
Системы и устройства автоматики и телемеханики

УДК 656.259

**В. Б. Леушин, канд. техн. наук,
Л. Б. Смирнова**

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
Самарский государственный университет путей сообщения

Р. Р. Юсупов, канд. техн. наук

Кафедра «Вычислительная техника и защита информации»,
Уфимский государственный авиационный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ПРИ НОРМАТИВНОМ МИНИМАЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ФУНКЦИИ ЧАСТОТЫ НЕСУЩИХ КОЛЕБАНИЙ СИГНАЛА РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

Рассматривается аналитический метод определения максимального значения длины рельсовой линии рельсовой цепи в зависимости от частоты рабочего диапазона при минимальном нормативном значении величины изоляции рельсовой линии и необходимой и достаточной мощности сигнала путевого генератора, при которых рельсовая цепь надежно контролирует состояние рельсовой линии.

рельсовая линия; рельсовая цепь; режим работы; мощность сигнала; частота несущих колебаний сигнала

Введение

На магистральных участках железных дорог Российской Федерации рельсовые цепи (РЦ) являются основными элементами контроля нахождения поездов и целости (наличия) рельсов, позволяющими реализовать ответственный технологический процесс (ОТП) [1, 2] регулирования движения поездов при неукоснительном соблюдении условия – исключение аварий и крушений. На всем пути своего развития РЦ непрерывно совершенствуются.

Широко известно, что качество функционирования РЦ зависит от многих факторов: наличия мощных помех от тягового тока, изменяющейся величины

сопротивления изоляции рельсовой линии (РЛ), динамического воздействия подвижного состава и др. [3].

Следует отметить, что все РЦ, применяемые в настоящее время ОАО «РЖД», являются робастными, так как их путевые приемники (ПП) имеют постоянный порог чувствительности, уровень которого определяется отношением сигнал/помеха в наихудших условиях эксплуатации [2–4] и поэтому КПД современных РЦ ниже 1% [5, 6].

Разработка новых РЦ основывается на применении микроэлектронной элементной базы, позволяющей применять современные методы обработки сигналов, обеспечить высокий уровень помехоустойчивости приема сигналов и электромагнитной совместимости смежных и параллельно расположенных РЦ. Микроэлектронная элементная база вместе с последними достижениями в области обработки сигналов дает возможность отказаться от робастных ПП РЦ и применять при обнаружении и фиксации сигналов РЦ автоматические методы, позволяющие увеличить уровень помехоустойчивости ПП и КПД РЦ.

Проектируя автоблокировку (АБ) на участках железных дорог с цельносварными РЛ, необходимо определить количество РЦ, влияющее на экономические затраты при строительстве и эксплуатации, а также на пропускную способность. При этом важно иметь данные о зависимости максимальной длины РЛ $l_{\text{РЛ}}$ от рабочего диапазона частот при минимальном нормативном значении сопротивления изоляции РЛ $R_{\text{и}}$ (1 Ом·км), а также о необходимой и достаточной мощности сигнала $S_{\text{ПГ}}$ путевого генератора (ПГ). Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время сведений об использовании этих показателей нет.

Таким образом, следует проанализировать зависимость максимальной длины $l_{\text{РЛ}}$ от рабочего диапазона частот при сопротивлении изоляции $R_{\text{и}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ с оценкой необходимой и достаточной мощности сигнала ПГ $S_{\text{ПГ}}$, который позволит установить максимальную длину $l_{\text{РЛ}}$ с учетом выполнения основных требований к ОТП [7, п. 3.2.2 и 3.2.5]. В настоящее время максимальная длина РЛ РЦ при всех возможных значениях частоты несущих колебаний сигнала не определена.

В данной работе представлена методика определения этой зависимости, дающей основание для проектирования АБ, реализующей высокую пропускную способность, относительно высокую экономичность строительства и эксплуатации с учетом выполнения условий безопасности движения поездов. Предложенная методика базируется на имитационном моделировании (ИМ) [8, 9].

ИМ позволяет посредством применения аналитических методов выполнить практически любые исследования с возможным приближением к реальным условиям эксплуатации и тем самым установить зависимость максимальной длины РЛ при нормативном минимальном значении величины сопротивления изоляции в функции частоты несущих колебаний сигнала РЦ.

1 Имитационная модель рельсовой цепи

Современные РЦ функционируют в пяти режимах работы: нормальном, шунтовом, контрольном, короткого замыкания и автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа.

В нормальном режиме работы, который может иметь место только при отсутствии на контролируемом участке рельсового пути подвижного состава и целых рельсах, РЦ автоматически и непрерывно контролирует исправное состояние своих элементов. Надежное функционирование РЦ в этом режиме возможно только при условии, что уровень сигнала на входе ПП будет не ниже порога его чувствительности.

Одно из наихудших условий эксплуатации в этом случае – наличие минимального уровня мощности сигнала $S_{\text{ПП}}$, а при функционировании РЦ в шунтовом и контрольном режимах – максимального уровня мощности данного сигнала.

Наличие минимального уровня мощности сигнала $S_{\text{ПП}}$ при функционировании РЦ в режиме автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа также является одним из наихудших условий эксплуатации РЦ.

