

УДК 621.331

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПОЕЗДАМИ

К. А. Калашников

Аспирант

Кафедра «Электроснабжение железных дорог»
 Днепропетровский университет железнодорожного транспорта им. ак. В.Лазаряна
 ул. ак. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, 49010
 Контактный тел.: (056) 765-29-80, 093-754-29-55
 E-mail: 555kostya555@mail.ru

Запропонований метод зменшення втрат потужності в контактній мережі за рахунок оптимізації відстані між поїздами, обґрунтований вибір математичного методу оптимізації відстаней між поїздами по критерію мінімуму втрат потужності в контактній мережі

Ключові слова: енергозбереження, втрати потужності, контактна мережа

Предложен метод уменьшения потерь мощности в контактной сети за счет оптимизации расстояния между поездами, обоснован выбор математического метода оптимизации расстояний между поездами по критерию минимума потерь мощности в контактной сети

Ключевые слова: энергосбережение, потери мощности, контактная сеть

It's offered the method of diminishing of power losses in a contact lines due to optimization of distance between trains, the choice. The autors gave the mathematical method of optimization of distances between trains on the criterion of a minimum of losses of power in a contact lines.

Keywords: energy saving technologies, the value of power losses, contact lines

Введение

Значительная величина потребления электроэнергии железнодорожными узлами и большой потенциал энергосбережения на транспортных предприятиях указывают на необходимость проведения работ по снижению потерь и повышению эффективности использования электроэнергии. Потери электроэнергии – важнейший показатель экономичности работы электрических сетей, один из главных индикаторов состояния системы учета электроэнергии, эффективности деятельности энергоснабжающих организаций. В современных условиях этот индикатор свидетельствует о накапливающихся проблемах, которые требуют безотлагательных решений в области совершенствования методов и средств эксплуатации электрических сетей.

Анализ литературы

Экономия электроэнергии предусматривает прежде всего уменьшение потерь электроэнергии во всех звеньях системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Основными путями снижения потерь электроэнергии на предприятиях железнодорожного транспорта являются [1-5]:

1. рациональное построение системы электроснабжения при ее реконструкции, включающее в себя применение рациональных:
 - напряжений;

- мощности и числа трансформаторов на тяговых подстанциях (ТП);
 - общего числа трансформаций;
 - места размещения ТП;
 - схемы электроснабжения;
 - компенсации реактивной мощности и др.;
2. снижение потерь электроэнергии в действующих системах электроснабжения, включающее в себя:
 - ограничение холостого хода электроприемников;
 - модернизацию существующего и применение нового, более экономичного и надежного технологического и электрического оборудования;
 - повышение качества электроэнергии;
 - применение экономически целесообразного режима работы силовых трансформаторов;
 - автоматическое управление освещением в течение суток;
 3. нормирование электропотребления, разработка научно обоснованных норм удельных расходов электроэнергии на единицу продукции; нормирование электропотребления предполагает наличие на систем учета и контроля расхода электроэнергии;
 4. составление электробалансов, которые осуществляют с отдельных энергоемких агрегатов и установок; выявление и анализ сверхнормативных небалансов электроэнергии;
 5. организационно-технические мероприятия, которые разрабатываются конкретно на каж-

дом железнодорожном предприятии с учетом его специфики.

При проведении данных мероприятий необходимо учитывать особенности работы системы электропитания. К данным особенностям можно отнести непрерывное изменение количества поездов на межподстанционных зонах (МЗ) участка, их скорости, дислокации, расстояний между поездами, что приводит к вариации потерь мощности в контактной сети. Исследования влияния различного количества поездов на МЗ и изменения межпоездного интервала с учетом режимов работы системы тягового электроснабжения проведены в работах [6-9]. Однако, в данных исследованиях не было учтено влияния дислокации и расстояния между поездами на величину потерь мощности в контактной сети.

Цель статьи

Уменьшение потерь мощности в контактной сети за счет выбора оптимального расстояния между поездами, выбор математического метода оптимизации.

Основной материал

Автором статьи проведены исследования [10], в ходе которых установлено, что одно и то же количество поездов может быть пропущено по участку с различными потерями мощности в контактной сети в зависимости от дислокации и расстояния между поездами на МЗ, что приводит к задаче определения оптимальных расстояний между поездами по критерию минимума суммарных потерь мощности в контактной сети.

