

Имитационная модель определения рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота

Е. А. СОТНИКОВ, М. М. ГОНИК, С. В. ХОМЯКОВ, С. В. МИХАЙЛОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. В условиях высокой загрузки линий неиспользование по каким-либо причинам ниток графика движения с отменой поездов при наличии готовых составов вызывает осложнения в эксплуатационной работе и дополнительные расходы. С внедрением полигонных технологий, удлинением участков обращения локомотивов повысилась сложность решения задач регулирования парка локомотивов. Влияние различных внутренних и внешних факторов на регулирование парка локомотивов не позволяет обеспечить полное соответствие планового и фактического состава образования и графика оборота локомотивов. С целью исключения потерь ниток графика движения требуется создать рациональный неснижаемый резерв локомотивов на станциях их оборота. Для решения этой задачи разработана математическая модель поездной работы, учитывающая посуточные колебания поездопотоков, возможные отклонения при прогнозировании состава образования и другие факторы. Модель позволяет определить рациональные размеры неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота.

Ключевые слова: оборот локомотивов; плановое и фактическое составообразование; модель поездной работы; неснижаемый резерв локомотивов

Современное состояние вопроса. В современных условиях на загруженных линиях сети дорог ОАО «РЖД» выполняется более 75% всего объема грузовых перевозок [1]. Определение потребных рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота для погашения влияния на вывоз составов неточности планирования и недостаточной глубины прогноза вагонопотоков в настоящее время осуществляется, по существу, на основе экспертных оценок.

В основном научном труде по системе эксплуатации локомотивов [2] при расчете размеров неснижаемого резерва локомотивов на суточный плановый период предлагается принимать размер резерва 1–2 локомотива для однопутных и 3–5 локомотивов для двухпутных линий.

В работе [3] указывается на необходимость учета «имеющихся неточностей оперативного плана, которые по объективным причинам не могут достигать нулевого значения». Рекомендуется принимать величи-

ну дополнительного парка локомотивов от 2 до 12% по отношению к общим размерам парка. В работах [4, 5, 6, 7] основное внимание уделяется совершенствованию системы эксплуатации локомотивов без специального выделения вопроса определения размеров потребного неснижаемого резерва локомотивов.

В действующей «Временной методике расчета среднесуточного на планируемый месяц количества локомотивов эксплуатируемого парка, отставляемых в оперативный резерв Центральной дирекцией управления движением» [7] предусмотрено, что нормы содержания локомотивов эксплуатируемого парка (ЭП) должны учитывать:

1) надежный вывоз готовых составов с учетом посуточной неравномерности;

2) наличие резерва локомотивов, обусловленного сложностью осуществления мер по регулированию локомотивов на длинных участках их обращения.

Анализ имеющихся исследований и практики позволяет сделать вывод о том, что определение размеров неснижаемого резерва локомотивов для учета неизбежных неточностей сменно-суточного плана (а тем более для многосуточного прогноза) не имеет достаточного методического обоснования.

В зарубежной практике эксплуатации локомотивов данный вопрос менее актуален по двум причинам:

1) уровень загрузки пропускной способности участков существенно ниже, чем на российских железных дорогах: в США — в 2,1 раза, в Германии — в 8 раз, во Франции — в 8 раз (расчеты выполнены по данным о приведенных млн т·км на 1 км развернутой длины главных путей);

2) в развитых странах существенно выше доля грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям, когда не требуется осуществлять каждые сутки прикрепление локомотивов к поездам. Следует отметить, что такая система в отечественных условиях развивается, но вследствие ряда объективных причин не может быть использована в полном объеме.

Недостаточная методическая разработка рассматриваемого вопроса является следствием его сложно-

■ E-mail: khomyakov.sergey@vniizht.ru (С. В. Хомяков)

сти, влияния многих факторов на величину неснижаемого резерва локомотивов. Решение данной задачи возможно при использовании для расчетов соответствующей имитационной модели.

Основные условия построения имитационной модели. Определение ожидаемого числа недостающих (–) или избыточных (+) локомотивов M_i для очередных (i -х) суток планирования может определяться из следующей зависимости [2]:

$$M_i = \pm (M_{но} + M_{пр} + M_p + M_{вр} - M_{от} - M_{нк} - M_{эр} - M_{ок}), \quad (1)$$

где $M_{но}$ — ожидаемое наличие локомотивов на станции оборота на конец суток предыдущих ($i-1$) планируемым; $M_{пр}$ — количество локомотивов, прибывающих на станцию за планируемые i -е сутки с поездами; M_p — количество локомотивов, прибывающих в i -е сутки на станцию в одиночном следовании, в том числе в составе поездов; $M_{вр}$ — количество локомотивов, которые в i -е сутки поступят на станцию из депо после выполнения операций по текущему обслуживанию, например ТО-2; $M_{от}$ — то же, что и $M_{пр}$ по отправлению локомотивов со станции оборота, включая отправление в одиночном следовании; $M_{нк}$ — количество локомотивов, которое необходимо образовать на станции на конец планируемых i -х суток; $M_{эр}$ — то же, что и M_p по поступлению локомотивов в депо; $M_{ок}$ — дополнительное число локомотивов, образуемых на станции для обслуживания путевых работ в случае предоставления «окна» в i -е сутки.

