

УДК 621.331 : 621.311 + 06

П. А. Логунова

СИСТЕМА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения метода восстановления поездной ситуации для определения потерь энергии и расхода энергии на нужды тяги для участков железных дорог постоянного тока.

Ключевые слова: потери энергии, расход энергии, мгновенная схема, тяговая сеть, метод восстановления поездной ситуации.

Для цитирования: Логунова, П. А. Система анализа показателей энергоэффективности тяговой сети постоянного тока / П. А. Логунова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – Р. 169–174.

Электрическая энергия является одним из важнейших энергетических ресурсов в мире. Рациональное использование электроэнергии в железнодорожной отрасли, «прозрачный» учет её потребления и, в связи с этим, повышения энергоэффективности электрифицированных железных дорог – одна из основных задач Энергетической стратегии ОАО «РЖД».

Целью данной работы является повышение энергоэффективности участка железной дороги, электрифицированной постоянным током. Суть предлагаемого метода заключается в определении потерь мощности путем расчета мгновенной схемы участка дороги, с использованием известных соотношений [1]. Как известно, величину потерь мощности в сегменте мгновенной схемы рассчитывают, используя выражение [2]:

$$P_k = I_k^2 r_k,$$

где P_k – потери мощности; I_k – ток, протекающий в k -ом сегменте; r_k – сопротивление k -го сегмента.

Потери мощности расчетного сегмента находят путем интегрирования в заданном интервале времени:

$$W_k = \int_{t_1}^{t_2} I_k^2 r_k dt.$$

Искомое значение потери энергии за конкретный интервал времени в пределах всей межподстанционной зоны находят путем суммирования значений потерь во всех расчетных сегментах:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots W_n = \sum_{k=1}^n \int_{t_1}^{t_2} I_k^2 r_k dt = \int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{k=1}^n I_k^2 r_k \right) dt$$

Однако, для применения данного подхода, необходимо владеть информацией о местоположении и величине нагрузок в пределах исследуемой межподстанционной зоны.

Предлагаемый мной метод направлен на восстановление мгновенной схемы сегмента железной дороги в заданный момент времени для её расчета и определения потерь энергии на основе небольшого объема данных – удельном сопротивлении рассматриваемого участка, длины межподстанционной зоны, местоположении поста секционирования и напряжениях, и токах на фидерах поста секционирования и тяговых подстанций. Данный метод получил название «метод восстановления поездной ситуации».

Рассмотрим участок межподстанционной зоны, представленный на рис. 1. Данный участок с односторонним питанием и на нем присутствует одна нагрузка – электроподвижной состав (ЭПС). Будем считать, что токи и напряжения на шинах смежных подстанций известны.

Ниже приведена схема замещения участка, рис. 2, где нагрузка и ток через нее обозначены R' и I' .

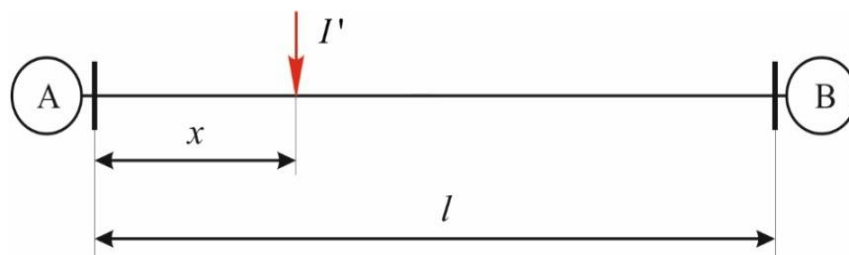


Рис. 1. Схема однопутного участка с одной нагрузкой

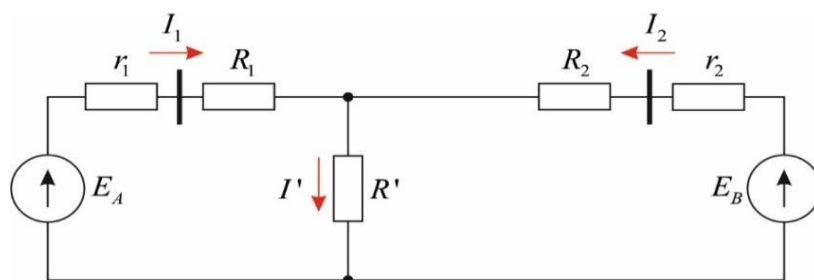


Рис. 2. Схема замещения однопутного участка с одной нагрузкой

Используя основные законы электротехники, составим уравнения для двух независимых контуров:

$$\begin{cases} I_1 \cdot r_1 + I_1 \cdot R_1 + I' \cdot R' = E_A \\ I_2 \cdot r_2 + I_2 \cdot R_2 + I' \cdot R' = E_B \end{cases}$$

Решая совместно данную систему относительно неизвестной x , получим формулу, по которой можно определить координату ЭПС.

$$x = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot \ell + \frac{U_1 - U_2}{r \cdot (I_1 + I_2)}$$

Все величины, входящие в полученное выражение известны: удельное сопротивление тяговой сети и длина участка известны с этапа проектирования дороги, а токи и напряжения могут быть замерены аппаратурой тяговых подстанций. Этих данных достаточно для построения расчетной мгновенной схемы.

