

Принципы определения рациональных режимов систем тягового электроснабжения с учётом надёжности силового оборудования

В.Г. КУЗНЕЦОВ¹

Резюме

Повышение конкурентоспособности и экономичности работы железнодорожного транспорта Украины невозможно без решения ряда первоочередных проблем, среди которых: обеспечение рациональной технологии перевозочного процесса по энергетическим, экономическим и экологическим критериям; развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта для обеспечения скоростного движения; совершенствование подвижного состава; планирование потребления энергетических ресурсов; внедрение эффективных методов управления железнодорожным транспортом на всех уровнях производственного цикла. В этом перечне особенно выделяется проблема энергосбережения в системах электроснабжения тяги поездов. Эта проблема носит комплексный, многоуровневый и многофакторный характер.

Определение рациональных режимов систем электроснабжения магистральных железных дорог постоянного тока ранее осуществлялось без учёта реалий сегодняшнего дня, когда в условиях рыночной экономики существуют различные варианты расчётов за потреблённую электроэнергию (по одноставочным тарифам, дифференцированным тарифам или оптовым ценам за электроэнергию). Сегодня доля энергетической составляющей в тарифе за перевозки достигла 20%, и с учётом мировых тенденций будет повышаться и далее. При принятии решений на первое место выходят не технические показатели, а экономические (например, стоимость потреблённой электроэнергии).

В статье приведены принципы обеспечения рациональных режимов в системе электроснабжения, на основе которых может быть создана в система контроля и обеспечения рациональных режимов, которая бы для каждого момента времени могла бы оценить режим системы электроснабжения и предложить меры по обеспечению наиболее выгодного режима.

Приведено описание специализированного программного комплекса, который позволяет определять рациональные режимы систем тягового электроснабжения. Приведенный программный комплекс использует генетический алгоритм для оп-

¹ Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна; e-mail: vkuz@i.ua.

ределения рациональных режимов. Статья содержит скриншоты разработанного программного комплекса.

Ключевые слова: система электроснабжения, генетический алгоритм, энергосбережение, программный комплекс

1. Введение

Повышение конкурентоспособности и экономичности работы железнодорожного транспорта Украины невозможно без решения ряда первоочередных проблем, среди которых [5]: обеспечение рациональной технологии перевозочного процесса по энергетическим, экономическим и экологическим критериям; развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта для обеспечения скоростного движения; совершенствование подвижного состава; планирование потребления энергетических ресурсов; внедрение эффективных методов управления железнодорожным транспортом на всех уровнях производственного цикла. В этом перечне особенно выделяется проблема энергосбережения в системах электроснабжения тяги поездов. В [3] показано, что эта проблема носит комплексный, многоуровневый и многофакторный характер.

Определение рациональных режимов систем электроснабжения магистральных железных дорог постоянного тока ранее осуществлялось без учёта реалий сегодняшнего дня, когда в условиях рыночной экономики существуют различные варианты расчётов за потреблённую электроэнергию (по одноставочным тарифам, дифференцированным тарифам или оптовым ценам за электроэнергию). Сегодня доля энергетической составляющей в тарифе за перевозки достигла 20% [4], и с учётом мировых тенденций будет повышаться и далее. При принятии решений на первое место выходят не технические показатели, а экономические (например, стоимость потреблённой электроэнергии). В [2] приведен метод расчёта рациональных режимов системы электроснабжения тяги поездов, использующий генетические алгоритмы.

2. Цель работы

Целью работы является описание принципов обеспечения рациональных режимов систем тягового электроснабжения с учётом надёжности силового оборудования а также созданного программного комплекса для расчёта рациональных режимов системы электроснабжения тяги поездов.

