



ISSN 1727-9895

Праці **Інституту електродинаміки** **Національної академії наук** **України**

Збірник наукових праць

Спеціальний випуск

Київ
2013

УДК 661.331

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ТЯГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЁТОМ НАДЁЖНОСТИ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.Г. Кузнецов, докт. техн. наук

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна,
ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, 49010, Украина
тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: vkuz@i.ua

Приведены принципы обеспечения рациональных режимов в системе электроснабжения, на основе которых может быть создана система контроля и обеспечения рациональных режимов, которая бы для каждого момента времени могла оценить режим системы электроснабжения и предложить меры по обеспечению наилучшего режима. Дано описание специализированного программного комплекса, который позволяет определять оптимальные режимы систем тягового электроснабжения. Приведенный программный комплекс использует генетический алгоритм для определения рациональных режимов. Статья содержит скриншоты разработанного программного комплекса. Библ. 5, рис. 10.

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

Введение. 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 с

чения 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 работе [2] 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 и дифференцированным тарифам или оптовым ценам за электроэнергию). Сегодня доля энергетической составляющей в тарифе за перевозку достигла 20 % [3] 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 работе [4] приведен метод расчёта рациональных режимов системы электроснабжения тяги поездов, использующий генетические алгоритмы.

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, объединённых 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.



Рис. 1. Структурная схема управления хозяйством электрификации и электроснабжения «Укрзалізниці»

Ети підсистеми знаходяться на різних рівнях ієрархії, взаємодіють між собою і мають зовнішні зв'язки з живлячими районними енергосистемами і іншими підсистемами залізничної дороги. Кожна підсистема являється частиною автоматизованої системи, виділеної за певним ознакою, відповідає певним цілям і завданням управління. В межах цих завдань підсистема може розглядатися як самостійна система.

На основі наведених принципів забезпечення раціональних режимів в системі електроживлення може бути створена експертна система забезпечення раціональних режимів, яка для кожного моменту часу могла б оцінити режим системи електроживлення і запропонувати заходи по його раціоналізації.

Структурна схема системи забезпечення раціональних режимів системи електроживлення показана на рис. 2. Вона включає наступні складові елементи:

- модель навантаження системи електроживлення;
- модель потоку поїздів;
- модель тарифу за спожиту електроенергію;
- блок аналізу надійності перемикаючих пристроїв;
- модель навантаження неавтономних споживачів, що отримують живлення від шин тягових підстанцій;
- модель вибору енергозберігаючих заходів для забезпечення раціональних режимів системи електроживлення;
- модель системи зовнішнього електроживлення.

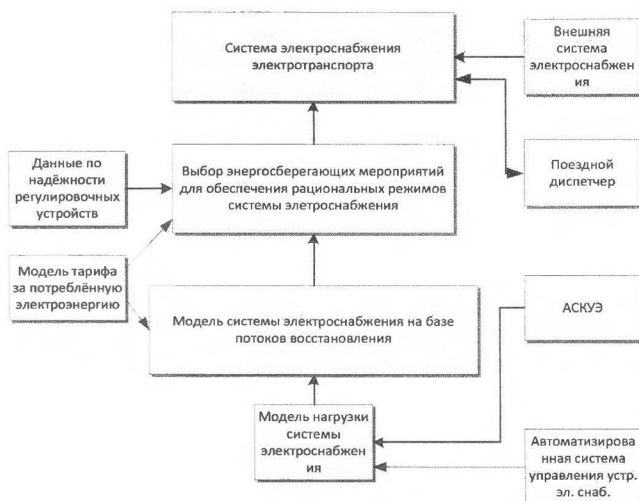


Рис. 2. Система забезпечення раціональних режимів системи електроживлення електрозалізничного транспорту

Щоб знайти раціональні режими функціонування систем тягового електроживлення постійного струму, розроблено програмний комплекс, структурна схема якого показана на рис. 3.

