

УДК 656.22

Г. М. Groшев, А. Р. НорбоевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА
ПОЕЗДНЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА СТАНЦИЯХ СМЕНЫ РОДОВ ТОКА**

Проведены статистические исследования, построены статистические ряды распределения величины поступления и отправления поездов при переменном и постоянном токе на станции смены родов тока Свирь Октябрьской железной дороги. Выполнены расчеты по аппроксимации с использованием гамма-распределения колебаний числа прибывающих и отправляемых поездов за 90 суток по периодам различной продолжительности (сутки, 6 ч, 4 ч).

Выполнено имитационное моделирование в системе программного продукта Mathcad, версия 14.0.0.163, по определению количества прибывших и отправленных поездов по указанным периодам, необходимости подсылки или отправления резервных локомотивов в каждый временной период при обоих родах тока. Приведены расчеты результатов моделирования и сделаны выводы о возможности их применения для обоснования величины технологического резерва поездных локомотивов на станции.

неравномерность, непарность размеров движения поездов, станции смены видов тяги и родов тока, поездной локомотив, технологический резерв, обоснование величины, статистические исследования, закон распределения, имитационное моделирование.

Введение

Ранее проведенными исследованиями установлено, что на выполнение графика движения грузовых поездов на технических станциях смены видов тяги и родов тока оказывают влияние многие факторы. Результаты анализа представлены в виде схемы Исикавы [1] (см. рисунок).

Существенными факторами являются неравномерность размеров движения грузовых поездов и их непарность как по суткам (периодам сменно-суточного планирования эксплуатационной работы, включая прикрепление поездных локомотивов к ниткам графика), так и по 6- и 4-часовым внутрисуточным периодам (периодам текущего планирования) [2].

Эти факторы определяют то необходимость подсылки на станции смены и оборота поездных локомотивов резервом со станций депо приписки при их недостатке, то, напротив, от-

правления лишних поездных локомотивов резервом на эти станции при их избытке. Нередко наблюдается встречный резервный пробег поездных локомотивов на участках.

Неравномерность и непарность размеров движения грузовых поездов на участках по указанным внутрисуточным периодам наблюдаются и в нормативных графиках движения. Результаты такого анализа графика по станции Свирь представлены в табл. 1.

Поэтому в состав исследуемых мероприятий по повышению уровня выполнения графика движения грузовых поездов на технических станциях смены видов тяги или родов тока включен метод «Введение технологического резерва поездных локомотивов каждого вида тяги (рода тока)».

При постановке задачи определено, что для обоснования количества поездных локомотивов технологического резерва на станции можно применить имитационное моделирова-