В зависимости от значения $\pm M_i$ на i -е сутки планируются соответствующие меры по восполнению недостатка локомотивов на станции оборота ($-M_i$).

При разработке имитационной модели работы станции оборота учитываются следующие условия:

1) при определении значения $M_{нк}$ принято, что это значение рассчитывается на основе плана прибытия и отправления поездов, плана поступления локомотивов в депо и выхода локомотивов из депо при техническом обслуживании и других условий в точном соответствии с плановыми данными;

2) принимается, что $M_{вр} = M_{эр}$;

3) $M_{ок} = \text{const}$ и не оказывает влияния на изменение значения $\pm M_i$ вследствие неточности планирования;

4) В разрабатываемых сменно-суточных планах эксплуатационной работы обеспечивается такое регулирование оборота локомотивов, которое при соответствии плановых поездопотоков фактическим их значениям полностью обеспечивает вывоз поездов (составов) со станции оборота.

Значение $\pm M_i$, обозначим его в дальнейшем ΔM_i , определяется в основном величиной $M_{пр} - M_{от}$, что и

принято в модели. Получение и отправление локомотивов в одиночном следовании также определяется в сменно-суточном плане. Соответственно, в модели учитывается, что план полностью обеспечивает отправление суточного количества поездов, включая и обеспечение составов локомотивами, поступающими в одиночном следовании.

Таким образом, для разработки модели необходимо уметь моделировать суточное количество поездов, прибывающих на станцию оборота и отправляющихся с нее по участку оборота локомотивов. Учитывая, что ситуация на станции оборота каждые сутки изменяется, необходимо изучить достаточно длительный период работы станции за некоторое множество суток $i = T$, где T — число суток моделирования, обеспечивающее получение достоверных результатов. Рассматриваемое условие показано на рис. 1.

В имитационной модели требуется образовать суточное количество прибывающих и отправляющихся поездов за период моделирования T :

$$M_{пр1}, M_{пр2} \dots M_{прi} \dots M_{прT}$$

$$M_{от1}, M_{от2} \dots M_{оти} \dots M_{отT}$$

Значения $M_{прi}$ и $M_{оти}$ принимаются независимыми друг от друга. Возможна непарность движения по направлениям следования поездов.

Плановые посуточные значения $M_{прi}^{пл}$ и $M_{оти}^{пл}$ могут быть равны фактическим значениям, быть меньше или больше их, т. е.

$$\left. \begin{aligned} M_{прi}^{\phi} &\leq M_{прi}^{пл} \leq M_{прi}^{\phi} \\ M_{оти}^{\phi} &\leq M_{оти}^{пл} \leq M_{оти}^{\phi} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $M_{прi}^{пл}$, $M_{прi}^{\phi}$, $M_{оти}^{пл}$, $M_{оти}^{\phi}$ — соответственно плановые и фактические значения количества прибывающих и отправляющихся поездов за текущие сутки.

Значения $M_{прi}^{\phi} - M_{прi}^{пл}$ и $M_{оти}^{\phi} - M_{оти}^{пл}$ зависят от уровня точности (достоверности) планирования. Чем выше качество, т. е. точность планирования, тем меньше рассматриваемые значения, и наоборот — чем ниже качество планирования, тем они больше. Очевидно, что оценка достигнутого качества планирования возможна только на основе натуральных данных по фактическим значениям $M_{прi}^{\phi} - M_{прi}^{пл}$ и $M_{оти}^{\phi} - M_{оти}^{пл}$.

Для получения искомых рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота требуется сравнить потребное число локомотивов при плановом прибытии поездов с потребным числом локомотивов при фактическом прибытии поездов.

Дополнительно требуется учесть возможность постановки локомотивов в оперативный резерв ЦД и изъятия из него, а также условия подвода локомотивов на станцию оборота одиночным следованием.