Введем обозначение $l_{i,i+1}$ – расстояние между i -тым и $i+1$ -м поездами, то с точки зрения безопасности движения должно соблюдаться условие:

$$l_{i,i+1} \geq l_{\min}, \quad i = \overline{1, N-1}, \quad (1)$$

где l_{\min} – минимально допустимое расстояние между поездами с учетом безопасности движения [11];

N – количество поездов между тяговыми подстанциями.

При заданном расстоянии между поездами введем показатель:

$$\Delta P_{\max} = \max \sum \Delta P(x, X_0), \quad x \in [0, L_0],$$

где $\sum \Delta P(x, X_0)$ – суммарные мгновенные потери, когда расстояния между поездами равны X_0 , а местоположение первого поезда равно x .

Таким образом для заданного участка с длиной L_0 , ΔP_{\max} является функцией расстояний между поездами X_0 , которые должны быть такими, чтобы $\Delta P_{\max}(X_0) \rightarrow \min$

Предположим, что $y_i = l_{i,i+1}$, тогда $X_0 = [y_1, y_2, y_{N-1}]$, следовательно:

$$\Delta P_{\max} = f(y_1, y_2, y_{N-1}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Ограничения на y_i :

$$\begin{aligned} \min_{1 \leq i \leq N-1} y_i &\geq l_{\min}; \\ X_N = x_1 + \sum_{i=1}^{N-1} y_i &\leq L_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Данные ограничения означают, что при заданном местоположении первого поезда и расстояниях между поездами, местоположение последнего поезда X_N должно быть меньше или равно длине рассматриваемого участка.

Геометрическая интерпретация ограничений представлена на рис.1 для случая $N=3$.

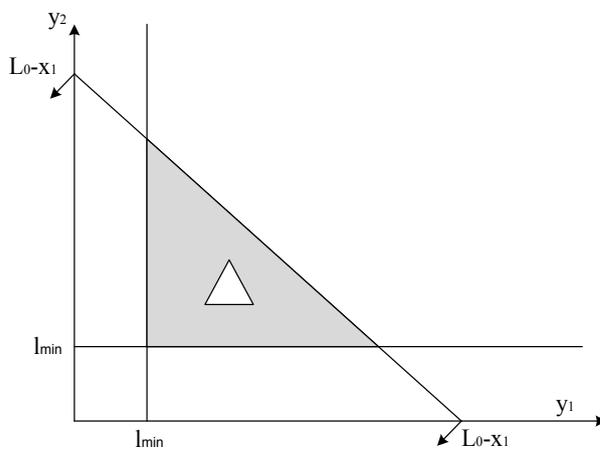


Рис. 1. Область допустимых значений расстояний между поездами

Отметим особенность данной задачи, которая заключается в том, что минимизируемый показатель ΔP_{\max} определяется только алгоритмически и более того, он равен максимуму по местоположению первого поезда. Т.е. функция $\Delta P_{\max} = f(y_1, y_2, y_{N-1})$ не является дифференцируемой и поэтому метод поиска ее минимального значения не должен содержать производные. Т.е. должны быть использованы методы нулевого порядка [12], а именно – метод деформируемого многогранника с некоторой модернизацией применительно к рассматриваемой задаче.

Необходимо отметить еще одну особенность рассматриваемой задачи, которая заключается в том, что область допустимых значений расстояний между поездами существенно зависит от местоположения первого поезда x_1 (рис. 1), что накладывает определенные требования к алгоритму поиска минимума ΔP_{\max} .

Прежде всего введем понятие симплекса S в k -мерном Евклидовом пространстве E_k . Пусть $A_1, A_2, \dots, A_k, A_{k+1}$, точки в E_k , не лежащие в одной гиперплоскости, тогда минимальная выпуклая оболочка натянутая на эти точки называется симплексом S_k . Так например, на плоскости E_2 берем три точки A_1, A_2, A_3 не лежащие на одной прямой, тогда S_2 будет представлять собой треугольник с вершинами в этих точках. В пространстве E_3 симплекс S_3 представляет собой пирамиду и т.д.