Учитывая изложенное, для определения зависимости длины РЛ от рабочего диапазона частот при необходимой и достаточной мощности сигнала $S_{\text{ПП}}$ и нормативном минимальном значении сопротивления изоляции РЛ нужно:

– установить зависимость мощности сигнала $S_{\text{ПП}}$ в различных рабочих диапазонах частот от параметров РЛ (длина РЛ $l_{\text{РЛ}}$, сопротивление РЛ $Z_{\text{РЛ}}$, сопротивление изоляции РЛ $R_{\text{И}}$, сопротивление согласующих элементов СЭ и сопротивление передачи $Z_{\text{ПСЭ}}$) в нормальном режиме и режиме автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа при условии, что уровень сигнала на входе ПП РЦ будет равен нормативному значению его порога чувствительности;

– на основании полученных данных определить зависимость длины РЛ от рабочего диапазона частот при нормативном минимальном значении сопротивления изоляции РЛ $R_{\text{И}}$.

Для аналитических исследований зависимости $l_{\text{РЛ}}$ от рабочего диапазона частот при необходимой и достаточной мощности сигнала $S_{\text{ПП}}$ применена программа RELS для ЭВМ [10, 11], реализующая ИМ РЦ. Программа позволяет рассчитать мощность сигнала $S_{\text{ПП}}$ на выходе ПП в любом рабочем диапазоне частот во всех режимах работы для всех типов РЦ, применяемых на железных дорогах Российской Федерации.

На рис. 1 представлен алгоритм функционирования программы RELS. Цифрами 2 и 3 обозначен ввод в программу исходных и дополнительных данных, соответственно; 4 – выбор одного из четырех вариантов: изолирующие стыки на передающем и приемном концах РЛ; изолирующие стыки на приемном конце РЛ; изолирующие стыки на передающем конце РЛ; изолирующие