Приймається допущення, що потік поїздів на залізничному транспорті являється стаціонарним ординарним потоком однорідних подій з обмеженим наслідком [5]. Стаціонарність потоку заключається в тому, що ймовірність попадання того чи іншого числа подій на ділянку часу довжини t залежить тільки від довжини ділянки і не залежить від того, в

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 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

$$C = \left[\sum_{m=1}^T Ce(t_m) t_m \left(\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta P_{Ti} + \Delta P_{yi}) + \sum_{i=1}^N \Delta P_{Pi} \right) + Y \right] \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $Ce(t)$ – тарифы на электроэнергию, которая потребляется на перевозочный процесс (одноставочные, оптовые, дифференцируемые); ΔP_{Ti} – потери мощности в тяговой сети i -й зоны без учета уравнительных токов; ΔP_{yi} – потери мощности в тяговой сети i -й зоны, вызванные неравенством электродвижущих сил (ЭДС) подстанций; ΔP_{Pi} – потери мощности в оборудовании i -й тяговой подстанции; Y – ущерб от снижения надежности трансформаторов и переключающих устройств; T – период времени, за которое определяются затраты.

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

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

- $C_e(t)$ – тариф на электроэнергию;
- T – период времени, за который определяются потери электроэнергии;
- $P_{XX_ПТ}$, $P_{XX_ТГ}$ – 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;

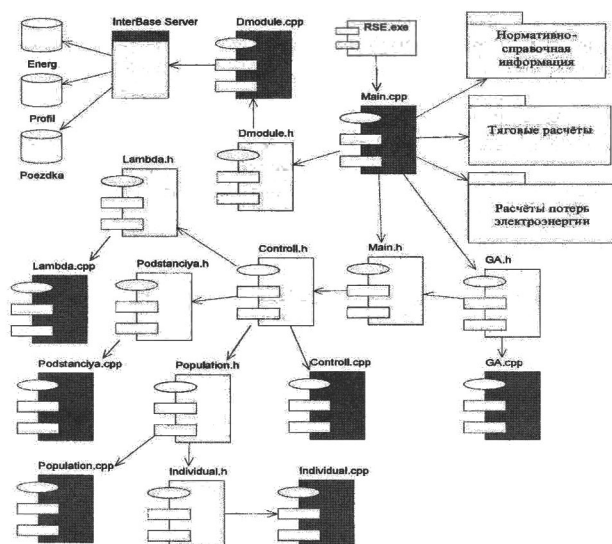


Рис. 4. Диаграмма компонентов

- 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;
- $\Delta P_{\text{КЗПТ}}, \Delta P_{\text{КЗТТ}}$ – потери короткого замыкания соответственно понизительного трансформаторов i -й ТП, кВт;
- $I_{\text{ном_ТТб}}, I_{\text{ном_ТПi}}$ – номинальные токи соответственно понизительного и трансформаторов i -й ТП, кА;
- $f(t)$ – плотность распределения межпоездных интервалов;
- Q_{ij} – масса j -го поезда, который проходит по i -му участку, т;
- α_{ij} – удельный расход электроэнергии j -го поезда, который проходит по i -му 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;
- $I_{\text{дтi}}$ – номинальное значение тока i -й ТП, кА;
- $r_{1\text{pi}}, r_{2\text{pi}}$ – 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;
- $\Delta E_{1\text{maxi}}$ – максимальное первичное напряжение тягового трансформатора i -й ТП, кВ;
- ΔE_{2i} – шаг регулирования по первичному напряжению понизительного трансформатора i -й ТП, кВ;
- $\Delta E_{2\text{maxi}}$ – 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, которое дает возможность 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 двигаются по выбранному участку (рис. 8);
- на вкладке «Оборудование подстанций» вводить информацию о силовом оборудовании подстанций (рис. 9).