Пусть на участке с двухсторонним питанием имеется пост секционирования и находятся два ЭПС одновременно, рис. 3. На рис. 4 представлена схема замещения рассматриваемого участка.

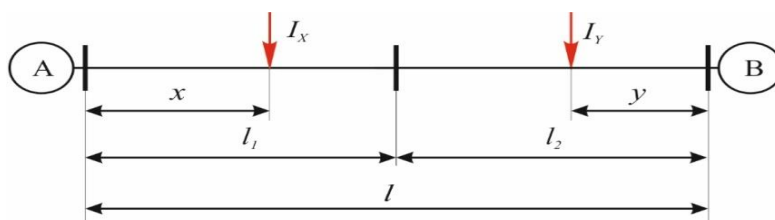


Рис. 3. Схема однопутного участка с двумя нагрузками

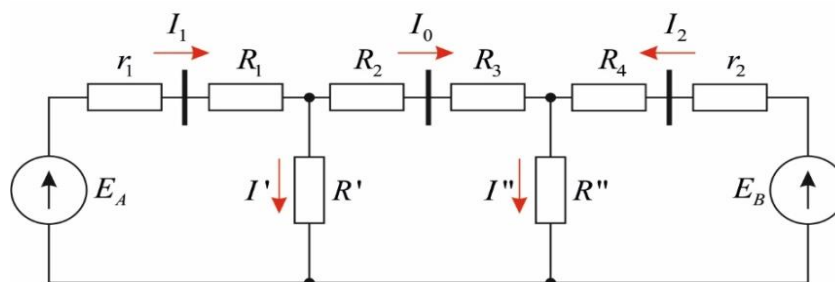


Рис. 4. Схема замещения однопутного участка с двумя нагрузками

Аналогично предыдущему случаю, используя основные законы электротехники получим соотношения:

$$x = \frac{E'_A - \varphi}{(I_1 - I_0) \cdot r} + l_1 \frac{I_0}{I_0 - I_1}$$

$$y = \frac{E'_B - \varphi}{I'' \cdot r} + l_2 \frac{I'' - I_2}{I''}$$

Указанные выражения, позволяющие определить координаты ЭПС, также могут быть использованы в схемах параллельно, узлового и кольцевого питания контактной сети. В объеме данной работы доказательство данного факта не приводится.

Неотъемлемой частью рассматриваемой системы является система передачи данных о токах и напряжениях контрольных точек. В качестве таковой можно использовать как применяемые в железных дорогах каналы связи, так и системы сотовой связи.

В качестве примера на рис. 5 представлена блок-схема сбора и передачи данных. Значения величин токов и напряжений снимаются измерительными преобразователями тока и напряжения и подаются на аналогово-цифровой преобразователь.

С него и устройства синхронизации времени информация передается на устройство сбора и передачи информации [3]. Далее через линию связи необходимые данные получает центральное устройство обработки данных. Здесь осуществляется обработка получаемых данных, составляются в поминутном интервале мгновенные схемы и выполняется расчет потерь в тяговой сети.



Рис. 5. Блок-схема сбора и передачи данных:

ИП I – измерительный преобразователь тока; ИП U – измерительный преобразователь напряжения; УСВ – устройство синхронизации времени; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; УСПИ – устройство сбора и передачи информации; ЦУОД – центральное устройство обработки данных

Для оценки точности предлагаемого метода проведен анализ систематической погрешности измерения, как совокупности погрешности методической и инструментальной. Методическая погрешность будет возникать в случае появления на рассматриваемом участке двух ЭПС. Математический аппарат предлагаемого метода восстановления поездной ситуации определит их как некоторую эквивалентную тяговую нагрузку. В результате анализа была определена относительная методическая погрешность метода и построена ее зависимость от соотношения токов ЭПС1 и ЭПС2. Зависимость приведена на рис. 6. Полученная зависимость показывает, что при соотношении нагрузок ЭПС 3:2, наиболее вероятном, величина методической погрешности не превышает четырех процентов. В настоящее время проводятся исследования, позволяющие минимизировать составляющую методической погрешности.