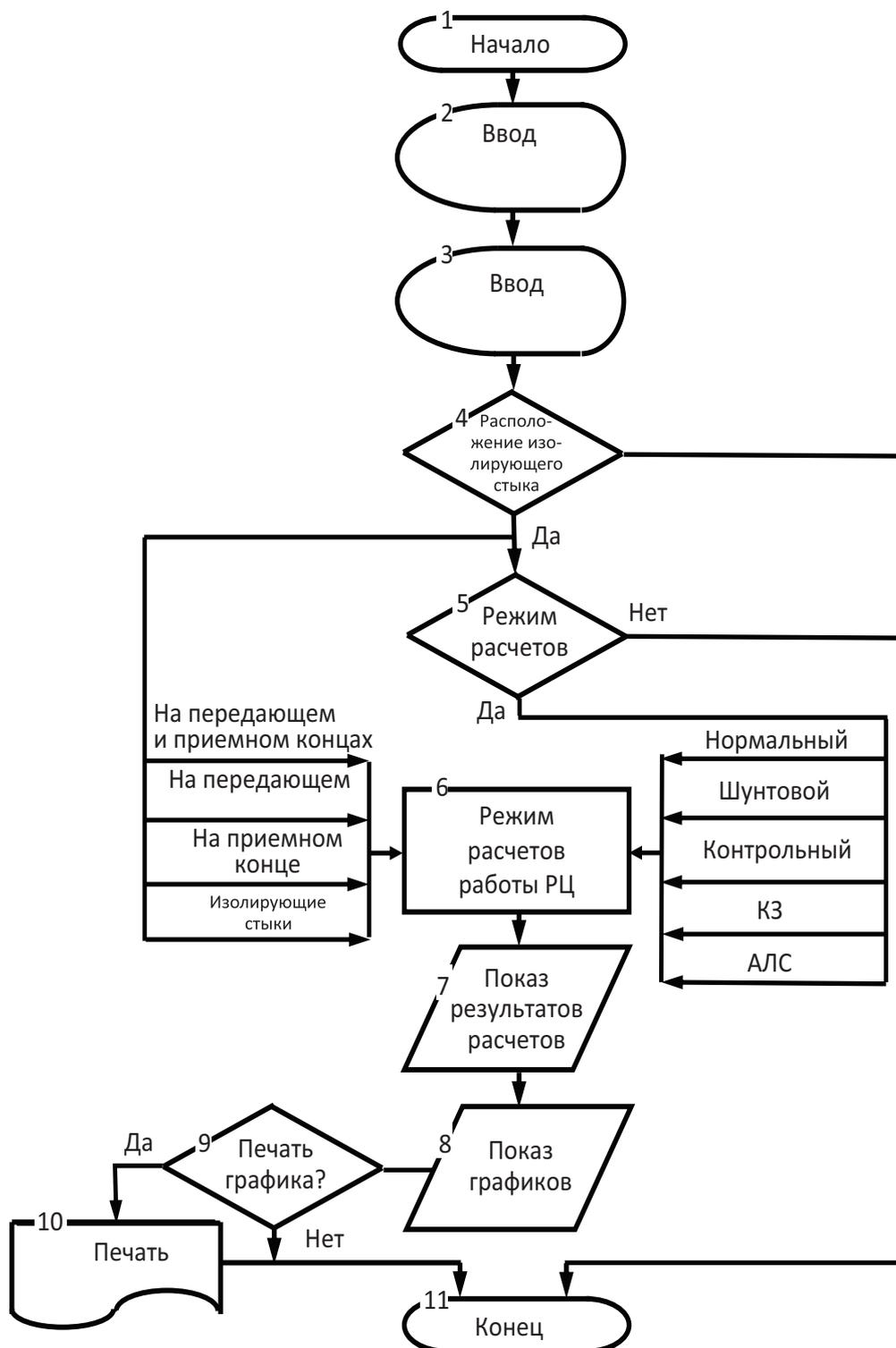


Рис. 1. Алгоритм функционирования программы RELS

стыки отсутствуют. Цифрой 5 обозначен выбор режима работы РЦ (нормальный, шунтовой, контрольный, короткого замыкания (КЗ) и автоматической локомотивной сигнализации). Под 6 подразумевается расчет одного из режимов работы РЦ, выбранного на шаге 5 (расчет величин $S_{ИС}$ в функции $R_{и}$ и $l_{РЛ}$). На этапах 7 и 8 производятся показ на мониторе результатов расчетов и графиков зависимости $S_{ИС}$ от $R_{и}$ и $l_{РЛ}$ соответственно; 9 – выбор процедуры печати; 10 – печать графиков зависимости $S_{ИС}$ от $R_{и}$ и $l_{РЛ}$.

В программе RELS модель РЛ реализована на основе уравнений и значений коэффициентов четырехполюсников схемы замещения для различных режимов работы РЦ. В табл. 1 в качестве примера представлены коэффициенты четырехполюсника схемы замещения РЛ в нормальном режиме РЦ [12]. В приведенных в табл. 1 формулах γ – коэффициент распространения волны, Z_B – волновое сопротивление.

Таблица 1. Коэффициенты четырехполюсника схемы замещения РЛ в нормальном режиме РЦ

Наличие изолирующих стыков	Коэффициенты четырехполюсника			
	A	B	C	D
На передающем и приемном концах	$ch\gamma l$	$Z_B sh\gamma l$	$\frac{sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l$
На приемном конце	$ch\gamma l$	$Z_B sh\gamma l$	$\frac{ch\gamma l + sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l + sh\gamma l$
На передающем конце	$ch\gamma l + sh\gamma l$	$Z_B sh\gamma l$	$\frac{ch\gamma l + sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l$
Отсутствуют на передающем и приемном концах	$ch\gamma l + sh\gamma l$	$Z_B sh\gamma l$	$\frac{2(ch\gamma l + sh\gamma l)}{Z_B}$	$ch\gamma l + sh\gamma l$

Для подготовки вводимых в программу RELS данных необходимо:

- 1) на основе электрической принципиальной схемы анализируемой РЦ построить схему ее замещения, которая должна содержать по четыре четырехполюсника на передающем и на приемном концах РЛ;
- 2) определить параметры коэффициентов четырехполюсников схемы замещения;
- 3) определить параметры РЛ и пределы изменения величин $l_{РЛ}$ и $R_{и}$ согласно данным [12, 13];
- 4) ввести полученные данные в программу RELS посредством диалоговых окон (рис. 4, 5);
- 5) выполнить расчеты и вывести полученные результаты в виде графиков зависимости $S_{ИС}$ от сопротивления изоляции $R_{и}$ РЛ при постоянной длине $l_{РЛ}$;

б) на основании полученных графиков установить максимальное значение длины $l_{\text{РЛ}}$ при нормативном минимальном значении сопротивления изоляции $R_{\text{и}}$ РЛ (1 Ом·км).

2 Определение максимальной длины рельсовой линии

Представим в качестве примера результаты исследования РЦ типа ТРЦЗ с несущей сигнала на частоте 580 Гц.

На рис. 2 изображена электрическая принципиальная схема ТРЦЗ [14, 15], на основании которой построена схема замещения (рис. 3). Четырехполюсники замещают элемент или группу элементов ТРЦЗ: 1 и 9 – конденсаторы $C_{\text{к}}$, реализующие согласующие элементы передающих устройств сигнала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа и устройств РЦ на приемном и передающем концах соответственно; 2 и 8 – сопротивления $R_{\text{к}}$ магистральной кабельной линии сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ); 3 и 7 – согласующие трансформаторы ПТ на приемном и передающем концах РЛ соответственно; 4 и 6 – сопротивления защитных резисторов $R_{\text{з}}$ и соединительных перемычек $R_{\text{п}}$; 5 – РЛ; РЛ1 и РЛ3 представлены входным сопротивлением $Z_{\text{вх}}$ РЛ1 и $Z_{\text{вх}}$ РЛ3 соответственно.