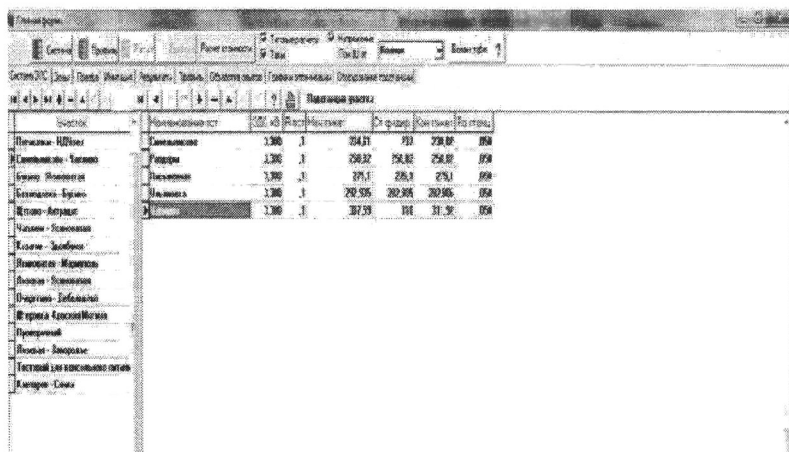


Рис. 5. Вкладка «Система ЭЛС» главного окна программы

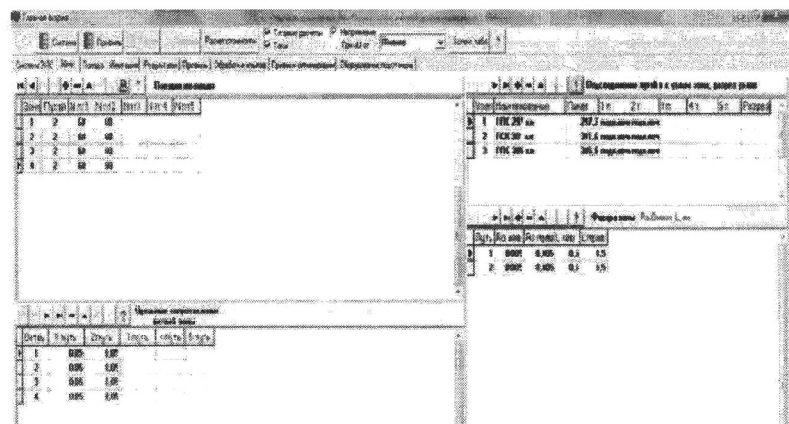


Рис. 6. Вкладка «Зоны» главного окна программы

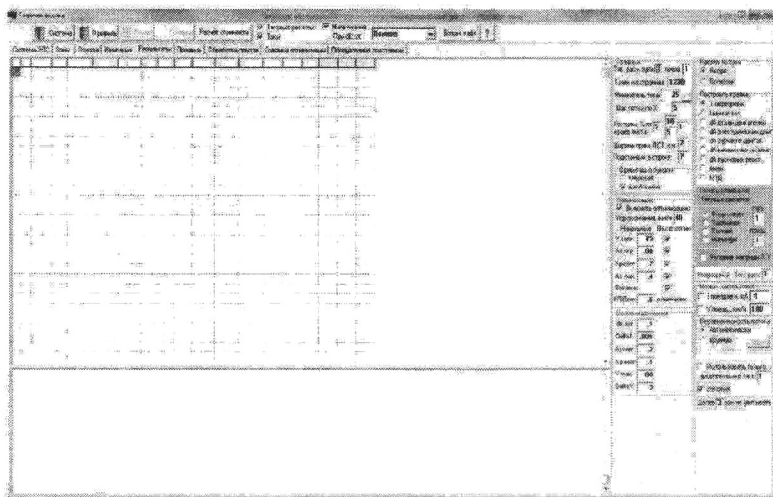


Рис. 7. Вкладка «Результаты» главного окна программы

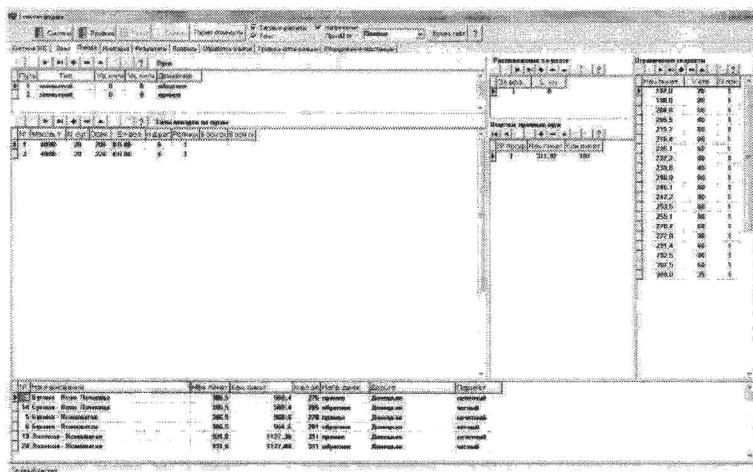


Рис. 8. Вкладка «Поезда» главного окна программы

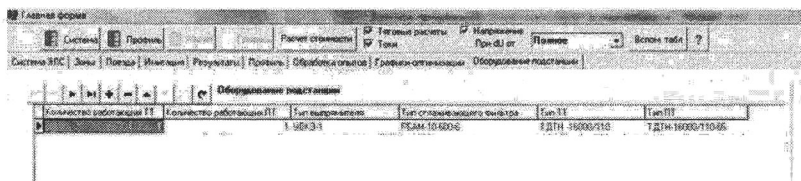


Рис. 9. Вкладка «Оборудование подстанций» главного окна программы

Рис. 10. Окно «Постоянные данные»