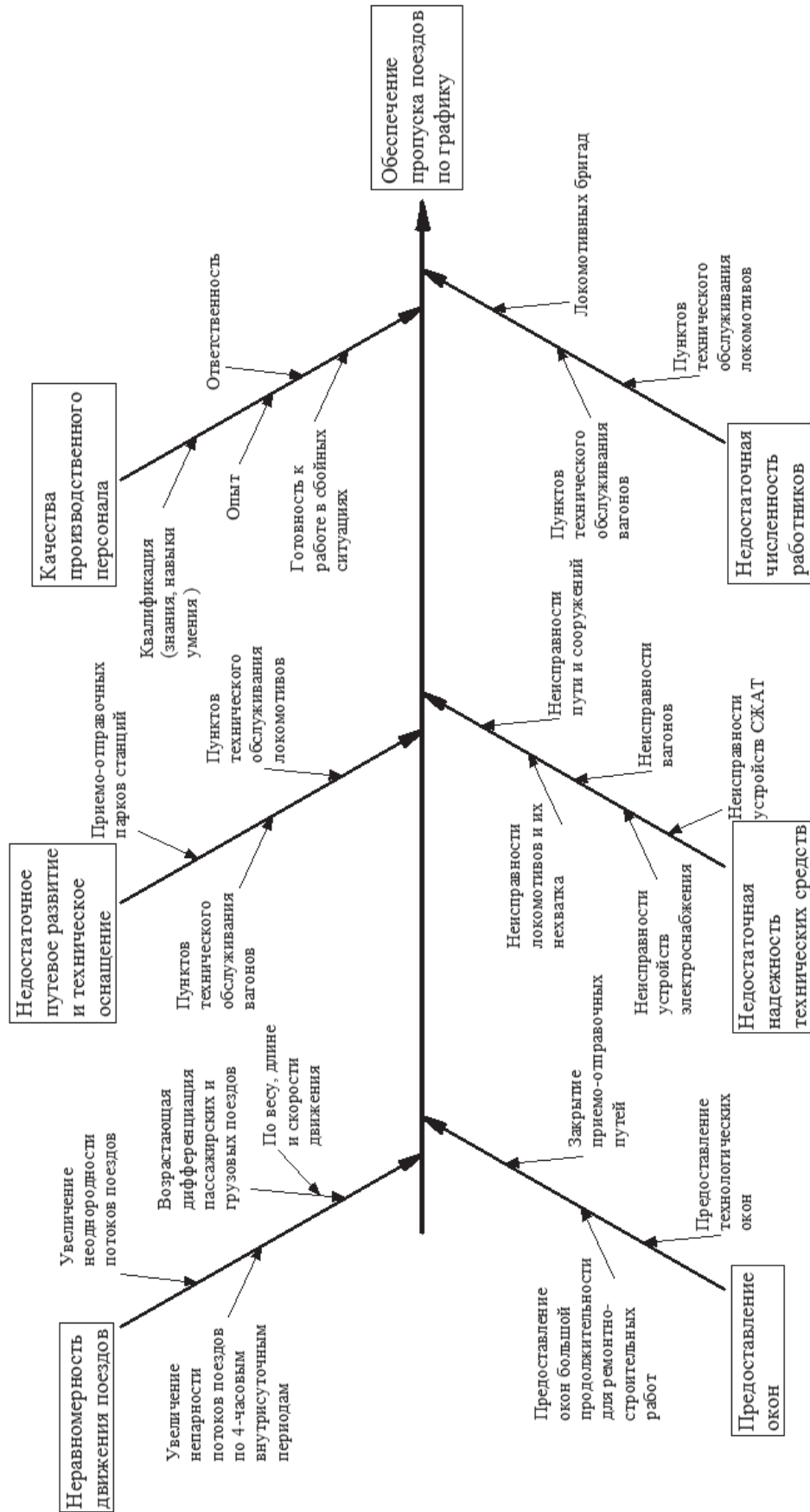


Схема причинно-следственных связей и факторов, влияющих на обеспечение пропусков поездов по графику на технических станциях

ТАБЛИЦА 1. Коэффициенты внутрисуточной неравномерности размеров движения

Станция	Коэффициенты внутрисуточной неравномерности			
	Поступление/отправление поездов при переменном токе		Поступление/отправление поездов при постоянном токе	
	6-часовые периоды	4-часовые периоды	6-часовые периоды	4-часовые периоды
Свирь	0,76/0,93	0,91/0,83	1,15/0,96	1,04/1,08
	1,08/1,00	0,91/1,50	1,08/0,72	0,81/0,84
	1,01/1,00	1,17/1,33	0,54/1,36	0,58/0,60
	1,01/1,25	1,04/1,50	1,00/0,80	1,04/1,08
		1,04/1,16		1,27/1,32
		1,04/1,83		0,81/0,84

ние процессов прибытия и отправления поездов на этой станции в системе программного продукта Mathcad.

Для моделирования необходимо установить закон распределения величины поступления и отправления поездов по каждому виду тяги (роду тока) [3].

Исследование и моделирование выполнены для станции смены родов тока Свирь Октябрьской железной дороги.

1 Установление законов распределения величины поступления и отправления поездов при обоих родах тока на станции

Проведены статистические исследования и построены статистические ряды распределений величины поступления и отправления поездов при переменном и постоянном токе на станции Свирь за 90 суток.

Данные об эмпирическом распределении величины поступления поездов при переменном токе приведены в качестве примера в табл. 2.

