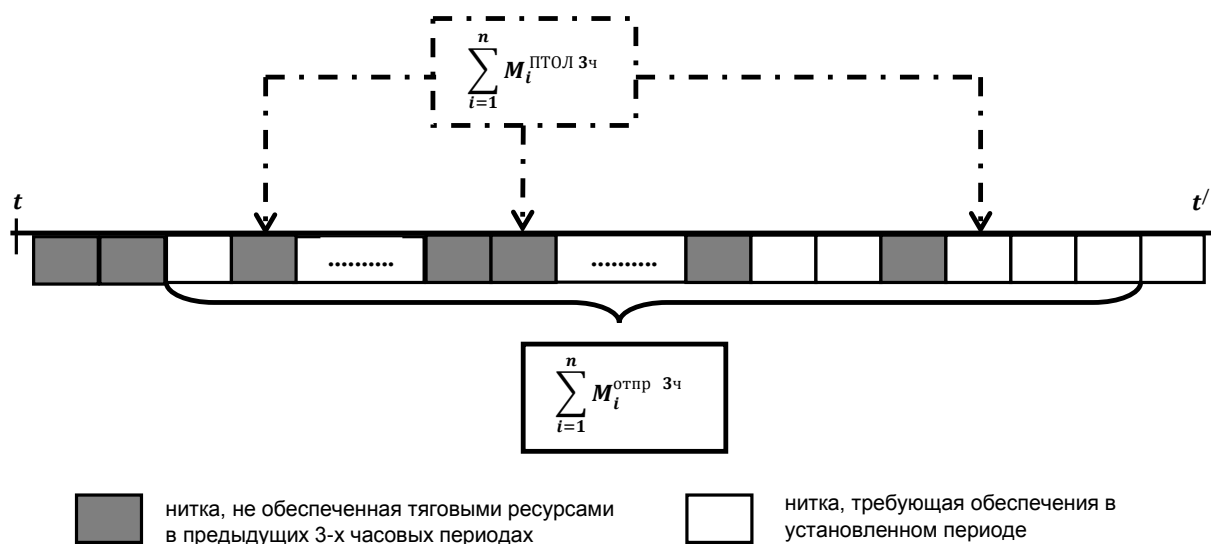


Рис.8 – Схема подвязки локомотивов, выдаваемых из ПТОЛ к планируемым ниткам отправления в периоде $[t, t']$

*Источник: разработан авторами

2.3 Оценивается число возможных выдач локомотивов из нормативного резерва для подвязки к планируемым ниткам отправления в установленном периоде с учетом ниток, не обеспеченных тяговыми ресурсами в предыдущих 3-х часовых периодах (рис. 9).