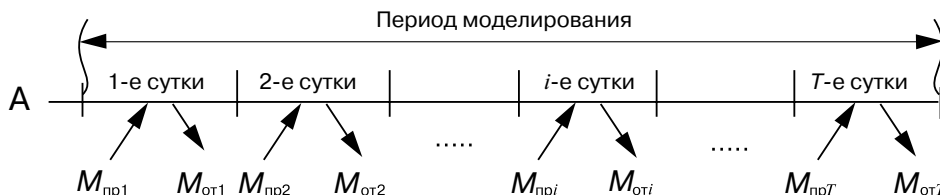


Рис. 1. Посуточное моделирование прибытия и отправления поездов на станции оборота локомотивов А
 Fig. 1. Daily simulation of the arrival and departure of trains at the locomotive turnover station A

Рассмотрим принципы построения алгоритма работы станции оборота локомотивов на следующем примере.

Пусть посуточное прибытие и отправление поездов (локомотивов с поездами) на станцию А имеют значения, представленные в табл. 1.

В первые сутки $M_{пр1}^{пл} - M_{от1}^{пл} = +5$, что означает образование планового избытка локомотивов к концу первых суток. Такие локомотивы могут быть в течение первых суток отставлены в оперативный резерв ЦД (нормативный срок такой отстановки составляет 0,5–3 сут). По плану вторых суток $M_{пр2}^{пл} - M_{от2}^{пл} = -5$, что означает плановый недостаток пяти локомотивов. Однако этот недостаток может быть компенсирован использованием локомотивов оперативного резерва ЦД. В третьи сутки $M_{пр3}^{пл} - M_{от3}^{пл} = -3$. К концу вторых суток оперативного резерва ЦД на станции А нет. Поэтому недостаток локомотивов ликвидируется за счет плановой подсылки на станцию А трех локомотивов, поступающих в одиночном следовании $M_{ос}^{пл}$. В четвертые сутки $M_{пр4}^{пл} - M_{от4}^{пл} = +2$. В этом случае в соответствии с планом поступления локомотивов на станцию А подсылка локомотивов одиночным следованием не предусматривается и возможно к концу этих суток образование оперативного резерва ЦД в размере двух локомотивов.

Однако фактическое прибытие и отправление локомотивов с поездами в течение всех четырех суток оказалось принципиально отличающимся от планового (см. табл. 1).

С учетом фактических значений поездопотоков по направлениям следования образуется следующая ситуация. В первые сутки в оперативный резерв ЦД могут быть отставлены только три локомотива, из которых два локомотива используются для вывоза поездов за вторые сутки ($49 - 51 = -2$), а один локомотив отставляется в резерв ЦД. В третьи сутки по плану для полного отправления поездов недостает трех локомотивов ($51 - 54 = -3$), но один локомотив имеется в оперативном резерве ЦД, а два локомотива должны быть подсланы в плановом порядке одиночным следованием. Это возможно предусмотреть при разработке сменно-суточного плана. Но фактически оказалось, что недостаток составил четыре локомотива ($50 - 54 = -4$). Следовательно, для полного вывоза поездов в этом случае один локомотив должен быть в неснижаемом резерве. В четвертые сутки по плану должен быть избыток локомотивов ($49 - 47 = +2$), а фактически требуется дополнительно два локомотива ($46 - 48 = -2$), т. е. и в этом случае для полного вывоза поездов требуется использовать два локомотива из неснижаемого резерва.

Таким образом, все четверо суток фактическое прибытие и отправление поездов не соответствовало плановым данным, но использование локомотивов из неснижаемого резерва потребовалось только в третьи и четвертые сутки.

В работе станций оборота локомотивов возможно множество сочетаний значений $M_{прi}^{пл}$, $M_{отi}^{пл}$, $M_{прi}^ф$, $M_{отi}^ф$, и только при моделировании ситуаций за рас-

Таблица 1

Плановые и фактические значения $M_{отi}^{пл}$, $M_{отi}^ф$, $M_{прi}^{пл}$ и $M_{прi}^ф$ за период четырех суток по станции оборота локомотивов А

Table 1

Planned and actual values of $M_{отi}^{пл}$, $M_{отi}^ф$, $M_{прi}^{пл}$ и $M_{прi}^ф$ for a period of four days at the locomotive turnover station A

№ сут	$M_{прi}^{пл}$	$M_{отi}^{пл}$	$M_{прi}^{пл} - M_{отi}^{пл}$	$M_{прi}^ф$	$M_{отi}^ф$	$M_{прi}^ф - M_{отi}^ф$
1	50	45	+5	51	48	+3
2	48	53	-5	49	51	-2
3	51	54	-3	50	54	-4
4	49	47	+2	46	48	-2

четный период T можно определить какие значения должны принимать размеры неснижаемого резерва локомотивов.