Рассмотрим построение правильного симплекса с ребром равным единице и центром масс в начале координат, тогда для его построения необходимо определить два радиуса:

- радиус вписанной сферы:

$$r = \sqrt{\frac{1}{2k(k+1)}}; \tag{4}$$

- радиус описанной сферы:

$$R = \sqrt{\frac{k}{2(k+1)}}. \tag{5}$$

Так на плоскости E_2 : r – радиус вписанной окружности, а R – радиус описанной окружности, значения симплекса представлены в табл. 1:

Таблица 1

Значения симплекса S в k -мерном Эвклидовом пространстве E_k

| A_i | x_1 | x_2 |
|-------|----------------|-----------------------|
| A_1 | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{6}$ |
| A_2 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{6}$ |
| A_3 | 0 | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ |

Пусть x_0 некоторая начальная точка, тогда строим симплекс с центром в этой точке и длиной ребра равной величине a . Если этот симплекс обозначить через X , то координаты вершин его вычисляются по формуле:

$$X[i,j] = x_0[j] + a \cdot A[i,j], \quad i = \overline{1, k+1}, \quad j = \overline{1, k}. \tag{6}$$

Далее вычисляем значения минимизируемой функции в вершинах этого симплекса. Пусть y_1, y_2, y_{k+1} – значения минимизируемой функции в вершинах симплекса X . Среди полученных значений $y_i, i = \overline{1, k+1}$ определяем такую вершину, в которой значение функции максимально, т.е. решаем задачу:

$$y_{j_0} = \max_{1 \leq i \leq k+1} \{y_i\}. \tag{7}$$

И тем самым определяем номер j_0 вершины симплекса X , от которой необходимо выполнять отражение. Так например, на плоскости E_2 имеем симплекс, представленный на рис. 2.

Пусть в вершине X_1 значение функции y_1 максимальное, тогда отражаем вершину X_2 относительно X_3X_1 и получаем новую точку \tilde{X}_1 . Эту точку вносим в симплекс X вместо вершины X_1 вычисляем значение \tilde{y}_1 в новой вершине и заменяем y_1 на \tilde{y}_1 и данный про-

цесс продолжаем n раз. После чего определяем центр масс последнего симплекса и строим новый симплекс с центром в этой точке, но меньшего размера, т.е.:

$$a := \alpha \cdot a, \quad \text{где } 0 < \alpha < 1. \tag{8}$$

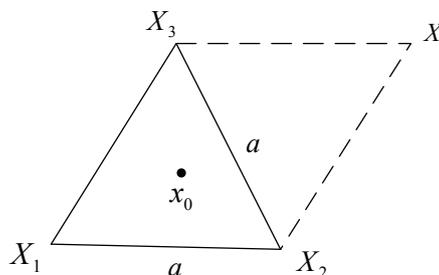


Рис. 2. Общий вид симплекса на плоскости E_2

И данный процесс оканчиваем, когда размер симплекса a становится меньше заданной величины E .

Описанный процесс применяется в том случае, когда на возможные значения (x_1, x_2) не накладываются никакие ограничения. В рассматриваемой задаче имеют место ограничения (3), поэтому описанную процедуру необходимо пополнить процедурой проектирования. Обозначим $D: \subseteq E_2$ – область допустимых значений (x_1, x_2) , тогда в случае получения точки \tilde{X} не принадлежащей области D , необходимо выполнить проектирование точки \tilde{X} на область D .

Пусть X является проекцией \tilde{X} на D , т.е. удовлетворяет условию:

$$\rho(X, \tilde{X}) = \min_{X \in D} \rho(X, \tilde{X}), \tag{8}$$

где $\rho(X, \tilde{X})$ – расстояние между точками X и \tilde{X} .

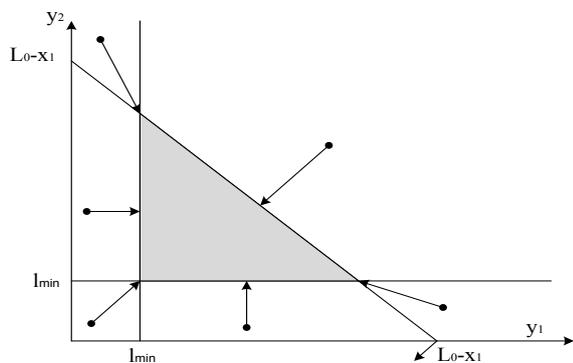
На рис. 3 представлена процедура проектирования для трех поездов на участке. Заметим, что описанный процесс пополнен определением точки, в которой достигалось минимальное значение функции, т.е. при определении вершины с максимальным значением функции, одновременно определяется вершина симплекса с минимальным значением функции.