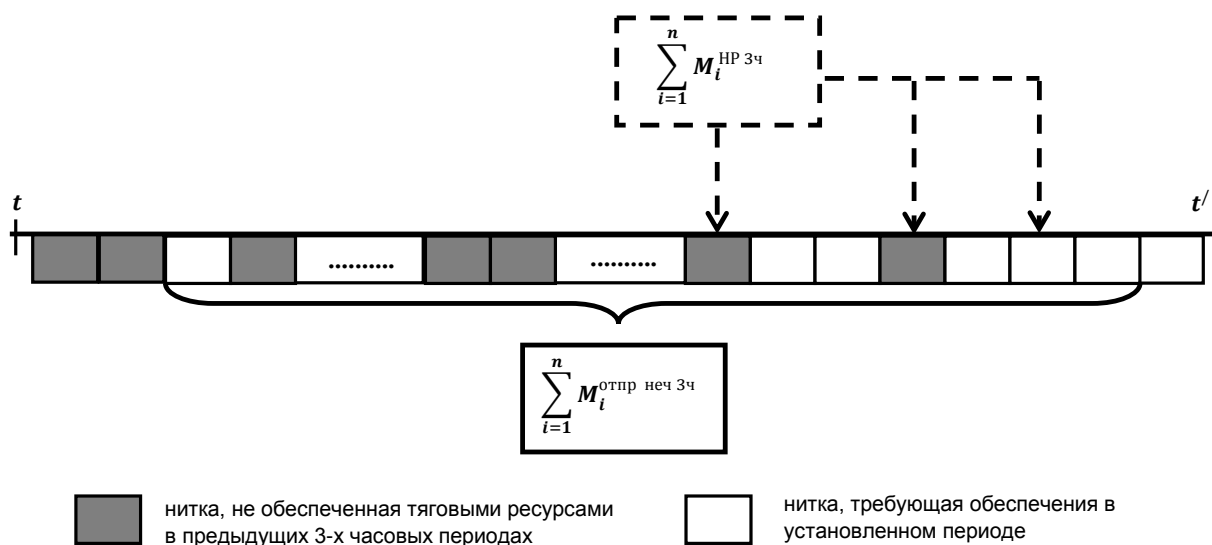


Рис.9 – Схема обеспечения планируемых ниток отправления за счет нормативного резерва в периоде $[t, t']$

*Источник: разработан авторами

1.3 Оценивается недостающее число локомотивов, необходимых для обеспечения ниток отправления в системе рода тяги.

$$M_i^{\text{недост}} = \sum_{i=1}^n M_i^{\text{отпр } 3\text{ч}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{пр } 3\text{ч}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{птол } 3\text{ч}} - \sum_{i=1}^n M_i^{\text{нр } 3\text{ч}}, \quad (13)$$

Этап III. Оценка возможности восполнения недостающего числа локомотивов путем их подсылки

Оценка возможности восполнения недостающего числа локомотивов путем их подсылки осуществляется в следующей последовательности:

3.1 Определяется отклонение участковых скоростей встречных потоков поездов $\Delta V_{\text{уч}}^{\text{прог } 3\text{ч}}$ друг от друга в установленном 3-х часовом периоде

$$\Delta V_{\text{уч}}^{\text{прог } 3\text{ч}} = V_{\text{уч чет}}^{\text{прог } 3\text{ч}} - V_{\text{уч неч}}^{\text{прог } 3\text{ч}}, \quad (14)$$

где $V_{\text{уч чет}}^{\text{прог } 3\text{ч}}$ – участковая скорость входящего потока поездов четного направления в установленном 3-х часовом периоде, км/час; $V_{\text{уч неч}}^{\text{прог } 3\text{ч}}$ – участковая скорость входящего потока поездов нечетного направления в установленном 3-х часовом периоде, км/час.

3.2 На основе зависимости (7) рис.10, определяется величина $\Delta M^{\text{прог } T}$, прогнозируемая к подсылке по регулировочному заданию со станций их избытка.