Поскольку программа RELS предполагает по четыре четырехполюсника на передающем и на приемном концах РЛ (рис. 3), то в данном исследовании

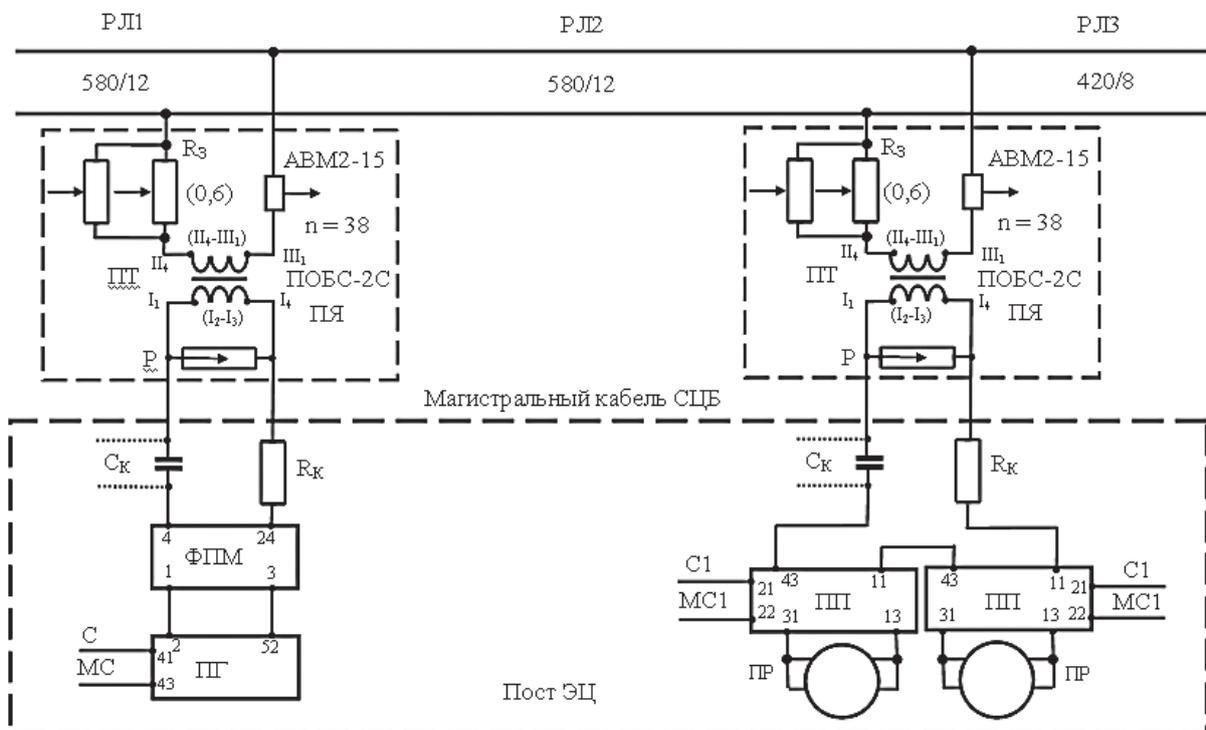


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема РЦ типа ТРЦЗ

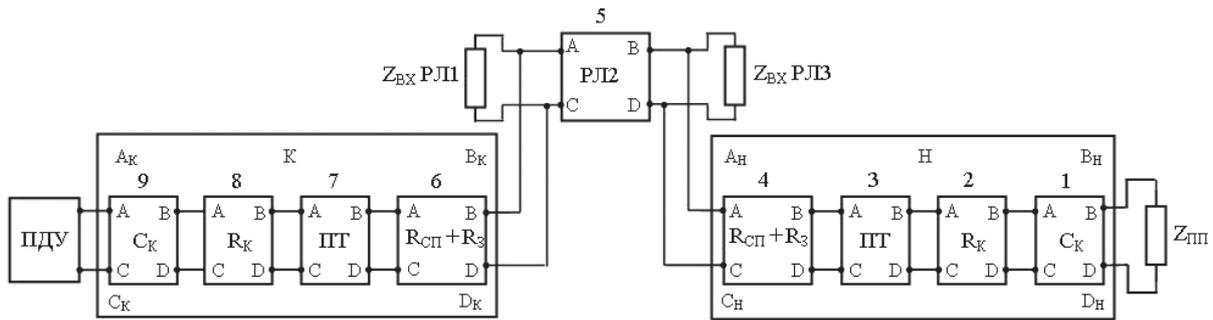


Рис. 3. Схема замещения электрической принципиальной схемы ТРЦЗ

на вход 9-го четырехполюсника поступает сигнал с выхода передающего устройства (ПДУ) РЦ, в состав которого входят ПТ и фильтр путевой малогабаритный (ФПМ), являющийся полосовым фильтром. Таким образом, на вход 9-го четырехполюсника сигнал ТРЦЗ поступает непосредственно с выхода ФПМ.

Внешний вид вкладок «Таблица исходных данных» и «Дополнительные данные» окна программы RELS, посредством которых вводятся значения коэффициентов четырехполюсников схемы замещения и параметров РЛ, представлены на рис. 4 и 5 соответственно.

На рис. 6 показана схема выбора в программе RELS режима работы РЦ и вида РЛ в соответствии с изолирующими стыками.