В контексте проблемы определения рациональных режимов системы электроснабжения электротранспорта постоянного тока хозяйство электрификации и электроснабжения железных дорог можно рассматривать как совокупность различных технологических процессов, объединенных решением задачи бесперебойного снабжения электроподвижного состава электроэнергией соответствующего качества. При управлении хозяйством электроснабжения наряду с задачами оптимального управления технологическими процессами в автоматизированной системе управления устройствами электроснабжения (АСУЭ) решаются также задачи, связанные со сбором, обработкой информации, планированием и прогнозированием технологического процесса и состояния оборудования. Как любая сложная система данная система управления устройствами электроснабжения имеет иерархическую структуру, состоящую из отдельных подсистем (рис. 1), имеющих самостоятельные цели управления и общую для всей автоматизированной системы цель. Эти подсистемы находятся на разных уровнях иерархии, взаимодействуют между собой и имеют внешние связи с питающими районными энергосистемами и другими подсистемами железной дороги. Каждая подсистема является частью автоматизированной системы, выделенной по определенному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам управления. В рамках этих задач подсистема может рассматриваться как самостоятельная система.

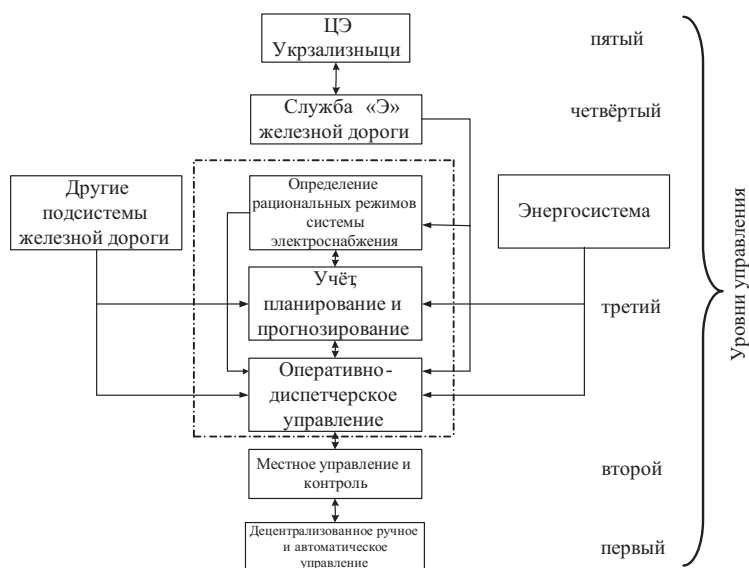


Рис. 1. Структурная схема управления хозяйством электрификации и электроснабжения Укрзализныци

На основе приведенных выше принципов обеспечения рациональных режимов в системе электроснабжения может быть создана экспертная сис-

тема обеспечения рациональных режимов, которая бы для каждого момента времени могла бы оценить режим системы электроснабжения и предложить меры по его рационализации. Структурная схема системы обеспечения рациональных режимов системы электроснабжения приведена на рисунке 2.



Рис. 2. Система обеспечения рациональных режимов системы электроснабжения электротранспорта

Система включает в себя следующие составные элементы:

1. Модель нагрузки системы электроснабжения;
2. Модель потока поездов;
3. Модель тарифа за потреблённую электроэнергию;
4. Блок анализа надёжности переключающих устройств;
5. Модель нагрузки нетяговых потребителей, получающих питание от шин тяговых подстанций;
6. Модель выбора энергосберегающих мероприятий для обеспечения рациональных режимов системы электроснабжения;
7. Модель системы внешнерго электроснабжения.

Для нахождения рациональных режимов функционирования систем тягового электроснабжения постоянного тока был разработан программный комплекс, структурная схема которого приведена на рисунке 3.

Принимается допущение, что поток поездов на железнодорожном транспорте является стационарным ординарным потоком однородных событий с ограниченным последствием [1, 2]. Стационарность потока заключа-

ется в том, что вероятность попадания того или иного числа событий на участок времени длиной t зависит только от длины участка и не зависит от того, где именно на оси времени расположен этот участок. Ординарность потока заключается в том, что вероятность попадания на элементарный участок Δt двух или более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного события.