При определении планового количества локомотивов, подсылаемых одиночным следованием $M_{oc}^{пл}$, приняты следующие условия:

- расчетный рабочий парк локомотивов определен с учетом возможной их подсылки при необходимости одиночным следованием;
- в случаях, когда длина участка оборота локомотивов (УОЛ) превышает значение их среднесуточного пробега, возможно неполное выполнение плана подвода локомотивов одиночным следованием;
- в общем случае фактическое количество локомотивов, подводимых в одиночном следовании

$$M_{oc}^{\phi} = \beta_{oc} M_{oc}^{пл} \quad (3)$$

Значение β_{oc} может определяться в результате натурных наблюдений, при этом

$$\beta_{oc} = \frac{M_{oc}^{\phi}}{M_{oc}^{пл}} \quad (4)$$

Экспертные оценки показывают, что $0,75 \leq \beta_{oc} \leq 1$, что и принято в имитационной модели.

Примерное количество вариантов значений различных факторов в имитационной модели по определению величины неснижаемого резерва локомотивов M_{np} представлено в табл. 2.

Определение в имитационной модели фактического посуточного числа прибывающих и отправляющихся локомотивов. Суточные размеры прибытия и отправления локомотивов принципиально определяются параметрами поездообразования.

Таблица 2

Факторы, определяющие значения M_{np}

Table 2

Factors determining the values of M_{np}

№ фактора	Факторы, определяющие значения M_{np}	Количество вариантов при моделировании
1	Среднее значение посуточного поездопотока	4–5 (например, 10, 20, 40, 60, 80 поездов/сут)
2	Непарность движения	5
3	Степень неравномерности суточного поездопотока (определяется коэффициентом вариации)	2–3
4	Качество планирования	3
5	Возможное выполнение планового поступления локомотивов одиночным следованием	4

В работе А. К. Угрюмова [9] на большом статистическом материале было показано, что на стыковых станциях посуточное прибытие и отправление поездов описывается нормальным законом распределения.

В работах А. Д. Каретникова, Н. А. Воробьева [10] и Н. Н. Баркова [11] были получены аналогичные результаты. Закономерности посуточного поездообразования были рассмотрены в работе [12]. Получены следующие значения коэффициента вариации v для различных средних размеров поездопотоков (в вагонах):

$n_{сут}$, ваг./сут	1000	2000	3000	4000	5000 и более
v	0,146	0,133	0,121	0,115	0,113

Учитывая, что значения v , а следовательно, и значения среднеквадратического отклонения $\sigma = v n_{сут}$, получены по данным 2002–2009 гг., целесообразно проверить, не изменились ли за последнее время величины v и σ , учитывая определенную возможную стабилизацию экономики.

Из статистических отчетов ОАО «РЖД» за 2013–2015 гг. были выбраны данные о погрузке (тыс. вагонов) за каждые сутки года. По каждому году определялись: среднесуточная погрузка \bar{X} , ваг./сут; среднеквадратическое отклонение σ_x , ваг./сут; коэффициент вариации v_x . Сводные данные по значениям \bar{X} , σ_x , v_x представлены в табл. 3. Пример гистограммы распределения посуточной погрузки за 2014 г. показан на рис. 2 (здесь $n_{сут}$ — количество суток в году с величиной погрузки \bar{X} , тыс. ваг./сут).

Таблица 3

Сводные данные по значениям \bar{X} , σ_x , v_x за 2013–2015 гг.

Table 3

Summary data on the values \bar{X} , σ_x , v_x for 2013–2015

Год	\bar{X}	σ_x	v_x	\bar{v}_x
2013	55600	2900	0,052	0,049
2014	54940	2580	0,047	
2015	54066	2545	0,047	

Если в 2002–2009 гг. среднее значение v_x составляло 0,078, то в 2013–2015 гг. оно уменьшилось до 0,049 [12], что означает некоторое снижение уровня неравномерности посуточной погрузки на сети ОАО «РЖД». Соответственно, можно ожидать и падения уровня неравномерности прибытия (отправления) поездов по станциям.

Для определения коэффициента вариации прибытия (отправления) поездов в зависимости от их среднего количества использованы данные по 19-ти стыковым станциям Восточного и Московского полигонов сети.

Таблица 4

Результаты расчета функции распределения по станции Хани

Table 4

Results of the calculation of the distribution function for the station Hani

Количество поездов Y_i	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Количество дней	1	0	11	8	18	28	9	16	1
Частость	0,011	0,000	0,120	0,087	0,196	0,304	0,098	0,174	0,011
Функция распределения	0,011	0,011	0,130	0,217	0,413	0,717	0,815	0,989	1,000
t_i	-2,86	-2,25	-1,64	-1,03	-0,42	0,19	0,80	1,40	2,01

Выбранные стыковые станции охватывают размеры передачи по стыкам практически от 10 до 80 поездов./сут. Использовались данные за первый квартал 2017 г. (90 сут) и последний квартал 2016 г. (92 сут); всего в расчетах приняты 1732 значения размеров передачи по стыкам.