Результаты расчетов представлены в форме графиков на рис. 7. На графиках кривые пронумерованы в соответствии с длиной $l_{РЛ}$: 1 – 0,1 км; 2 – 0,3 км; 3 – 0,5 км; 4 – 0,7 км; 5 – 0,9 км; 6 – 1,1 км; 7 – 1,3 км; 8 – 1,5 км.

Расчёт режимов работы рельсовых цепей

С чего начать расчет? Таблица исходных данных Дополнительные данные Результаты расчета Графики

Таблица параметров четырехполюсников

Четырехполюсники	А		В		С		D	
	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.
1	1	0	69.2	-90	0	0	1	0
2	1	0	100	0	0	0	1	0
3	0.0354	-9.9	1.24	34.9	0.006	-50.2	28.46	9.7
4	1	0	0.9	0	0	0	1	0
5
6	1	0	0.9	0	0	0	1	0
7	28.46	9.7	1.24	34.9	0.006	-50.2	0.0354	-9.9
8	1	0	100	0	0	0	1	0
9	1	0	69.2	-90	0	0	1	0

Рис. 4. Таблица исходных данных окна программы RELS для ввода значений коэффициентов четырехполюсников схемы замещения

Рис. 5. Дополнительные данные окна программы RELS для ввода значений параметров РЛ

Рис. 6. Схема выбора режима работы РЦ и вида РЛ по наличию изолирующих стыков (на схеме нормальный режим, изолирующие стыки отсутствуют)

Графики на рис. 7, а, в, г отображают зависимость мощности сигнала $S_{ПГ}$ на выходе ПГ от сопротивления изоляции $R_{и}$ РЛ при различных длинах $l_{РЛ}$. На рис. 7, а показаны результаты расчета зависимости мощности сигнала $S_{ПГ}$ в нормальном режиме работы; на рис. 7, в – результаты расчета зависимости мощности сигнала $S_{ПГ}$ в контрольном режиме работы; на рис. 7, г – результаты расчета зависимости мощности сигнала $S_{ПГ}$ в режиме КЗ