Выборочное среднее $M^*[N]$:

$$M^*[N] = \sum_{i=1}^k \overline{N}_i \cdot p_i^*,$$

где \overline{N}_i – значение случайной величины в i -м интервале; p_i^* – эмпирическая вероятность

(частость) равенства случайной величины значению \overline{N}_i :

$$p_i^* = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^k h_i},$$

где h_i – число наблюдений случайной величины \overline{N}_i в разряде; $\sum_{i=1}^k h_i$ – общее число наблюдений; i – номер разряда ($i = 1, 2, \dots, k$).

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию $M^*[N]$ равно 21,83 поездов (см. табл. 2).

Выборочная дисперсия $D^*[N]$:

$$D^*[N] = \sum_{i=1}^k \overline{N}_i^2 \cdot p_i^* - (M^*[N])^2.$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе $D^*[N]$ равно 2,67 поездов.

Среднеквадратическое отклонение σ_N^* :

$$\sigma_N^* = \sqrt{D^*[N]}.$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию σ_N^* равно 1,63 поездов.

Оценка коэффициента вариации $\mathcal{V}(N)$:

ТАБЛИЦА 2. Эмпирический ряд распределения величины поступления поездов при переменном токе

№ разряда	Границы разрядов $N_i - N_{i+1}$ (п)	Среднее значение \overline{N}_i (п)	Число наблюдений h_i	Эмпирическая вероятность p_i^*	$\overline{N}_i \cdot p_i^*$	$\overline{N}_i^2 \cdot p_i^*$
1	18–19	18,5	3	0,0333	0,6167	11,4083
2	19–20	19,5	9	0,1000	1,9500	38,0250
3	20–21	20,5	14	0,1556	3,1889	65,3722
4	21–22	21,5	25	0,2778	5,9722	128,4028
5	22–23	22,5	18	0,2000	4,5000	101,2500
6	23–24	23,5	12	0,1333	3,1333	73,6333
7	24–25	24,5	7	0,0778	1,9056	46,6861
8	25–26	25,5	2	0,0222	0,5667	14,4500
Итого	–	–	90	1,0000	21,8333	479,2278

$$\vartheta(N) = \frac{\sigma_N^*}{M[N]}.$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию $\vartheta(N)$ равно 0,07 поездов.

Аналогичные расчеты выполнены в отношении отправления поездов при переменном токе, а также в отношении прибытия и отправления поездов при постоянном токе.

Пример результатов проверки вероятностных распределений величины поступления поездов при переменном токе даны в табл. 3.

Исходя из результатов установления законов распределения, при имитационном моделировании используем гамма-распределение.

2 Подготовка исходных данных для имитационного моделирования

Моделирование на ЭВМ производится с целью автоматизации получения показателей системы обеспечения составов поездными локомотивами и обоснования величины технологического резерва поездных локомотивов на технических станциях смены родов тока и видов тяги. Моделирование выполнено на персо-

нальном компьютере в системе программного продукта Mathcad, версия 14.0.0.163.

При разработке модели поставлены и решены следующие задачи:

1) на первом этапе моделирования определяются временные интервалы поступления и отправления поездов при обоих родах тока на станции. Для нахождения интервалов генерируются случайные числа, распределенные по закономерности гамма-распределения при помощи процедуры в системе программного продукта Mathcad (выдаёт вектор m случайных чисел, имеющих гамма-распределение с параметром формы s):

$$RG: = \text{rgamma}(m, s),$$

где m – требуемое количество случайных чисел (для каждой процедуры рассчитывается отдельно) (для прибывших поездов при переменном и постоянном токе m равно 1920 и 1865, для отправленных поездов – 2081 и 1701, соответственно); s – параметр распределения (для прибывших поездов при переменном и постоянном токе s равно 1,042 и 1,004, для отправленных поездов – 1,185 и 0,94, соответственно);

ТАБЛИЦА 3. Результаты проверки вероятностных распределений величины поступления и отправления поездов при обоих родах тока