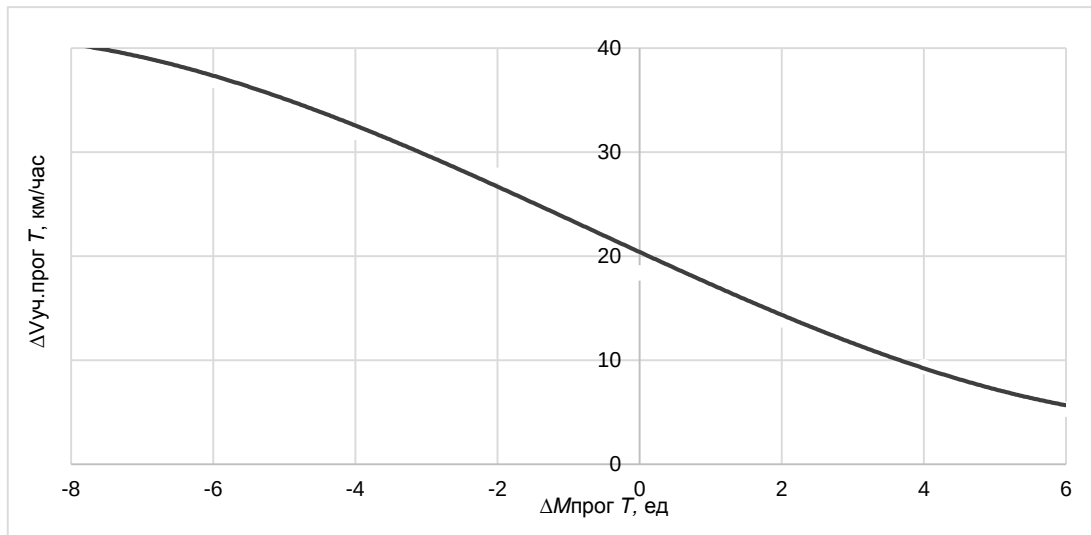


Рис.10 - Зависимость, используемая для определения величины резерва локомотивов, прогнозируемой к подсылке по регулировочному заданию для обеспечения ниток оправления

*Источник: разработан авторами

3.3 Устанавливаются станции дислокации тяговых ресурсов требуемых серий, которые могут быть использованы для регулирования баланса на станции стыкования родов тока для организации их перемещения (рис. 11).

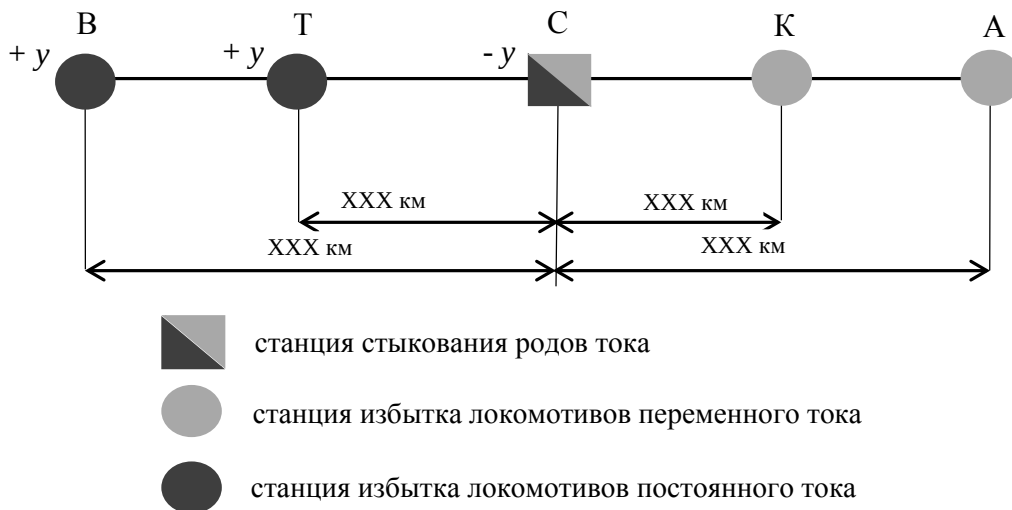


Рис.11 – Топология дислокации тяговых ресурсов на станциях железнодорожного полигона

*Источник: разработан авторами

3.4 Определяются ближайшие станции j , с которых будет осуществляться передислокация тяговых ресурсов, а также количество и серии локомотивов, предназначенных к подсылке M_i с этих станций.

3.5 Определяется время передислокации тяговых ресурсов $t_{ij}^{\text{доп сл}}$ по всем возможным вариантам их размещения на полигоне

3.6 Устанавливается рабочий маршрут передислокации тяговых ресурсов (таблица 1) по критерию минимизации времени подсылки:

$$t_{ij}^{\text{доп сл}} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где $t_{ij}^{\text{доп сл}} = \frac{S_{ij}^{\text{доп сл}}}{V_{\text{уч}}^{\text{прог 3 ч}}}$, $S_{ij}^{\text{доп сл}}$ – протяженность маршрута подсылки

определённой серии локомотива от станции избытка до станции недостатка тяговых ресурсов, км.; $V_{\text{уч}}^{\text{прог 3 ч}}$ – участковая скорость входящего потока поездов четного направления в установленном периоде, км/час.