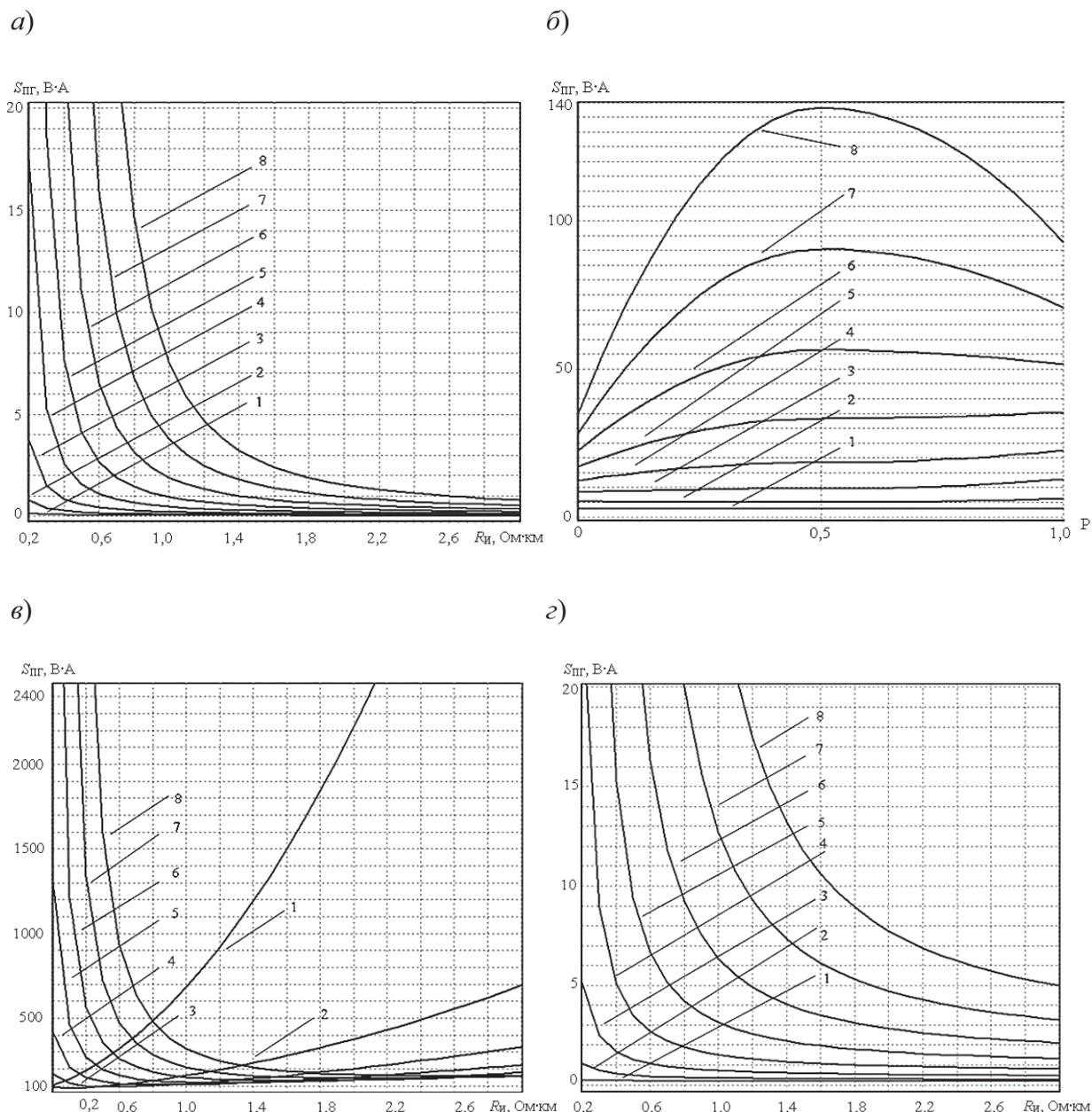


Рис. 7. Результаты расчетов

ТРЦЗ. Графики на рис. 7, б представляют результаты расчета зависимости необходимой и достаточной мощности сигнала $S_{ПГ}$ в шунтовом режиме работы от расположения нормативного шунта (0,06 Ом) на относительной ординате P при различной длине $l_{рл}$.

В РЦ при сравнении необходимой и достаточной мощности сигнала на выходе ПГ в нормальном режиме работы $S_{ПГ(Н)}$ и режиме КЗ $S_{ПГ(КЗ)}$ с мощностью сигнала в шунтовом $S_{ПГ(Ш)}$ и контрольном $S_{ПГ(К)}$ режимах работы должно соблюдаться следующее соответствие:

$$S_{ПГ(Н,КЗ)} < S_{ПГ(Ш,К)}$$

Сравнение значений мощности сигнала $S_{\text{ПГ(Н,КЗ)}}$ на выходе ПГ в нормальном режиме (рис. 7, а) и режиме КЗ (рис. 7, з) при нормативном значении сопротивления изоляции РЛ $R_{\text{и}} = 1 \text{ Ом}\cdot\text{км}$ с мощностью сигнала $S_{\text{ПГ(Ш,К)}}$ на выходе ПГ в шунтовом и контрольном режимах показывает, что в данных условиях эксплуатации шунтовой и контрольный режимы реализуются. Это дает основание определить максимальную величину длины $l_{\text{РЛ}}$ при нормативном минимальном сопротивлении изоляции $R_{\text{и}}$.

На рис. 8 изображены графики зависимости длины $l_{\text{РЛ}}$ от сопротивления изоляции $R_{\text{и}}$ в нормальном режиме (график 1) и режиме КЗ (график 2). Зависимости установлены посредством анализа максимальной допустимой мощности сигнала $S_{\text{ПГ}}$ на выходе ПГ ($20 \text{ В}\cdot\text{А}$) при всех значениях величины $l_{\text{РЛ}}$.

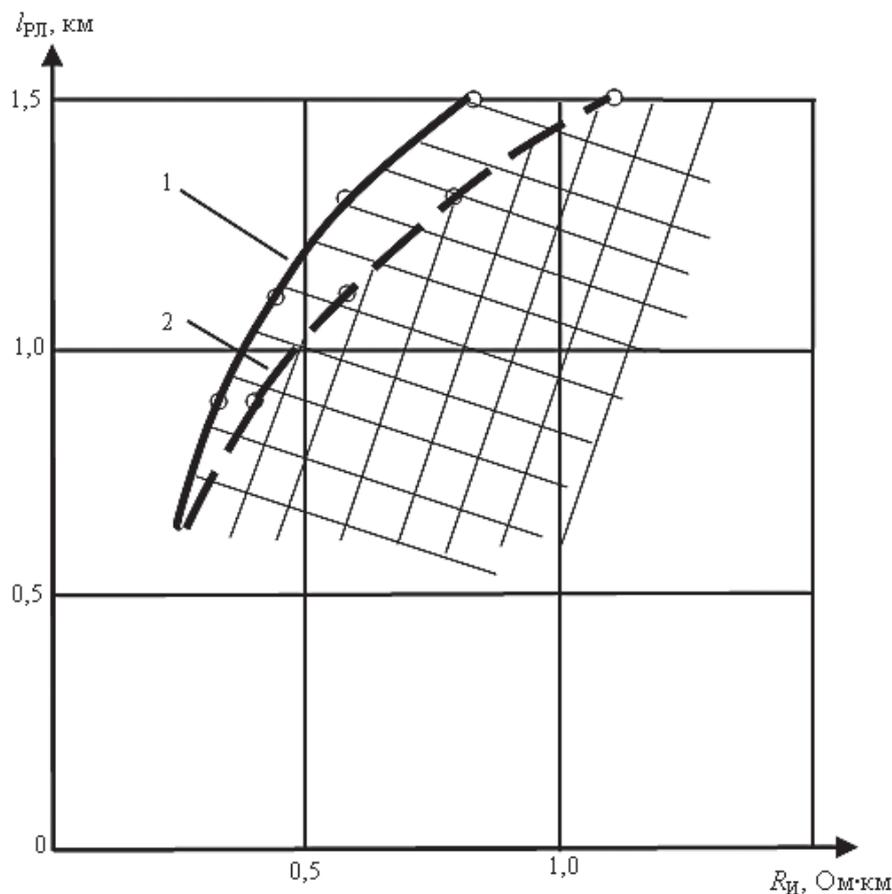


Рис. 8. Графики зависимости длины $l_{\text{РЛ}}$ от сопротивления изоляции $R_{\text{и}}$:
1 – зависимость в нормальном режиме; 2 – зависимость в режиме КЗ