По каждой станции определялись:

- среднесуточная передача \bar{Y} , поездов./сут;
- среднеквадратическое отклонение σ_y , поездов./сут;
- коэффициент вариации v_y .

В табл. 4 приведены полученные значения функции распределения суточного поездопотока для станции Хани.

На рис. 3 представлена зависимость значения v_y от величины поездопотока \bar{Y} , принятая для использования в имитационной модели.

Фактическое число поездов (локомотивов), прибывающих в i -е сутки на станцию оборота локомотивов, определяется из зависимости

$$M_{пр i}^{\Phi} = \bar{M}_{пр} + t_i \sigma_y, \tag{5}$$

где $\bar{M}_{пр}$ — среднее значение поездопотока, поездов./сут; σ_y — среднеквадратическое отклонение для $\bar{M}_{пр}$; t_i — нормированное отклонение поездопотока.

Значения t_i определяются с использованием функции распределения $F(t_i)$

$F(t_i) = z_i$, где z_i — случайное число, равномерно распределенное в интервале $0 \leq z_i \leq 1$ (метод Монте-Карло).

Аналогично определяются значения фактического числа поездов, отправляющихся со станции оборота на рассматриваемый УОЛ. При этом при определении значений $\bar{M}_{от}$ учитывается принятая в расчетах непарность движения поездов по направлениям следования (четное, нечетное).

Определение планового числа прибывающих и отправляющихся локомотивов. Отклонение плановых заданий $M_i^{пл}$ (по прибытию или отправлению) от фактических значений поездопотока M_i^{Φ} (т. е. прибытия и отправления локомотивов) происходит по различным причинам. При сменно-суточном планировании прибытия (отправления) поездов на станции оборота локомотивов в план должны включаться:

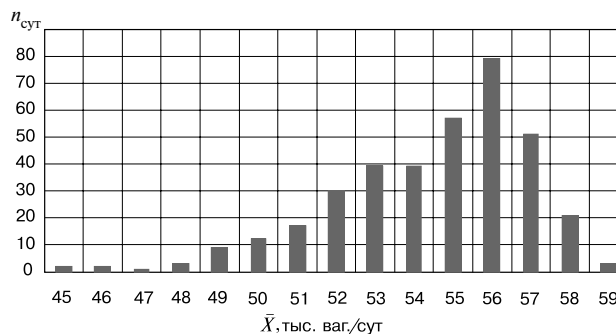


Рис. 2. Гистограмма распределения посуточной погрузки за 2014 год

Fig. 2. Histogram of the distribution of the daily loading for 2014

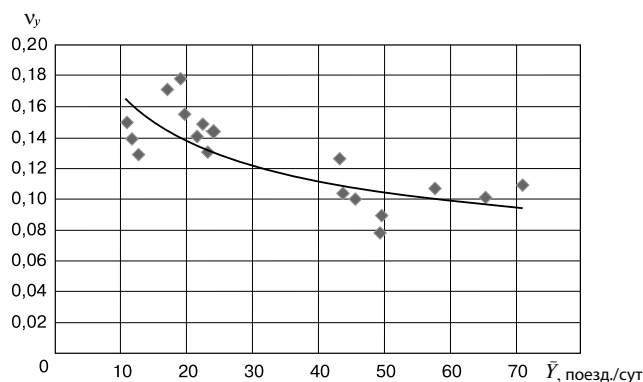


Рис. 3. График зависимости коэффициента вариации от среднесуточного количества поездов

Fig. 3. Graph of dependence of the variation coefficient on the average daily number of trains

1) уже организованные поезда, находящиеся на станциях и участках дирекции управления движением, для которой разрабатывается план ($D_{пл}$);

2) уже организованные поезда, находящиеся на станциях и участках других дирекций управления движением (D_j), причем таких D_j может быть несколько;

3) еще не организованные к моменту составления плана поезда, которые образуются после составления плана из вагонов, находящихся под накоплением, а также из вагонов, находящихся в поездах на подходах к станциям формирования; такие еще не организованные поезда могут образоваться как в $D_{пл}$, так и в D_j ;

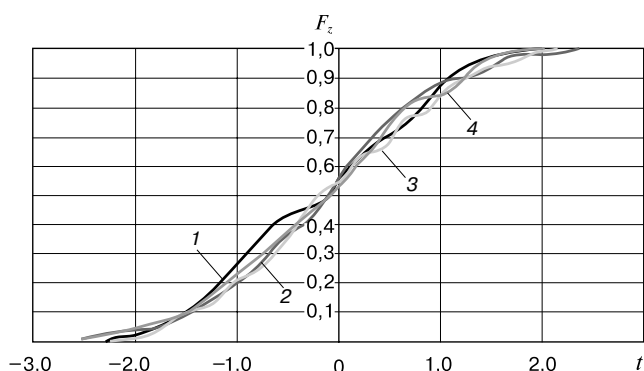


Рис. 4. Нормированные функции распределения среднесуточной разности между фактическим и плановым значениями передачи поездов по некоторым станциям: 1 — Стык 315 км (ЮВОСТ — МОСК); 2 — Междуреченск (КРАС — ЗСИБ); 3 — Архара (ЗАБ — ДВОСТ); 4 — Черусти (ГОРК — МОСК)