Название закона	Закон распределения	Параметры закона
1	2	3
Величина поступления поездов при переменном токе		
Gamma	<p style="text-align: center;">Число прибывших поездов на станцию за сутки, поезд</p>	Variable: Var1, Distribution: Gamma Kolmogorov – Smirnov $d = 0,04141$, Chi-Square test = 4,17791, $df = 3$ (adjusted), $p = 0,24288$
Величина отправления поездов при переменном токе		
Gamma	<p style="text-align: center;">Число отправленных поездов со станции за сутки, поезд</p>	Variable: Var3, Distribution: Gamma Kolmogorov – Smirnov $d = 0,08635$, Chi-Square test = 4,88969, $df = 2$ (adjusted), $p = 0,08674$

2) строятся четыре временные шкалы:

- интервалы времени последовательного поступления $t_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$ и отправления $t_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$ поездов при переменном токе;
- интервалы времени последовательного поступления $t_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}$ и отправления $t_{\text{от}}^{\text{пос.т}}$ поездов при постоянном токе;

3) находится текущее время последовательного поступления и отправления поездов со станции при обоих родах тока и по полученным результатам раскладывается по суткам и по 6-часовым периодам внутри каждого суток. Если при суммировании интервалов сумма выходит за границу 6 ч, то остаток превышенно-

го интервала учитывается в следующем 6-часовом периоде.

Пример расчета приведен во фрагменте табл. 4.

Выполнены аналогичные расчеты в отношении отправления поездов при переменном токе, а также в отношении прибытия и отправления поездов при постоянном токе;

4) определяются:

- количество прибывших поездов на переменном $N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$ и постоянном $N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}$ токе за сутки, $N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$;

- количество отправленных поездов на переменном $N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$ и постоянном $N_{\text{от}}^{\text{пос.т}}$ токе за сутки, $N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$;

5) задается условие для определения количества поездов $N^{\text{пер.т}}$ при переменном токе, могут обеспечиваться в данные сутки резервными поездными локомотивами:

$$N^{\text{пер.т}} = \begin{cases} N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}, & \text{при } (N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}) > 0; \\ N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}, & \text{при } (N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}) < 0; \end{cases}$$

6) задается условие для определения количества поездов $N^{\text{пос.т}}$ при постоянном токе, могут обеспечиваться в данные сутки резервными локомотивами:

$$N^{\text{пос.т}} = \begin{cases} N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}, & \text{при } (N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}) > 0; \\ N_{\text{от}}^{\text{пос.т}}, & \text{при } (N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}) < 0; \end{cases}$$

7) определяется необходимость подсылки или отправления резервом поездных локомотивов при каждом роде тока. При необходимости подсылки резервных локомотивов выполняется условие $(N_{\text{от}} - N_{\text{пр}}) > 0$; при необходимости отправления локомотивов резервом выполняется условие $(N_{\text{от}} - N_{\text{пр}}) < 0$ при каждом роде тока;

8) устанавливается количество резервных локомотивов, которые необходимо подсылать или отправлять по своему роду тока в зависимости от значения модуля разности между количеством прибывших и отправленных поездов при каждом роде тока:

$$\Delta M^{\text{пер.т}} = |N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}|;$$

$$\Delta M^{\text{пос.т}} = |N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}|;$$

9) оптимальный вариант выбирается по минимальной величине разности прибывших и отправленных поездов при каждом роде тока отдельно. Расчеты этой разности при переменном токе представлены в табл. 5.

ТАБЛИЦА 4. Определение интервалов времени последовательного поступления поездов при переменном токе на станцию

Количество поступивших поездов за периоды, поезд	Интервал времени последовательного поступления поездов, ч	Кумулятивное значение интервала времени последовательного поступления поездов от начала суток, ч
1	0,184768	0,184768
2	1,539236	1,724004
3	0,097114	1,821118
4	2,320501	4,141619
5	0,911194	5,052813
...
19	1,428992	5,91295

ТАБЛИЦА 5. Величина разности прибывших и отправленных поездов при переменном токе за сутки

Количество суток	Количество прибывших поездов за сутки	Количество отправленных поездов за сутки	Количество локомотивов, отправляемых резервом	Количество локомотивов, подсылаемых резервом
1	19	25	0	6
2	23	24	0	1
3	23	25	0	2
4	18	27	0	9
5	23	26	0	3
6	23	24	0	1
7	20	26	0	6
8	19	26	0	7
9	24	26	0	2
10	23	23	0	0

Аналогичные расчеты выполнены в отношении отправления поездов при переменном токе, прибытия и отправления поездов при постоянном токе.