Таблица 1 – Форма для выбора рабочего маршрута передислокации тяговых ресурсов

Маршрут подсылки j	Номер поезда N_i	Масса поезда брутто $Q_{\text{бр}}$	Серия локомотива M_i	Протяженность маршрута подсылки $S_{ij}^{\text{доп сл}}$	Участковая скорость входящего потока поездов $V_{\text{уч}}^{\text{вх}}$	Время подсылки $t_{ij}^{\text{доп сл}}$

3.7 Устанавливается приоритет подсылки тяговых ресурсов

$$П_1 > П_2 > П_3, \quad (16)$$

где $П_1$ – нитка графика, выделенная под ускоренный поезд; $П_2$ – нитка графика, выделенная под соединенный поезд; $П_3$ – нитка графика, выделенная под поезд нормальной весовой нормы.

Определяется достаточность обеспечения тяговыми ресурсами

$$M_i^{\text{дост}} = \Delta M^{\text{прог 3ч}} - M_i^{\text{недост}}, \quad (17)$$

3.8 Оценка пониточной потребности тяговых ресурсов в установленном периоде для второй системы тяги, характеризуемой профицитом тяговых ресурсов, и осуществление мероприятий по постановке избытка локомотивов в нормативный резерв или отправлению со станции по регулировке. Схема предлагаемой методики представлена на рис.12.