Fig. 4. Normalized distribution functions of the daily average difference between the actual and planned values of the train runs through some stations:

1 — Joint 315 km (YUVOST — MOSK); 2 — Mezhdurechensk (KRAS — ZSIB); 3 — Arhara (ZAB — DVOST); 4 — Cherusti (GORK — MOSK)

4) еще не организованные поезда, в которые будут включены вагоны, находящиеся к моменту составления плана на грузовых фронтах подразделений $D_{пл}$ и D_j — под погрузкой, под выгрузкой, уже погруженные или уже выгруженные, следующие под погрузку или выгрузку;

5) другие еще не организованные поезда.

Уже одно это перечисление показывает, насколько сложным должен быть алгоритм разработки плана прибытия (отправления) поездов. При этом необходимо учитывать возможные сбои в работе инфраструктуры и подвижного состава, отклонения от нормативов в работе участков и станций, грузовых фронтов и т. д.

Точность планирования может быть оценена в современных условиях только на основе статистических наблюдений. Для этого используются посуточные данные о прибытии или отправлении локомотивов для конкретных станций, т. е. информация о значениях M_i^{ϕ} и $M_i^{пл}$ с определением некоторого множества данных:

$$M_i^{\phi} - M_i^{пл} = \Delta M_i \quad (6)$$

Очевидно, что возможно и определение значений $M_i^{пл} - M_i^{\phi}$.

На этой основе определяются распределение значений ΔM_i и функция такого распределения. Для возможного сравнения таких распределений для разных станций, входящих в различные $D_{пл}$, целесообразно использовать функции распределения по нормированному отклонению t (подобно нормальному закону).

На рис. 4 приведены нормированные функции распределения разности между фактическим и плановым значениями передачи поездов по группе станций Европейского и Восточного полигонов сети железных дорог. Определена обобщенная функция распределения для ее использования в имитационной модели (на рис. 4 такая зависимость не показана). Плановые значения поездопотока рассчитываются с использованием формулы (6) по алгоритму, соответствующему выражению (5).

Основные условия построения имитационной модели для определения размеров неснижаемого резерва локомотивов рассмотрены в приведенном ранее примере алгоритма работы станции оборота локомотивов.

В настоящее время по подготовленным материалам разработано программное обеспечение имитационной модели и выполнена его отладка.

Разработка программного обеспечения имитационной модели определения неснижаемого резерва локомотивов проходит в несколько этапов:

- на первом этапе на основании входных данных рассчитывается частота, с которой при выбранных параметрах модели требуется неснижаемый резерв локомотивов; происходит тестирование модели и проверка промежуточных результатов работы программы и их верификация по исходным данным;
- на втором этапе выполняются многовариантные расчеты для различных условий работы по определению рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях оборота. На этом этапе происходит тестирование алгоритмов оптимизации и создание шаблона, генерируемого программой отчета;
- результатом третьего этапа является программное обеспечение, актуализирующее размеры рационального неснижаемого резерва локомотивов при изменении исходных данных для расчетов.

Выводы. 1. Для исключения потерь ниток графика движения поездов при высоком уровне загрузки линий требуется создавать рациональный неснижаемый резерв локомотивов на станциях их оборота.

2. Большое число влияющих факторов существенно затрудняет аналитическое решение задачи. Необходимо создание специализированной имитационной модели, с использованием которой проводятся массовые расчеты и могут быть получены необходимые решения для различных условий эксплуатационной работы участков обращения локомотивов.

3. Получены значения среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации для различных средних размеров поездопотока. Моделирование фактического суточного поездопотока прибывающих (отправляющихся) поездов может осуществляться с использованием метода Монте-Карло.

4. Выполненные обширные натурные наблюдения по определению разницы между фактическими и плановыми поездопотоками позволили определить закономерности образования плановых значений поездопотоков для использования их в имитационной модели.

5. Разработанный алгоритм построения имитационной модели предусматривает получение величины неснижаемого резерва локомотивов для различных условий: изменяющихся значений среднего посуточного поездопотока в четном и нечетном направлениях движения, непарности движения, степени неравномерности суточного поездопотока, ошибок при планировании (качества планирования) и др.

6. Разработано программное обеспечение имитационной модели и произведена его отладка для выполнения массовых расчетов.