Полученные графики дают возможность определить максимальную длину $l_{\text{РЛ}}$ при нормативном минимальном значении сопротивления изоляции $R_{\text{и}} = 1,0 \text{ Ом}\cdot\text{км}$ (при частоте несущих колебаний сигнала 580 Гц), которая составляет 1,48 км.

Расчеты, выполненные посредством программы RELS, позволили установить зависимость максимальной длины РЛ РЦ типа ТРЦЗ от рабочего диа-

пазона частот (частоты несущих колебаний сигнала) при нормативном минимальном значении величины сопротивления изоляции РЛ.

В табл. 2 показаны значения максимальной длины $l_{\text{РЛ}}$ РЦ при минимальном нормативном значении сопротивления изоляции $R_{\text{и}} = 1,0 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ для РЦ с несущей сигнала на частотах 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 785, 825, 875, 925, 975 Гц.

Таблица 2. Зависимость максимальной длины РЛ от частоты несущих колебаний сигнала РЦ при минимальном нормативном значении величины сопротивления изоляции РЛ

№ п/п	Частота несущих колебаний сигнала $f_{\text{н}}$, Гц	Длина РЛ $l_{\text{РЛ}}$, км
1	225	2,35
2	275	2,22
3	325	2,16
4	375	1,87
5	425	1,82
6	475	1,65
7	525	1,55
8	575	1,48
9	625	1,4
10	675	1,32
11	725	1,26
12	775	1,2
13	825	1,13
14	875	1,08
15	925	1,04
16	975	1,0

Результаты расчетов показывают, что при вышеобозначенных условиях в зависимости от частоты несущих колебаний сигнала максимальная длина РЛ изменяется от 2,35 до 1,0 км, что несомненно повлияет на эксплуатационные характеристики перегона, а также затраты на оборудование его устройствами РЦ.

Заключение

Для успеха исследований, как известно, важны четкая цель и оценка объема предполагаемых работ.

РЦ входят в перечень основных устройств систем интервального регулирования движения поездов (железнодорожной автоматики и телемеханики),

поэтому любые исследования, связанные с их дальнейшим совершенствованием должны выполняться с учетом их участия в ОТП (перевозка пассажиров и грузов посредством организации движения определенного количества поездов на строго ограниченном участке дороги).

При проектировании АБ важное значение имеют длина РЦ, их количество. При РЦ малой длины (и соответственно избыточном их количестве) необоснованно возрастают капитальные и эксплуатационные затраты, а при РЦ большой длины возникает опасность необеспечения их надежной и безопасной работы в определенных режимах (снижения уровня безопасности движения поездов).

В связи с этим рассмотрен аналитический метод определения максимального значения длины РЛ $l_{рл}$ в зависимости от рабочего диапазона частот (частоты несущих колебаний сигнала) при нормативном минимальном значении величины изоляции рельсовой линии и необходимой и достаточной мощности сигнала ПГ.

Исследование зависимости максимальной длины РЛ от частоты несущих колебаний сигнала при нормативном минимальном значении величины сопротивления $R_{и}$ выполнено на частотах несущих колебаний сигнала, соответствующих средней частоте полосы пропускания рабочих диапазонов (полоса пропускания 24 Гц), расположенных между гармониками, кратными частоте промышленного тока (50 Гц): 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Работы, направленные на совершенствование РЦ, должны включать определение оптимального соответствия длины РЛ и необходимой и достаточной мощности ПГ и выбор оптимального с точки зрения минимизации энергетических и материальных затрат рабочего диапазона частот сигнального тока РЦ в конкретных условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Сапожников Вал. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
2. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учебник для вузов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 322 с. : ил.
3. Брылеев А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М. : Транспорт, 1978. – 344 с.
4. Лисенков В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1987. – 150 с.
5. Брылеев А. М. Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.

6. Вахнин М. И. Путьевая блокировка и авторегулировка / М. И. Вахнин, В. И. Ильенков, Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков. – М. : Транспорт, 1974. – 416 с.
7. ГОСТ Р 22.2.08–96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность движения поездов. Термины и определения. – М., 1997. – 12 с.
8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 420 с.
9. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с. : ил.
10. А. с. 2000610908 Рос. Федерация. Анализ рельсовых цепей [Программа для ЭВМ] / В. Б. Леушин, А. Г. Фролагин, А. А. Фролагина-Бирюкова.
11. Леушин В. Б. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Автоматика и телемеханика на перегонах» для студентов специальности 190402 дневной и заочной форм обучения / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов. – Самара : СамГУПС, 2005. – 32 с.
12. Аркатов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.
13. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1992. – 384 с.
14. Дмитриев В. С. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты / В. С. Дмитриев, В. А. Минин. – М. : Транспорт, 1992. – 182 с.
15. Автоблокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением оборудования АБТЦ-03. Типовые материалы для проектирования 410306-ТМП. – М. : Гипротрансигнальсвязь, 2004.