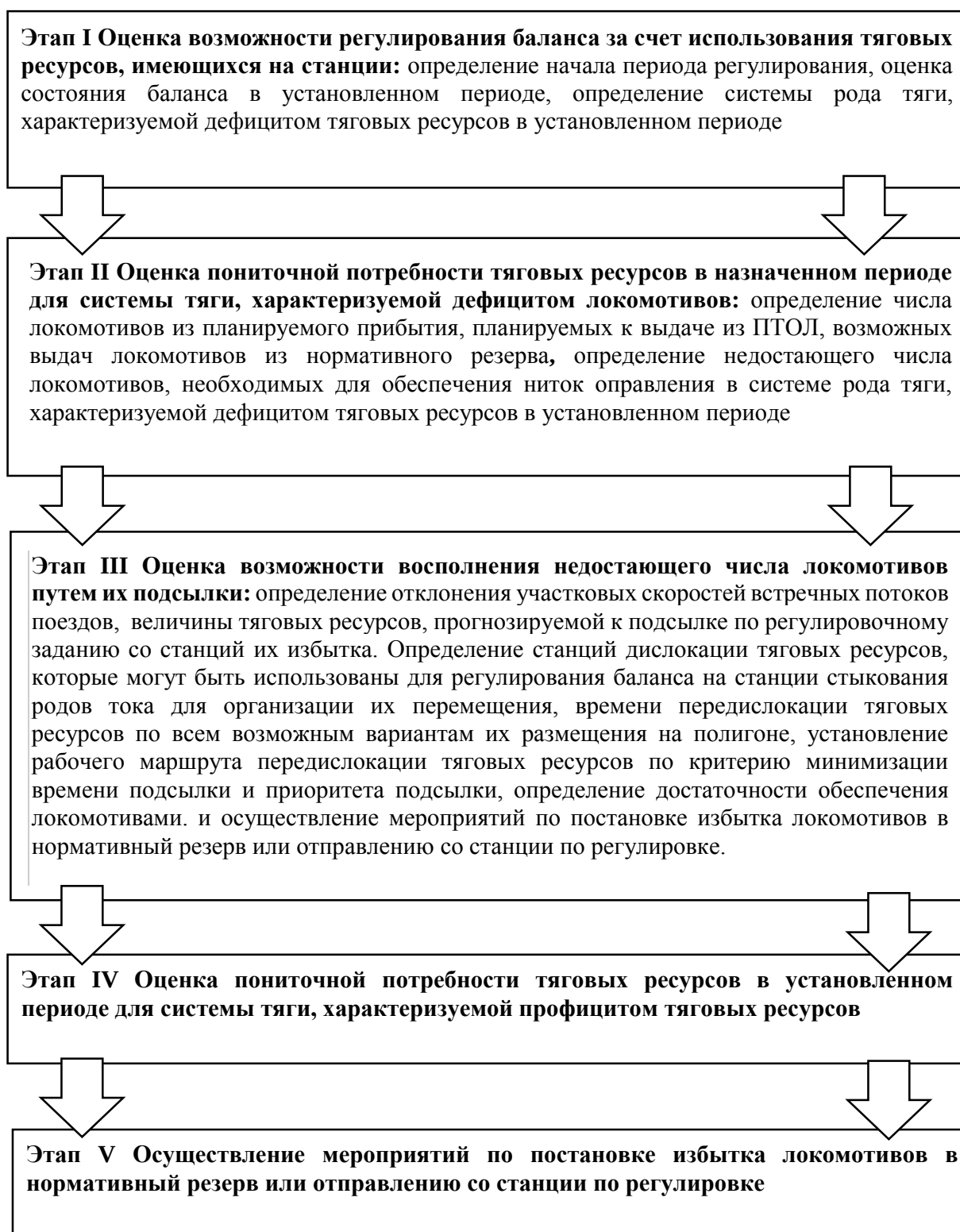


Рис.12 – Предлагаемая методика регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов на станциях стыкования родов тока

*Источник: разработан авторами

Следует отметить, что для повышения гибкости регулирования внутрисуточного баланса тяговых ресурсов на станциях стыкования родов тока возможно проведение мероприятий по совершенствованию технологии ПТОЛ за счет их реконструкции, в частности удлинению путей, увеличению количества стойл и так далее [14]. Такие мероприятия требуют значительных финансовых вложений и подразумевают снижение пропускной способности станции на длительный период проведения работ. Целесообразность осуществления мероприятий должна быть обоснована с учетом использования предлагаемой технологии работы станции при условии отсутствия экономического эффекта от ее применения, поскольку они требуют достаточно продолжительного срока окупаемости. Так, приблизительная стоимость работ может быть оценена в размере 5,5 млрд.руб., годовой экономический эффект – в размере 53 млн. руб. (по аналогии с технико-экономическим обоснованием развития ремонтной базы и пропускной способности сетевого ПТОЛ электровазов Крымская за 2004 год [15] с учетом индекса инфляции за период с 2005 по 2025 г.г.). Таким образом, вероятно, что наиболее рациональным решением в большинстве случаев остается использование подсылки тяговых ресурсов по регулировке из объединенного парка локомотивов.

Обсуждение результатов и заключение.

Использование предлагаемой методики регулирования внутрисуточного баланса тяги на станциях стыкования родов тока при исчерпании резервов позволяет своевременно планировать потребность в тяговых ресурсах и осуществлять согласованный подвод локомотивов к ниткам графика, что не исключает установление баланса за счет имеющихся видов резервов (нормативного резерва и возможностей ПТОЛ).

Тем не менее, специальных исследований требует увязка вопросов производительности ПТОЛ, связанных с оптимизацией численности работников и их реконструкцией, с вопросами регулировки баланса тяговых ресурсов [11].

Перспективой проделанных исследований является создание

автоматизированной системы регулировки баланса тяговых ресурсов с построением подсистемы прогнозирования объема подсылки локомотивов.