Анализ данных табл. 5 позволяет заключить, что на девять суток из десяти может быть установлен технологический резерв, равный 1 локомотиву; на первые, шестые и седьмые сутки – 6. В другие сутки потребность в резервных локомотивах различна и колеблется от 0 до 9.

При постоянном токе только на 2-е и 6–8-е сутки технологический резерв может быть установлен равным одному локомотиву; а в 1-е, 3-и, 4-е, 5-е и 9-е сутки, напротив, локомотивы отправляются со станции резервом.

Данные по 6-и 4-часовым периодам также не позволяют сделать однозначные выводы для определения величины технологического резерва поездных локомотивов.

Заключение

Анализ результатов моделирования – сопоставление численных значений количества поездных локомотивов данного рода тока, от-

правляемых со станции резервом и подсылаемых резервом на станцию по каждому суткам отдельно (из 90 суток), – показал, что эти результаты не дают стабильной картины и некорректны для принятия обоснованного решения о величине технологического резерва поездных локомотивов как одного, так и другого рода тока для обследованной станции. Аналогичные выводы приходится сделать и в отношении результатов моделирования по внутрисуточным 6-и 4-часовым периодам.

Результаты моделирования показывают большую нестабильность, неравномерность движения грузовых поездов на станции и непарность их размеров как в суточном режиме, так и по внутрисуточным периодам различной продолжительности. Поэтому фактические простои локомотивов по обороту на таких станциях значительно превышают минимальные технологические нормы.

Определение величины технологического резерва поездных локомотивов на станциях смены видов тяги и родов тока представляется задачей для сменно-суточного планирования и прогнозирования размеров движения поездов и их обеспечения локомотивами на участках обращения локомотивов на 3–4 суток вперед.

В связи с этим разрабатывается постановка задачи и методика обоснования величины технологического резерва локомотивов на станциях смены видов тяги и родов тока на основе выполнения технико-экономических расчетов и сопоставлений вариантов обеспечения поездов локомотивами на таких станциях как метода оперативного диспетчерского регулирования.

Библиографический список

1. **Повышение** надежности информационных технологий пропуска поездов на станциях сме-

ны видов тяги и родов тока транспортных коридоров / Г. М. Грошев, А. Г. Котенко, А. Р. Норбоев // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы III междунар. науч.-практич. конф. «Интеллект Транс-2013». – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 218–223.

2. **Инструкция** по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» / Утв. распоряжением от 16 июля 2012 г. № 1415 р.

3. **Моделирование** : задачи, задания, тесты / Т. И. Алиев, Л. А. Муравьева-Витковская, В. В. Сошнин. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2011. – 197 с.

УДК 621.333.41

А. М. Евстафьев, А. П. Зеленченко, В. М. Мищенко

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье обоснована целесообразность расширения скоростного диапазона рекуперативного торможения пригородных электропоездов постоянного тока, оборудованных двигателями последовательного возбуждения. Доказано, что сочетание традиционного рекуперативного торможения в зоне высоких скоростей и импульсного рекуперативного торможения в зоне низких скоростей позволяет получить наилучшие тягово-энергетические показатели системы торможения. Предложен алгоритм управления процессом торможения в случае реализации сочетания традиционной и импульсной рекуперации. Приведено схематехническое решение, позволяющее реализовать предложенный вариант рекуперативного торможения.

энергоэффективность, рекуперативное торможение, импульсный преобразователь.

Введение

Энергосберегающие технологии на тяговом подвижном составе являются одним из наиболее приоритетных направлений для развития железнодорожного транспорта, а также снижения темпов роста стоимости тарифов на пригородные перевозки.

1 Состояние вопроса и постановка задач

В результате многолетних исследований в нашей стране была разработана оригинальная система рекуперативного торможения для пригородных электропоездов постоянного тока.