Исследование проблемы определения рациональных размеров неснижаемого резерва локомотивов на станциях их оборота выполнено при поддержке ОАО «РЖД» и Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 17-20-01136 (офи_м_РЖД).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пехтерев Ф. С. С учетом прогнозов социально-экономического развития страны // Железнодорожный транспорт. 2016. № 5. С. 15–19.
2. Некрашевич В. И., Апатцев В. И. Управление эксплуатацией локомотивов. 3-е изд. М.: МГУПС, 2014. 340 с.
3. Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Л. Улучшение использования локомотивов и организации работы локомотивных бригад. М.: ЦНИИТЭИ, 2001. 38 с.
4. Управление объединенным парком электровозов железных дорог / А. С. Левченко [и др.]. М.: ГОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2010. 88 с.
5. Кремнев А. А. Рациональный и своевременный локомотивообмен на полигоне Челябинск — Рыбное // Труды Всероссий-

ской научно-практической конференции «Транспорт-2008». Ростов н/Д: РГУПС, 2008. С. 245–247.

6. Логистика управления объединенным парком локомотивов / А. С. Левченко [и др.] // Сборник докладов Пятой Международной конференции «ТелеКомТранс-2007». Ростов н/Д: РГУПС, 2007. С. 340–345.

7. Аникина О. В. Основы планирования оптимальной величины эксплуатируемого парка локомотивов на полигоне // Сборник трудов молодых ученых Сибирского гос. ун-та путей сообщения. Новосибирск: СГУПС, 2001. № 2. С. 27–31.

8. Временная методика расчета среднесуточного на планируемый месяц количества локомотивов эксплуатируемого парка, отставляемых в оперативный резерв Центральной дирекции управления движением — филиала ОАО «РЖД»: утв. 28.10.2014 г. № 428.

9. Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.

10. Каретников А. Д., Воробьев Н. А. График движения поездов. М.: Транспорт, 1979. 301 с.

11. Барков Н. Н. Сезонная и внутринедельная неравномерность грузовых перевозок на железных дорогах // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1963. Вып. 249. 95 с.

12. Шенфельд К. П., Сотников Е. А. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях. М.: Научный мир, 2015. 202 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СОТНИКОВ Евгений Александрович,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

ГОНИК Марк Михайлович,

начальник центра математического моделирования, АО «ВНИИЖТ»

ХОМЯКОВ Сергей Владимирович,

системный аналитик центра математического моделирования, АО «ВНИИЖТ»

МИХАЙЛОВ Сергей Владимирович,

бизнес-аналитик центра математического моделирования, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 09.02.2018 г., принята к публикации 20.04.2018 г.

Simulation model for determining the rational dimensions of the irreducible reserve of locomotives at the stations of its turnover

E. A. SOTNIKOV, M. M. GONIK, S. V. KHOMYAKOV, S. V. MIKHAYLOV

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. With the introduction of polygon site technologies, the extension of locomotive circulation areas has increased the complexity of solving the problems of regulating the fleet of locomotives. Determination of the required rational size of the irreducible reserve of locomotives at the stations of its turnover is currently carried out in order to extinguish the influence on the export of the inaccuracies in the planning and inadequate depth of the forecast of the car traffic flows. Substantially this determination is made on the basis of expert assessments and does not have sufficient methodological justification. In order to exclude the loss of the traffic threads in the schedule, it is necessary to create a rational irreducible reserve of locomotives at the stations of its turnover. To solve this problem, a mathematical model of train operation has been developed

ped on locomotive circulation areas, taking into account the daily fluctuations of train traffic, possible deviations in predicting composition formation and other factors. Performing mass calculations for various conditions will allow determining the rational size of the irreducible reserve of locomotives at the stations of its turnover and eliminate the losses associated with the cancellation of the schedule threads due to the lack of provision of finished trains by locomotives.

Extensive full-scaled tests were made to determine the difference between actual and planned train traffic, which allowed determining regularities in the formation of planned values of train traffic for use in the simulation model.

An algorithm for constructing a simulation model has been developed that provides for the amount of an irreducible reserve of lo-

comotives for different conditions: changing values of the average daily train traffic in the even and odd directions of traffic, traffic incompatibility, the degree of uneven daily traffic, errors in planning (planning quality), etc.

The software of the simulation model was developed and its debugging was made to perform mass calculations.

The study of the problem of determining the rational size of the irreducible reserve of locomotives at the stations of its turnover was carried out with the support of the Russian Railways and the Russian Foundation for Basic Research. Project No. 17-20-01136.

Keywords: locomotive turnover; planned and actual train formation; model of train operation; irreducible locomotive reserve

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-157-164>

REFERENCES

1. Pekhterev F.S. *S uchetom prognozov sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya strany* [Taking into account the forecasts of the country's socio-economic development]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 5, pp. 15–19.