Полученные в ходе исследования экономические оценки позволяют предположить, что эффект от применения технологии установления баланса с использованием предложенной зависимости на одной станции стыкования родов тока в сутки может составлять порядка 250 тыс. руб., а по итогам года может достигнуть до уровня 92 млн. руб. В масштабе сети российских железных дорог сумма эффекта по аналогичным станциям может быть оценена примерно в 6,3 млн. руб. в сутки, что в год составит порядка 2,3 млрд. руб.

Библиографический список

1. Максимов Д.В. Автоматизация составления графика оборота локомотивов / Д.В. Максимов // Тр. ВНИИЖТ. – М., 1980. – Вып. 633. – С. 86–96.
2. Корниенко Н.В. Подход к оценке баланса тяговых ресурсов на основе анализа процесса увязки графика оборота локомотивов с графиком движения поездов / Н.В. Корниенко // II Международная научная конференция аспирантов и молодых ученых «Железная дорога: путь в будущее»: Сборник материалов конференции, Москва, 18 апреля 2024 года. – Москва: АО "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта", 2024. – С. 487-491.
3. Некрашевич В.И. Использование поездных локомотивов в грузовом движении / ВНИИЖТ; БелГУТ. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 270 с.
4. Установление баланса тяговых ресурсов на основе анализа колебаний скоростей поездопотоков и величины потребных резервов тяги. // Корниенко Н.В., Мехедов М.И., Котенко А.Г. // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2024. – Т.83. – № 3. – С. 248-257.

5. Воробьев А.А. Имитационная модель функционирования станций стыкования / А.А. Воробьев, Д.И. Бодриков // Транспорт. – 2021. – № 2. – С.45-49.
6. Дмитриев Е.О. Тяговое обеспечение поездной работы при изменении оперативной обстановки / Е.О. Дмитриев, А.А. Сухов, А.С. Петров, Е.А. Алексевнин // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 2 (86). – С. 58-66.
7. Осипов Н.И. Определение факторов влияния внедряемых систем интервального регулирования движения поездов на пропуск транзитного поездопотока без переработки по железнодорожным направлениям со сменой родов тягового тока / Н. И. Осипов // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2022. – № 1(4). – С. 53-62.
8. Имитационная модель определения рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота // Сотников Е.А., Гоник М.М., Хомяков С.В., Михайлов С.В. Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т.77. № 3. С.157-164.
9. Модель оптимального графика оборота поездных локомотивов // Козлов П.А., Вакуленко С.П. Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 2. С. 15-19.
10. Нормирование размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота / Сотников Е.А., Гоник М.М., Хомяков С.В., Михайлов С.В. // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т.79. № 1. С.3-8.
11. Методика анализа и математическая модель функции готовности локомотивного парка с учетом холодного резерва // Кувондинов Ж.О., Цаплин А.Е. // Известия ПГУПС. 2019. № 4. С. 631-639.
12. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28 октября 2014 г. № 428 «Об утверждении временной методики расчета среднесуточного на планируемый месяц количества локомотивов эксплуатируемого парка, оставляемых в оперативный резерв Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД»» / [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 24.05.2025).

13. Мехедов М.И. Пропускная и провозная способность полигона в зависимости от тяговых ресурсов / М.И. Мехедов, Л.А. Мугинштейн // в книге: Управление товарными потоками и перевозочным процессом на железнодорожном транспорте на основе клиентоориентированности и логистических технологий. Коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». Сер. "Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО "РЖД"" Санкт-Петербург, 2019. С. 225-238.

14. Корниенко Н.В. Повышение пропускной способности локомотивного депо путем определения приоритета организационно-технических мероприятий / Г.В. Гогричиани, Н.В. Корниенко // Мир транспорта. – 2023. – Т.21. – № 6. – С. 92-102.

15. Техничко-экономическое обоснование развития ремонтной базы и пропускной способности сетевого ПТОЛ электропоездов Карымская 2004. [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <https://vunivere.ru/work12078> (дата обращения 12.06.2025).

Оригинальность 84%