Рис. 3. Составляющие программного комплекса

Назначением представленного в данной статье программного комплекса является определение рациональных режимов СТЭ магистральных железных дорог, а именно – определение оптимального количества одновременно работающих понижающих и тяговых трансформаторов на каждой подстанции, уровня напряжений на шинах тяговых подстанций, рациональных схем питания контактной сети (учитывая переменную стоимость электроэнергии и надежность оборудования). В результате работы программного комплекса минимизируется целевая функция

$$C = \sum_{m=1}^T Ce(t_m) t_m \left[\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta P_{Ti} + \Delta P_{yi}) + \sum_{i=1}^N \Delta P_{\Pi i} + Y \right] \rightarrow \min,$$

Где:

$Ce(t)$ – тарифы на электроэнергию, которая потребляется на перевозочный процесс (одноставочные, оптовые, дифференцируемые);

ΔP_{Ti} – потери мощности в тяговой сети i -ой зоны без учета уравнительных токов;

ΔP_{yi} – потери мощности в тяговой сети i -ой зоны, вызванные неравенством электродвижущих сил (ЭДС) подстанций;

ΔP_{Pi} – потери мощности в оборудовании i -ой тяговой подстанции;

Y – ущерб от снижения надежности трансформаторов и переключающих устройств;

T – период времени, за которое определяются затраты.

3. Структура программы

Для описания структуры программы была избрана диаграмма компонентов (рис. 4), которая описывает особенности физического представления системы.

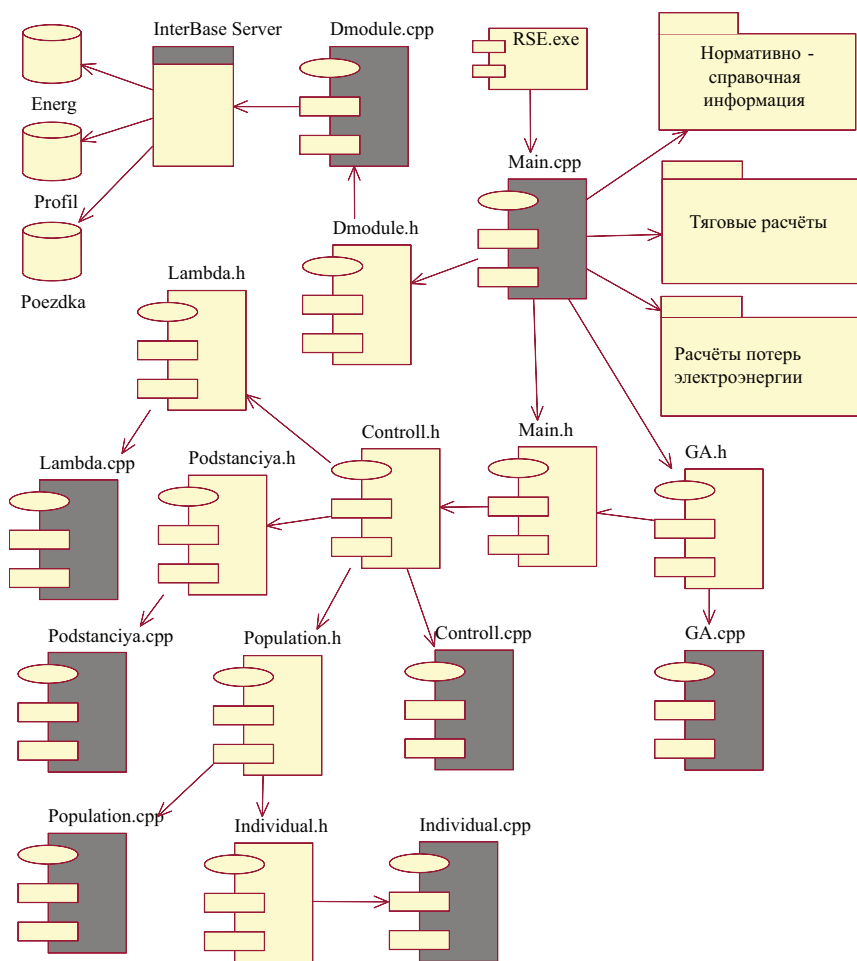


Рис. 4. Диаграмма компонентов

Особенностью предложенной диаграммы компонентов является тот факт, что один из модулей программы (*Dmodule.cpp*) использует стороннюю программу (*Interbase Server*) для доступа к файлам базы данных (*Energ, Profil, Poezdka*). Исходными данными для программного комплекса являются:

$C_e(t)$ – тариф на электроэнергию;

T – период времени, за который определяются потери электроэнергии;

$P_{XX_ПТ}$, $P_{XX_ТТ}$ – потери холостого хода понизительного и тягового трансформаторов соответственно;

C_i – стоимость i -й операции по восстановлению ресурса;

$\omega(t)$ – суммарный параметр потока отказов;

$r_0(S)$ – удельное сопротивление тяговой сети в сечении S , Ом;

$\psi(s, x)$ – функция токораспределения;

NP – количество подстанций на рассматриваемом участке;

ND – количество участков;

NK_i – количество путей на i -м участке;

NV_i – количество узлов на i -м участке;

$\Delta P_{КЗПТ}$, $\Delta P_{КЗТТ}$ – потери короткого замыкания соответственно понизительного и тягового трансформаторов i -й ТП, кВт;

$I_{НОМ_ПТ}$, $I_{НОМ_ТТ}$ – номинальные токи соответственно понизительного и тягового трансформаторов i -й ТП, кА;

$f(t)$ – плотность распределения межпоездных интервалов;

Q – масса j -го поезда, который проходит по i -му участку, т;

α_{ij} – удельный расход электроэнергии j -го поезда, который проходит по i -му участку, кВт·ч/10⁴т·км;

v_{ij} – средняя скорость j -го поезда, который проходит по i -му участку, км/ч;

u – среднее напряжение, кВ;

L_i – длина i -го участка, км;

$I_{дн i}$ – номинальное значение тока i -й ТП, кА;

$r_{1р}$, $r_{2р}$ – активные сопротивления реакторов 1-го и 2-го контуров сглаживающего устройства i -й ТП, Ом;

ΔE_{1i} – шаг регулирования по первичному напряжению тягового трансформатора i -й ТП, кВ;

$\Delta E_{1max i}$ – максимальное первичное напряжение тягового трансформатора i -й ТП, кВ;

ΔE_{2i} – шаг регулирования по первичному напряжению понизительного трансформатора i -й ТП, кВ;

$\Delta E_{2max i}$ – максимальное первичное напряжение понизительного трансформатора i -й ТП, кВ;

l_{0i} – положение РПН тягового трансформатора i -й подстанции;

k_{0i} – положение РПН понизительного трансформатора i -й подстанции.

После запуска исполнительного файла программы на экран выводится главное окно программы. Это окно позволяет пользователю выполнять следующие операции:

- на вкладке *Система ЭЛС* выбирать участок тяговой сети, для которого необходимо определить рациональные режимы работы, вводить информацию о подстанциях избранного участка (рис. 5);
- на вкладке *Зоны* вводить информацию о межподстанционных зонах, количестве путей и узлов на каждой зоне (рис.6);
- на вкладке *Результаты* просматривать результаты тяговых расчетов (рис.7);
- на вкладке *Поезда* вводить информацию о поездах, которые движутся по выбранному участку (рис. 8);
- на вкладке *Оборудование подстанций* вводить информацию о силовом оборудовании подстанций (рис. 9).