Проведем расчет оптимальных расстояний между поездами на электрифицированной линии Приднепровской ж.д. (рис. 4) для двух МЗ в четном и нечетном направлениях.

Исходные данные для расчетов:

1. длина МЗ каждого направления – 18 км;
2. дислокация поездов $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$;
3. токи, потребляемые поездами $I(S), S \in [S_n, S_k]$;
4. скорости движения поездов $V(S), S \in [S_n, S_k]$;
5. удельное сопротивление контактной сети $R = 0.07$ Ом/км;
6. сечение контактного провода – 412 мм²;
7. вес расчетных поездов: четные – 4200 т, нечетные – 4900 т.
8. схема питания – двухсторонняя.

Результаты расчетов оптимальных расстояний между поездами по критерию минимума потерь мощности в тяговой сети приведены в табл. 1, табл. 2.



Условные обозначения:

- - точка \tilde{X} ;
- ↓ - точка X .

Рис. 3. Процедура проектирования

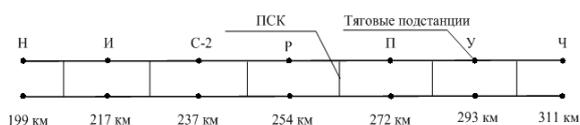


Рис.4. Схема исследуемого электрифицированного участка Приднепровской ж.д.

Таблица 2

Оптимальные расстояния между поездами на МЗ нечетного направления

| Дислокация и оптимальные расстояния между поездами (км) | | | | | Мгновенные потери мощности в тяговой сети (кВт) |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| Дислокация 1-го поезда | Оптимальные расстояния между поездами | Дислокация 2-го поезда | Оптимальные расстояния между поездами | Дислокация 3-го поезда | |
| 0,1 | 1 | 1,1 | 1,1 | 2,2 | 288 |
| 2,1 | 1 | 3,1 | 1,1 | 4,2 | 2580 |
| 4,1 | 1 | 5,1 | 1,1 | 6,2 | 5637 |
| 6,1 | 1 | 7,1 | 2,1 | 8,2 | 7709 |
| 8,1 | 1 | 9,1 | 1 | 10,1 | 34425 |
| 10,1 | 1 | 11,1 | 1,2 | 12,3 | 28623 |
| 12,1 | 1 | 13,1 | 1 | 14,1 | 15073 |
| 14,1 | 1 | 15,1 | 1 | 16,1 | 50 |
| 16 | 1 | 17 | 1 | 18 | 76 |
| Суммарные потери мощности в контактной сети | | | | | 94461 |

В результате расчетов получены суммарные потери мощности в контактной сети для поездов различного направления:

- четные поезда - 100533 кВт;
- нечетные поезда - 94461 кВт

Таблица 1

Оптимальные расстояния между поездами на МЗ четного направления

| Дислокация и оптимальные расстояния между поездами (км) | | | | | Мгновенные потери мощности в контактной сети (кВт) |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| Дислокация 1-го поезда | Оптимальные расстояния между поездами | Дислокация 2-го поезда | Оптимальные расстояния между поездами | Дислокация 3-го поезда | |
| 0,1 | 1 | 1,1 | 1 | 2,1 | 870 |
| 2,1 | 1 | 3,1 | 1 | 4,1 | 8936 |
| 4,1 | 1 | 5,1 | 3,6 | 8,7 | 13894 |
| 6,1 | 1 | 7,1 | 1,7 | 8,8 | 15966 |
| 8,1 | 1 | 9,1 | 2 | 11,1 | 22189 |
| 10,1 | 1 | 11,1 | 1 | 12,1 | 27615 |
| 12,1 | 1 | 13,1 | 1,8 | 14,9 | 10898 |
| 14,1 | 1 | 15,1 | 1,8 | 16,9 | 35 |
| 16 | 1 | 17 | 1 | 18 | 127 |
| Суммарные потери мощности в контактной сети | | | | | 100533 |

Из результатов расчетов следует, что оптимальные расстояния между поездами изменяются в процессе движения по участку в каждый момент времени. При движении поездов с постоянным минимальным расстоянием между поездами в 1 км, согласно [11], получены следующие результаты суммарных потерь мощности в контактной сети:

- четные поезда - 124406 кВт;
- нечетные поезда - 95094 кВт.