2. Nekrashevitch V.I., Apattsev V.I. *Upravlenie ekspluatatsiei lokomotivov*. 3-e izd. [Management of the operation of locomotives. 3rd ed.]. Moscow, MGUPS Publ., 2014, 340 p.

3. Nekrashevitch V.I., Kovalev V.N., Sal'chenko V.L. *Uluchshenie ispol'zovaniya lokomotivov i organizatsii raboty lokomotivnykh brigad* [Improvement of the use of locomotives and the organization of work of locomotive crews]. Moscow, TsNIITEI Publ., 2001, 38 p.

4. Levchenko A.S., Aleksandrov V.I., Kurenkov P.V., Kremnev A.A., Mitrofanov A.N. *Upravlenie ob"edinennym parkom elektrovozov zheleznykh dorog* [Management of a combined fleet of railway locomotives]. Moscow, GOU "Ucheb.-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte" Publ., 2010, 88 p.

5. Kremnev A.A. *Ratsional'nyy i svoevremennyy lokomotivno-obmen na poligone Chelyabinsk — Rybnoe* [Rational and timely locomotive changing at the Chelyabinsk-Rybnoye operational site]. *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Transport-2008"* [Proc. of the All-Russian scientific-practical conference "Transport-2008"]. Rostov-on-Don, RGUPS Publ., 2008, pp. 245–247.

6. Levchenko A.S., Turintsev M. Yu., Kurenkov P.V., Kremnev A.A., Davletbaev R.D. *Logistika upravleniya ob"edinennym parkom lokomotivov* [Logistics management of the combined fleet of locomotives]. *Sbornik dokladov Pyatoy Mezhdunarodnoy konferentsii "TeleKomTrans-2007"* [Proc. of reports of the Fifth

International Conference "TeleComTrans-2007"]. Rostov-on-Don, RGUPS Publ., 2007, pp. 340–345.

7. Anikina O.V. *Osnovy planirovaniya optimal'noy velichiny ekspluatiruemogo parka lokomotivov na poligone* [Basics of planning the optimal size of the fleet of locomotives in operation at the test site]. *Sbornik trudov molodykh uchenykh Sibirskogo gos. un-ta putey soobshcheniya* [Proc. of works of young scientists of the Siberian State University of Communications]. Novosibirsk, SGUPS Publ., 2001, no. 2, pp. 27–31.

8. *Time-depend methodology for calculating the average daily number of locomotives of the operated fleet for the planned month, set aside for the operational reserve of the Central Directorate of Traffic Control, a branch of the Russian Railways*. Approved on October 28, 2014, no. 428 (in Russ.).

9. Ugryumov A. K. *Neravnomernost' dvizheniya poezdov* [Irregularity of train traffic]. Moscow, Transport Publ., 1968, 112 p.

10. Karetnikov A. D., Vorob'ev N. A. *Grafik dvizheniya poezdov* [Train traffic schedule]. Moscow, Transport Publ., 1979, 301 p.

11. Barkov N. N. *Sezonnaya i vnutrinedel'naya neravnomernost' gruzovykh perevozok na zheleznykh dorogakh* [Seasonal and intra-week unevenness of freight traffic on railways]. *Trudy VNIIZhT* [Proc. of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1963, Vol. 249, 95 p.

12. Shenfeld K. P., Sotnikov E. A. *Razvitie metodov upravleniya perevozhnykh protsessom na zheleznodorozhnom transporte v sovremennykh usloviyakh* [Development of methods for managing the transportation process in railway transport in modern conditions]. Moscow, Nauchnyy Mir Publ., 2015, 202 p.

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy A. SOTNIKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, JSC "VNIIZhT"

Mark M. GONIK,

Head of the Center for Mathematical Modeling, JSC "VNIIZhT"

Sergey V. KHOMYAKOV,

System Analyst of the Center for Mathematical Modeling, JSC "VNIIZhT"

Sergey V. MIKHAYLOV,

Business Analyst of the Center for Mathematical Modeling, JSC "VNIIZhT"

Received 09.02.2018

Accepted 20.04.2018

■ E-mail: khomyakov.sergey@vniizht.ru (S. V. Khomyakov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Савин А. В. Безбалластный путь. М.: РАС, 2017. 192 с.

Представлена эволюция безбалластного пути как способа уменьшения давления на балласт и уменьшения трудозатрат на текущее содержание, а также рациональные сферы его применения. Выполнено сравнение различных конструкций по объемам укладки в разных странах мира. Описаны конструкции отечественных и зарубежных вариантов безбалластного пути и их классификация, даны технические требования к их отдельным элементам.

Книга предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, будет полезна преподавателям и студентам отраслевых вузов, а также тем, кому предстоит проектировать, сооружать и эксплуатировать безбалластный путь.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».