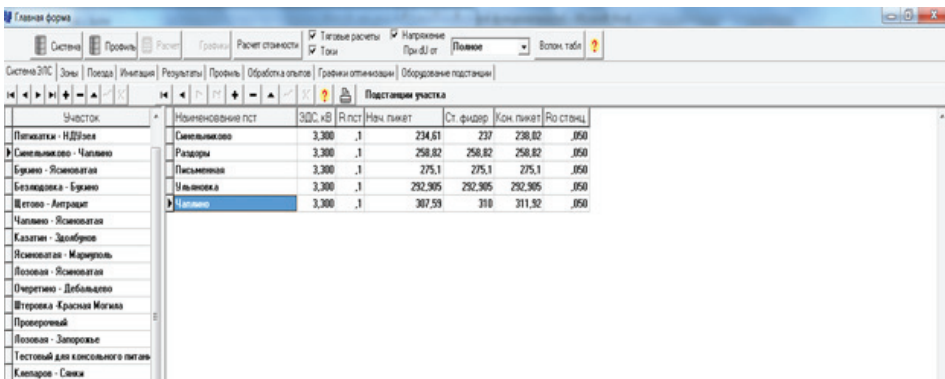


Рис. 5. Вкладка *Система ЭЛС* главного окна программы

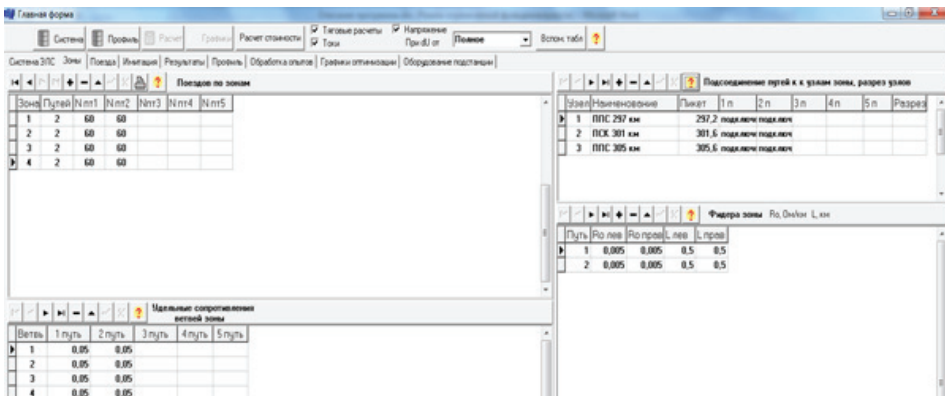


Рис. 6. Вкладка *Зоны* главного окна программы

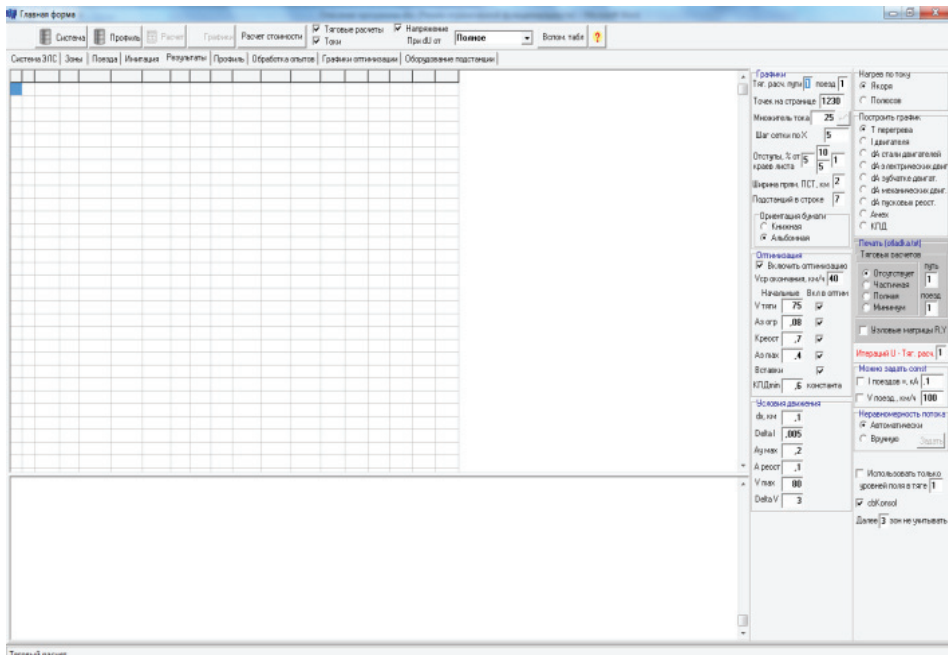


Рис. 7. Вкладка *Результаты* главного окна программы

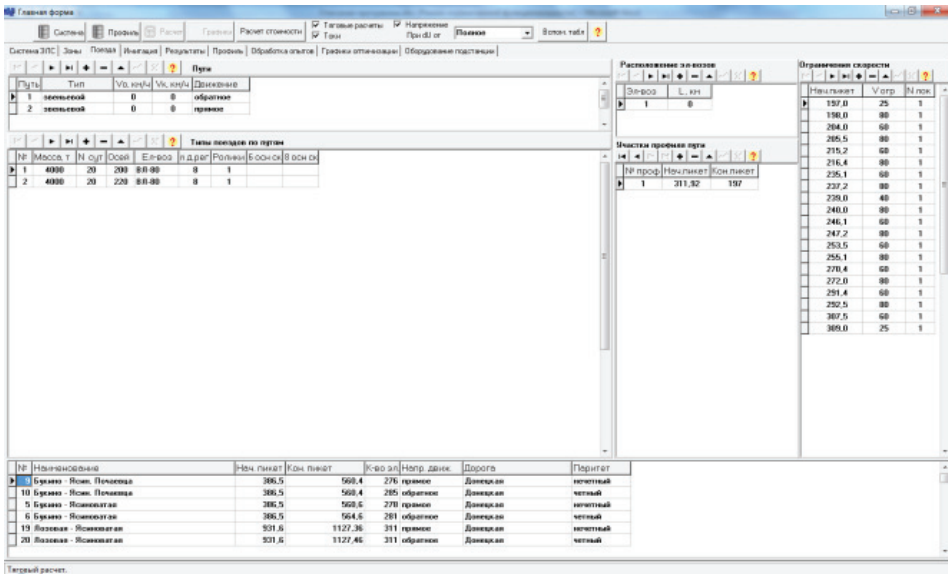


Рис. 8. Вкладка *Поезда* главного окна программы

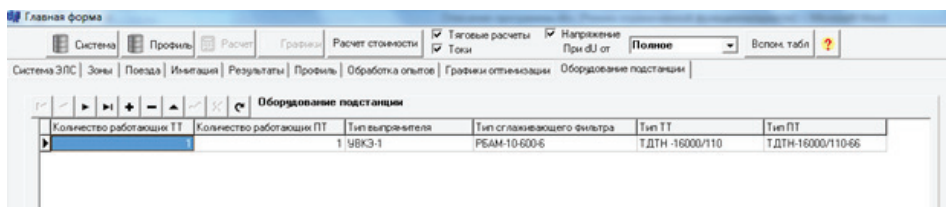


Рис. 9. Вкладка *Оборудование подстанций* главного окна программы

Окно *Постоянные данные* (рис. 10) выводится на экран с помощью кнопки *Вспом. табл.* Оно содержит научно-справочную информацию, которая располагается на вкладках *Электровозы*, *Характеристики электровозов*, *Трансформаторы подстанций*, *Преобразователи подстанций*, *Стоимость*, *Параметры ГА*, *Интенсивность*, *Оборудование подстанций*, *Ущерб*.