*Vitaliy B. Leushin,
Larisa B. Smirnova*

«Automation, remote control and communication on railways» department
Samara state transport university

Ruslan R. Yusupov

«Computer technology and data protection» department
Ufa State Aviation Technical University

**To the question of rail line maximum length determining
at normal minimum value of insulation resistance in the function
of the signal frequency of the rail circuit**

The article presents the analytical method for determining the maximum value of the rail line length in the rail circuit, depending on the frequency of the operating range, with the minimum normative value of the rail line insulation and the

necessary and sufficient signal strength of the track generator, in which the rail circuit reliably controls the state of the rail line.

rail line; rail circuit; operating mode; signal power; frequency of signal carrier waves

References

1. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Shamanov V. (2003). Reliability of railway automation, remote control and communication systems [Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi]. Moscow, Marshrut. – 263 p.
2. Lisenkov V. (1999). Statistical theory of traffic safety [Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poyezdov]. Moscow, VINITI RAN. – 322 p.
3. Bryleyev A., Kravtsov Yu., Shishlyakov A. (1978). Theory, arrangement and operation of rail circuits [Teoriya, ustroystvo i rabota rel'sovykh tsepey]. Moscow, Transport. – 344 p.
4. Lisenkov V. (1987). Theory of automatic interval control systems [Teoriya avtomaticheskikh sistem interval'nogo regulirovaniya]. Moscow, Transport. – 150 p.
5. Bryleyev A., Kotlyarenko N. (1970). Electric rail circuits [Elektricheskiye rel'sovyie tsepi]. Moscow, Transport. – 256 p.
6. Vakhnin M., Ilyenkov V., Kotlyarenko N., Shishlyakov A. (1974). Track Lock and Auto Adjust [Putevaya blokirovka i avtoregulirovka]. Moscow, Transport. – 416 p.
7. GOST R 22.2.08–96. Safety in emergency situations. Traffic safety. Terms and Definitions [Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Bezopasnost' dvizheniya poyezdov. Terminy i opredeleniya]. Moscow. – 12 p.
8. Robert E. Shannon (1978). Systems Simulation: The Art and Science [Imitatsionnoye modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauka]. Moscow, Publishing house «Mir» (Izdatel'stvo «Mir»). – 420 p.
9. Maximay I. (1988). Simulation modeling on the computer [Imitatsionnoye modelirovaniye na EVM]. Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'). – 232 p.
10. Leushin V., Frolagin A., Frolagina-Biryukova A. (2000). Analysis of rail circuits [Analiz rel'sovykh tsepey]. Computer program [Programma dlya EVM]. Certificate 2000610908. Russian Federation.
11. Leushin V., Yusupov R. (2005). Methodical instructions for the execution of the course work on the discipline «Automation and Remote Control on the Streets» for students of specialty 190402 full-time and part-time forms of training [Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu kursovoy raboty po distsipline «Avtomatika i telemekhanika na peregonakh» dlya studentov spetsial'nosti 190402 dnevnoy i zaochnoy form obucheniya]. Samara, SSTU. – 32 p.
12. Arkatov V., Kravtsov Yu., Stepenskiy B. (1990). Rail circuits. Work analysis and maintenance [Rel'sovyie tsepi. Analiz raboty i tekhnicheskoye obsluzhivaniye]. Moscow, Transport. – 295 p.
13. Arkatov V., Bazhenov A., Kotlyarenko N. (1992). Rail circuits of the main railways [Rel'sovyie tsepi magistral'nykh zheleznnykh dorog]. Moscow, Transport. – 384 p.

14. Dmitriev V., Minin V. (1992). Self-locking systems with rail circuits of tonal frequency [Sistemy avtoblokirovki s rel'sovymi tsepyami tonal'noy chastoty]. Moscow, Transport. – 182 p.
15. Auto lock with tonal rail circuits and centralized equipment placement ABTTS-03 (2004). Typical materials for the design 410306-TMP [Avtoblokirovka s tonal'nymi rel'sovymi tsepyami i tsentralizovannym razmeshcheniyem oborudovaniya ABTTS-03. Tipovyye materialy dlya proyektirovaniya 410306-TMP], JSC Russian Railways. Moscow, Giprotransignalsvyaz.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Л. А. Барановым
Поступила в редакцию 09.04.2018, принята к публикации 13.06.2018*

ЛЕУШИН Виталий Бениаминович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения.
e-mail: leushinu@rambler.ru

СМИРНОВА Лариса Борисовна – доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения.
e-mail: lbs77@yandex.ru

ЮСУПОВ Руслан Рифович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительная техника и защита информации» Уфимского государственного авиационного технического университета.
e-mail: ruskurs@rambler.ru

© Леушин В. Б., Смирнова Л. Б., Юсупов Р. Р., 2018