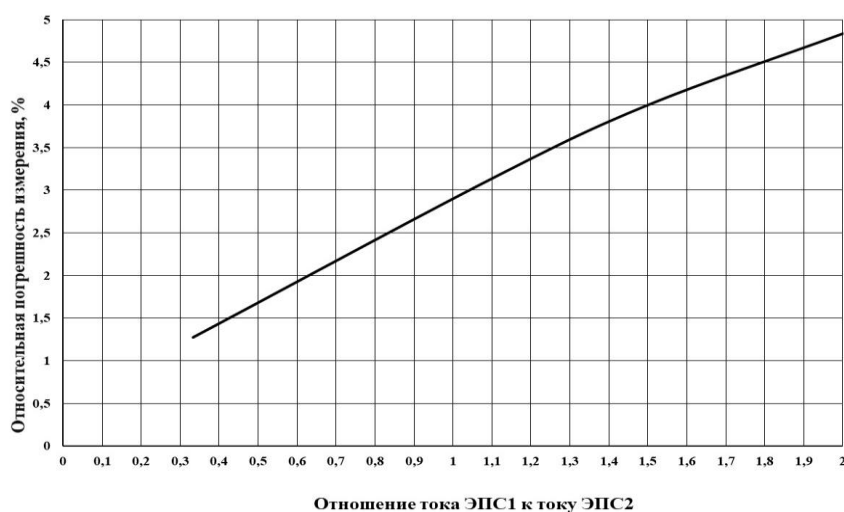


Рис. 6. Зависимость относительной погрешности от соотношения токов ЭПС

Анализ инструментальной погрешности является результатом компьютерного моделирования. Получены зависимости потерь мощности и инструментальной погрешности как функция от расстояния от смежных тяговых подстанций, рис. 7.

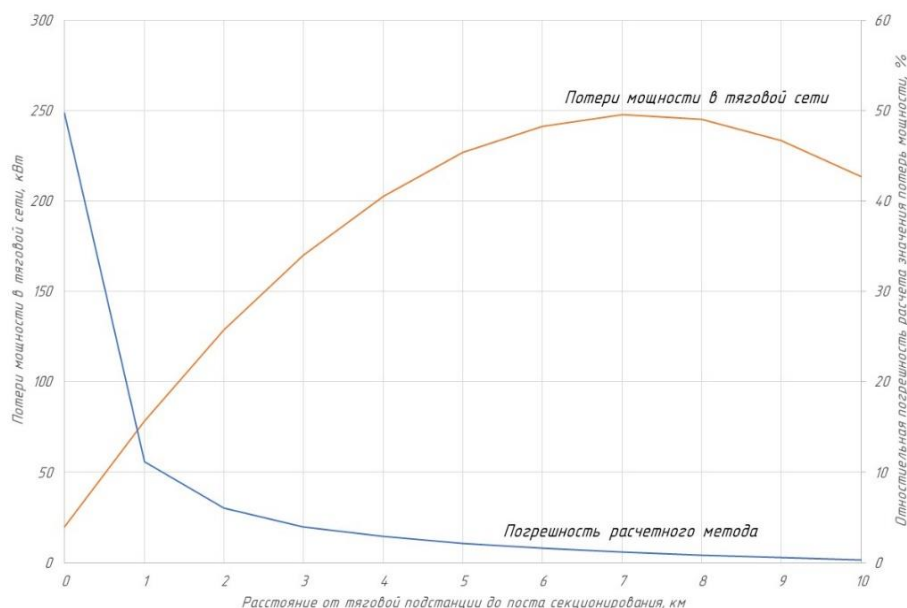


Рис. 7. Зависимость погрешности метода и потерь мощности от расстояния до смежных тяговых подстанций

Анализ представленного графика показывает, что вблизи шин тяговой подстанции величина погрешности измерения мощности достигает 50%. Но по мере удаления будет наблюдаться снижение погрешности с очевидным ростом потерь мощности в тяговой сети. На расстоянии в 2 км от шин тяговой подстанции неопределенность измерения составит около 7%, а в пиковой точке не превысит 2 %.

Предложенный в статье метод показал возможность нахождения потерь энергии путем расчета мгновенных схем с минимальными техническими вложениями и высокими метрологическими характеристиками.

Библиографический список

1. **Осипов, В. А.** Методика определения составляющих для построения мгновенной схемы участка железной дороги постоянного тока / В. А. Осипов, П. А. Логунова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 4(76). – С. 120-126. – EDN FJLFWM.
2. **Марквардт, К. Г.** Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт. – 1965. – 464 с.
3. **Хряков, А. А.** Расчет расхода электрической энергии в зонах учета электрической тяги постоянного тока с использованием новых технических средств / А. А. Хряков // Известия Транссиба. – 2011. – № 2(6). – С. 59-63. – EDN NUWFCR.

P. A. Logunova

A SYSTEM FOR ANALYZING ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF A DC TRACTION NETWORK

Abstract. The article considers the possibility of using the method of restoring the train situation to determine energy losses and energy consumption for traction needs for sections of DC railways.

Keywords: energy loss, energy consumption, instantaneous circuit, traction network, method of restoring the train situation.

For citation: Logunova, P. A. A System for analyzing energy efficiency indicators of a DC traction network / P. A. Logunova // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 169–173.

Сведения об авторах

Логунова Полина Александровна
Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
Кафедра: «Теоретические основы
электротехники», старший преподаватель,
e-mail: polina_buteneva@mail.ru

Information about the authors

Logunova Polina Alexandrovna
Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Theoretical foundations of electrical
engineering», senior lecturer
e-mail: polina_buteneva@mail.ru