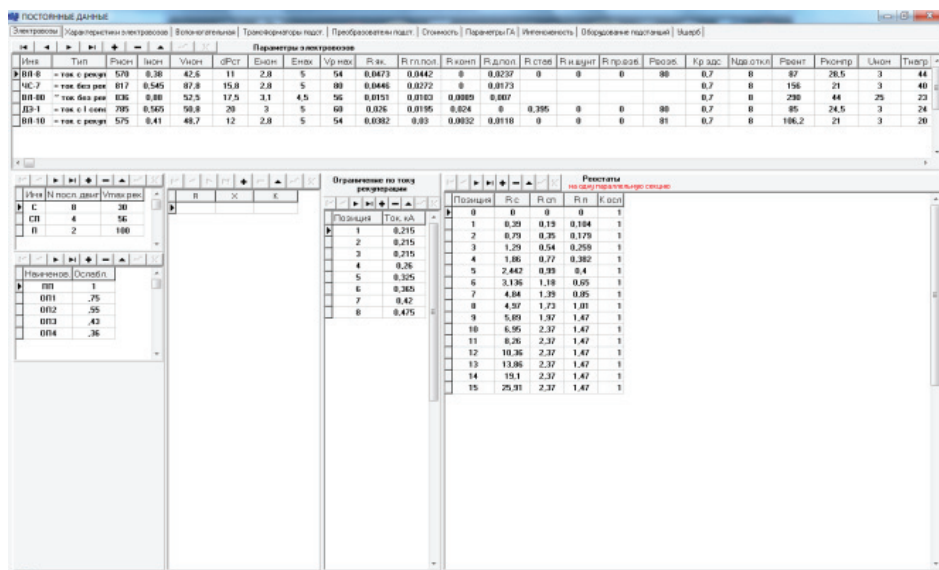


Рис. 10. Окно *Постоянные данные*

Окно *ГА* выводится на экран с помощью кнопки *Расчет стоимости*. Оно содержит информацию о работе генетического алгоритма, которая располагается на вкладках *Стоимость потерь электроэнергии*, *Схемы подключения путей к узлам*, *Уровни напряжения на подстанциях*, *Трансформаторы*, *Графики*. На вкладке *Стоимость потерь электроэнергии* отображается график стоимости существующих потерь электроэнергии на участке тяговой сети и стоимость потерь при рациональных режимах работы системы электроснабжения. На вкладке *Схемы подключения путей к узлам* отобра-

жаются существующие и рациональные схемы подключения путей к узлам для каждой межподстанционной зоны. На вкладке *Уровни напряжения на подстанциях* отображаются действующие и рациональные уровни напряжения на каждой подстанции рассматриваемого участка тяговой сети. На вкладке *Трансформаторы* отображается существующее и рациональное количество одновременно работающих понижающих и тяговых трансформаторов на каждой подстанции рассматриваемого участка. На вкладке *Графики* отображаются графики стоимости электроэнергии и интенсивности потока поездов.

В результате работы программного комплекса рассчитываются следующие показатели:

- C – стоимость потерь электроэнергии, грн;
- l_i – положение РПН тягового трансформатора i -й подстанции;
- k_i – положение РПН понизительного трансформатора i -й подстанции;
- m – общее количество переключений силового оборудования;
- γ_{uv} – подключение u -го пути до v -го узла (1 – подключено, 2 – не подключено);
- X_{1i}, X_{2i} – количество одновременно работающих понизительных и тяговых трансформаторов i -й подстанции (может принимать значение 1 либо 2).

Данный программный комплекс был опробован на участках Приднeпровской железной дороги и Донецкой железной дороги. В результате оптимизации режимов на Красноармейской дистанции электроснабжения, полученной на базе данного программного комплекса достигнуто снижение потребления электроэнергии на 474 тыс. квт·ч.

4. Выводы

1. Проблема определения рациональных режимов системы электроснабжения тяги поездов магистральных железных дорог носит многоуровневый и многоцелевой характер. В современных условиях хозяйствования важно учитывать надёжность силового оборудования, участвующего в обеспечении рациональных режимов.
2. Можно влиять лишь на уровень потерь электроэнергии в элементах контактной сети осуществляя переходы на различные схемы питания и осуществляя регулирование напряжения на шинах тяговых подстанций путём переключения РПН или с помощью применения вольтодобавочных устройств) и в понизительных и преобразовательных трансформаторах, осуществляя в процессе эксплуатации переход на параллельную работу.

3. Приведено описание прикладного программного комплекса, предназначенного для определения рациональных режимов электрифицированных участков на основе адаптированного генетического алгоритма.

Список использованных источников

1. Кузнецов В.Г.: *Инвариантно-согласованный метод анализа иерархий в задачах планирования энергосберегающих мероприятий системы электроснабжения железнодорожного транспорта* [Текст] / В.Г. Кузнецов, В.И. Шинкаренко // Системні технології.-2011.-№6 (77).-С.77-85.
2. Кузнецов В.Г.: *Расчёт рациональных режимов работы тяговых подстанций постоянного тока на основе генетического алгоритма* [Текст] / В.Г. Кузнецов, В.И. Шинкаренко, Н.В. Коваленко // Материалы III международной научно-практической конференции „Энергосбережение на железнодорожном транспорте”.-2012.-Днепропетровск:ДНУЖТ.-С.42-44.
3. Кузнецов В.Г.: *Розвиток теоретичних основ енергозбереження в системах електропостачання тяги поїздів постійного струму* [Текст]:автореф. дис. докт. техн. наук : 05.22.09 / Кузнецов Валерій Геннадійович; [ДНУЗТ]. -Д.:2012.-35 с.
4. Малишко І.В.: *Основні напрямки енергозбереження на залізничному транспорті України* [Текст] / І.В. Малишко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.-2006.-№13.-С.36-38.
5. Мямлін С.В.: *Аспекти політики енергозбереження в тягових системах залізничного транспорту* [Текст] / С.В. Мямлін, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко // Материалы I международной научно-практической конференции „Энергосбережение на железнодорожном транспорте”.-2010.-п. Мисхор: ДНУЗТ.-С.13-18.