Таким образом, потери мощности в контактной сети с учетом дислокации поездов меньше, чем потери при движении с постоянным расстоянием.

Выводы

В ходе исследований, проведена оптимизация расстояний между поездами по критерию минимума потерь мощности в контактной сети. Суммарные потери мощности в контактной сети для поездов четного направления составили – 100533 кВт, для нечетного направления – 94461 кВт. Обоснован выбор метода оптимизации с учетом особенностей рассматриваемой задачи.

Литература

1. Доманский, В.Т. Энергетическая стратегия железных дорог [Текст] / В.Т. Доманский, В.В. Корниенко, А.В. Котельников // Столичный экспресс.-2006.- №№7.-С.24-28.

2. Котельников, А.В. Энергетическая стратегия железных дорог России [Текст] / А.В. Котельников // Железные дороги мира.- 2005.-№2.-С.16-23.
3. Розробка концепції енергетичної стратегії Укрзалізниці на період до 2010 р. та на перспективу до 2020 р. [Текст]: звіт з НДР / кер. В.Г. Сиченко. - ДР 10106U005700; Інв.-Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2006.-48с.
4. Корнієнко, В.В. Електрифікація залізниць. Світові тенденції і перспективи (аналітичний огляд) [Текст] / В.В. Корнієнко, О.В. Котельников, В.Т. Доманський. -К:Транспорт України, 2004.-198с.
5. Мямлін, С.В. Аспекти політики енергозбереження в тягових системах залізничного транспорту [Текст] / С.В. Мямлін, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко // Матеріали I міжнародної научно-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті».-2010.-п. Мисхор: ДНУЗТ.- С.13-18.
6. Доманская, Г.А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.09 / Г. А. Доманская. – Д., 2007. – 25 с.
7. Мирошниченко, Р.И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р.И. Мирошниченко - М. : Транспорт, 1982. – 207 с.
8. Марквардт, К.Г.Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г. Марквардт.-М: Транспорт,1982.-528с.
9. Митрофанов, А.Н. Моделирование процессов прогнозирования и управления электропотреблением тяги поездов [Текст] / А.Н. Митрофанов; Самарская гос. акад. путей сообщения. - Самара. - 2005, -168 с.
10. Кузнецов, В.Г. Исследование факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» – 2012. – № 18. – С. 62-67.
11. Правила технічної експлуатації залізниць України / Київ: 2002р.
12. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах [Текст] / А.В. Пантелеев, Т.А. Легова. – М.: Высшая школа, 2005. – 544 с.

Запропоновано систему електроживлення АСК оцінювати коефіцієнтами живучості та деградації, які більш глибоко відзеркалюють процеси, що відбуваються в умовах невизначеності

Ключові слова: живучість, система електроживлення, аеродромний світлосигнальний комплекс

Предложено систему электропитания АСК оценивать коэффициентами живучести и деградации, которые более глубоко отражают процессы, происходящие в условиях неопределенности

Ключевые слова: живучесть, система электропитания, аеродромный светосигнальный комплекс

Electric power system of light signaling complex of aerodrome is proposed to estimate coefficients of survivability and degradation that more deeply reflects the processes occurring under conditions of uncertainty

Keywords: survivability, electric power system, light signaling complex of aerodrome

УДК 656.71.057: 621.31 (045)

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ АЕРОДРОМНОГО СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В.М. Казак

Доктор технічних наук, професор*
Контактний тел. 050-960-49-68
E-mail: profkazak@ukr.net

Т.А. Мазур

Кандидат технічних наук, асистент*
Контактний тел. 096-466-24-27
E-mail: mazur_T@bk.ru

Л.В. Новачук

Аспірант*
Контактний тел. 066-163-33-77
E-mail: novachuk_liliya@ukr.net

*Кафедра автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058