Рис. 10. Окно «Постоянные данные»

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

Окно «ГА» выводится на экран с помощью кнопки «Расчет стоимости». Оно содержит формацию 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» изображается график стоимости существующих потерь электроэнергии на участке тяговой сети тоимость потерь при рациональных режимах работы системы электроснабжения. На вкладке хемы подключения путей к узлам отображаются 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 кдой подстанции рассматриваемого участка тяговой сети, на вкладке «Трансформаторы» — действующее и рациональное количество одновременно работающих понижающих и тяговых трансформаторов на каждой подстанции рассматриваемого участка. На вкладке «Графики» изображаются 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 понижительного трансформатора i -й подстанции;
- m – общее количество переключений силового оборудования;
- Y_{uv} – подключение u -го пути до v -го узла (1 – подключено, 2 – не подключено);
- X_{1i}, X_{2i} – количество одновременно работающих понижительных и тяговых трансформаторов i -й подстанции (может принимать значение 1 либо 2).

Данный программный комплекс был опробован на участках Приднепровской и Дюккой железной дороги. В результате оптимизации режимов на Красноармейской дистанции троснабжения, полученной на базе этого программного комплекса, достигнуто снижение грбления электроэнергии на 474 тыс. кВт·ч.

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

1. Мямлін С. В., Кузнецов В.Г., Сиченко В.Г. Аспекти політики енергозбереження в тягових системах залізничного транспорту // Мат. І Міждунар. науч.-практ. конф. "Енергозбереження на залізничному транспорті". - 2010. - Мисхор: ДНУЗТ. - С. 13-18.

2. Кузнецов В.Г. Розвиток теоретичних основ енергозбереження в системах електропостачання тяги поїздів постійного струму: Автореф. дис...докт. техн. наук. - Д.: ДНУЗТ. - 2012. - 35 с.

3. Малишко І.В. Основні напрямки енергозбереження на залізничному транспорті України // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - 2006. - № 13. - С. 36-38.

4. Кузнецов В. Г., Шинкаренко В.И., Коваленко Н.В. Расчёт рациональных режимов работы тяговых подстанций постоянного тока на основе генетического алгоритма // Мат. III Міждунар. науч.-практ. конф. "Енергозбереження на залізничному транспорті". - 2012. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ. - С. 42-44.

5. Кузнецов В.Г., Шинкаренко В.И. Инвариантно-согласованный метод анализа иерархий в задачах планирования энергообеспечения мероприятий системы электроснабжения железнодорожного транспорта // Системи технологій. - 2011. - № 6 (77). - С. 77-85.

УДК 621.331

ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

В.Г. Кузнецов, докт. техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В.Лазаряна, вул. ак. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна

Наведено принципи забезпечення раціональних режимів у системі електропостачання, на основі яких може бути створено систему контролю і забезпечення раціональних режимів, яка для кожного моменту часу могла б оцінювати режим системи електропостачання і запропонувати заходи щодо забезпечення найвигіднішого режиму.

Наведено опис спеціалізованого програмного комплексу, який дає змогу визначати раціональні режими систем тягового електропостачання. Наведений програмний комплекс використовує генетичний алгоритм для визначення раціональних режимів. Стаття містить скріншоти розробленого програмного комплексу. Бібл. 5, рис. 10.

Ключові слова: система електропостачання, генетичний алгоритм, енергозбереження, програмний комплекс, надійність.

PRINCIPLES OF DETERMINING OF THE RATIONAL MODES OF TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY OF POWER EQUIPMENT

V.G. Kuznetsov

Dnepropetrovsk University of Railway Transport named after Academician V.Lazaryan, Lazaryana str. 2, Dnepropetrovsk, 49010, Ukraine

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. References 5, figures 10.

Key words: power supply system, genetic algorithm, energy.