Zasady określania racjonalnych warunków pracy systemów zasilania z uwzględnieniem niezawodności oprzyrządowania obwodów mocy

Streszczenie

Poprawa konkurencyjności i efektywności ekonomicznej transportu kolejowego Ukrainy jest niemożliwa bez rozwiązania wielu problemów takich, jak: zapewnienie racjonalnej pod względem energetycznym, ekonomicznym i ekologicznym technologii procesów przewozowych, rozwój infrastruktury transportowej dla dużych szybkości, doskonalenie taboru, planowanie zapotrzebowania na energię, wdrożenie efektywnych metod zarządzania transportem kolejowym na wszystkich etapach cyklu przewozowego.

Wśród wymienionych zagadnień szczególnie ważne jest kompleksowe, wielopoziomowe i wieloaspektowe rozwiązanie problemów zasilania elektrotrakcyjnego. Dotychczas określenie racjonalnych systemów zasilania prądem stałym na liniach magistralnych odbywało się bez uwzględnienia realiów dnia codziennego, podczas gdy w warunkach gospodarki rynkowej istnieją różne warianty obliczeń zapotrzebowania na energię (np. w taryfach z jedną stawką, w taryfach ze zróżnicowanymi stawkami lub z hurtowymi cenami energii). Obecnie koszt energii elektrycznej stanowi 20% kosztów przewozów i zgodnie ze światowymi tendencjami będzie nadal wzrastał. Z tego względu w przyjętym systemie zasilania, główną rolę odgrywają nie czynniki techniczne, a ekonomiczne (np. koszt potrzebnej energii elektrycznej).

W artykule przedstawiono zasady tworzenia racjonalnego systemu zasilania elektrotrakcyjnego, na podstawie których można opracować system kontroli i oceny przyjętego rozwiązania i zaproponować najdokładniejsze rozwiązanie w danych warunkach.

Opisano specjalistyczny program komputerowy do określenia racjonalnych warunków pracy zasilania elektrotrakcyjnego. Program wykorzystuje do tego celu algorytm genetyczny. Pokazano rzuty ekranowe tego programu.

Słowa kluczowe: Słowa kluczowe: system zasilania, algorytm genetyczny, oszczędność energii, oprogramowanie

The Rule of the Rational Mode of Traction Power Supply, Taking Into Account the Reliability Energy Devices

Summary

Increase of competitiveness and profitability of work of railway transport of Ukraine is impossible without the solution of a number of prime problems, among which: ensuring rational technology of transportation process by energetic, economic and ecological criteria; development of infrastructure of railway transport for ensuring high-speed movement; improvement of infrastructure; planning of consumption of energy resources; introduction of effective methods of management on railway transport at all levels. In this list the energy saving problem in power supply systems is especially important. This problem has a complex, multilevel and multiple-factor character.

Definition of rational modes of systems of power supply of direct current railways was carried out earlier without realities of nowadays when under the conditions of market economy there are various options of electricity supply (on the simple rate tariffs, the multilevel tariffs or wholesale prices for the electric power). Today the value of a power component in a tariff for transportations reached 20%, and taking into account world tendencies this value will raise further. During decision making process we must take into account not only technical indicators (for example, the cost of the consumed electric power).

This article describe the principles of providing rational modes of power supply systems taking into account the reliability of power equipment. On this basement can be created the monitoring system for providing rational modes which could estimate for the given moment of time a mode of power system of and offer measures for providing a rational one. The author provides the description of a specialized program complex that can define rational modes of traction power supply systems. The given program complex uses genetic algorithm for definition of the rational modes. Article contains screenshots of the developed program complex.

Keywords: power supply system, genetic algorithm, energy saving, program complex