

**Уважаемые читатели!**

**Исследование электромагнитной обстановки на электрифицированных участках железных дорог**

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф., КРАВЦОВ Ю.А., ШАМАНОВ В. И.

Системы контроля свободности участков железнодорожного пути, а также системы передачи информации по рельсам на локомотивы поездов и между сигнальными точками автоматической блокировки работают в сложной электромагнитной обстановке, особенно на участках с электрической тягой. Процесс воздействия электромагнитных помех на аппаратуру этих систем многофакторный, а причины появления высокого уровня помех многочисленны и часто взаимосвязаны. При исследовании электромагнитной обстановки приходится решать следующие задачи: фиксацию случайного процесса появления помех, обработку массива полученных данных и выявление причин появления помех. Наличие записывающих цифровых многоканальных осциллографов, а также различного рода датчиков для измерения электрического тока или напряжения дает возможность решать первую задачу. Решение второй задачи зависит от поставленной цели. Многофакторность процесса возникновения помех весьма усложняет решение последней задачи. Приведены исследования для различных условий: высокоскоростного движения поездов Сапсан, движения поездов в метрополитене, участков движения тяжеловесных поездов. Получены математические описания в виде плотности распределения вероятности для нескольких видов электромагнитных помех.

**Ключевые слова:** электромагнитные помехи, система передачи данных, автоматическая блокировка, автоматическая локомотивная сигнализация, статистическая функция распределения.

Systems for monitoring the freeness of sections of the railway track, as well as systems for transmitting information on rails to train locomotives and between signal points of automatic blocking, operate in a complex electromagnetic environment, especially in areas with electric traction. The process of electromagnetic interference on the equipment of these systems is multifactorial, and the reasons for the high level of interference are numerous and often

interrelated. In the study of the electromagnetic environment has to solve the following problems – the problem of fixing the random process of interference, the problem of processing the array of data and the problem of identifying the causes of interference. The presence of currently recording digital multichannel oscilloscopes, as well as various sensors for measuring electric current or voltage makes it possible to solve the first problem. The solution of the second task depends on the goal. The multifactorial nature of the process of interference is very difficult to solve the last problem. Studies for different sections are presented: high-speed movement of Sapsan trains, the movement of trains in the subway, sections of the movement of heavy trains. Mathematical descriptions in the form of probability density distribution for several types of electromagnetic interference are obtained.

**Key words:** electromagnetic interference, data transmission system, the automatic lock, automatic locomotive signaling, statistical distribution function.

*Электротехника, 2019, №9, стр.8-12*

#### **Моделирование теплового состояния автономных инверторов напряжения**

ИНЬКОВ Ю.М., КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., КЛЯЧКО Л.М., ПУГАЧЕВ А.А.

Выполнен краткий обзор автономных инверторов напряжения, пригодных для использования в составе тягового преобразователя частоты. Определены мощности потерь для двухуровневого и трехуровневых инверторов (инвертор с фиксирующими диодами и инвертор, выполненный по каскадной схеме включения) и конденсаторов звена постоянного тока. Параметры силовых ключей соответствуют параметрам ключей модулей FF300R12ME4 и F3L300R07PE4. Показано, что, несмотря на большее количество полупроводниковых элементов и конденсаторов в трехуровневом инверторе с фиксирующими диодами, он может быть рекомендован для применения в современных тяговых электроприводах как более энергоэффективный. Приведены эквивалентные тепловые схемы замещения для полупроводниковых ключей с односторонней и двусторонней проводимостью тока. На их основе синтезированы эквивалентные тепловые схемы для двухуровневого инвертора и трехуровневого инвертора с фиксирующими диодами, составлены соответствующие уравнения теплового баланса. Приведены результаты моделирования в среде Matlab Simulink, показано распределение температур между различными транзисторами и диодами силовых модулей. Установлена граничная частота коммутации, при которой максимальные температуры двух- и трехуровневого инверторов совпадают.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты, автономный инвертор напряжения, трехуровневый инвертор, эквивалентная тепловая схема, мощность потерь, тепловое сопротивление, частота коммутации.

The brief survey of the voltage source inverters suitable for using as a part of the traction frequency converter is carried out. Power losses for two-level and two types of three-level voltage source inverters (the inverter with clamping diodes and the cascaded inverter) and capacitors of direct current link are determined and plotted vs. modulation coefficient. Parameters of power semiconductor correspond to parameters of semiconductor modules of FF300R12ME4 and F3L300R07PE4. It is shown that, despite more semiconductor elements and capacitors in the three-level inverter with clamping diodes, it can be recommended for application in modern traction electric drives as more energy efficient comparing to the two-level inverter. Equivalent thermal equivalent circuits for semiconductor modules with one-sided and bilateral conductivity of current are presented. On their basis equivalent thermal circuits for the two-level and three-level inverter with clamping diodes are synthesized, the corresponding equations of a heat balance are written, its adequacy and accuracy are discussed. Results of modeling are given in Matlab Simulink, distribution of temperatures between different transistors and diodes of semiconductor modules in the steady state is shown and discussed. The boundary values of the switching frequency delivering equalities of the power losses and maximum temperatures of semiconductor devices of two- and three-level inverters are extracted.

**Key words:** frequency converter, voltage source inverter, three-level voltage source inverter, equivalent thermal circuit, power losses, thermal resistance, frequency switching .

*Электротехника, 2019, №9, стр.13-19*

Основные направления технического развития системы тягового электроснабжения  
**постоянного тока и адаптация её для высокоскоростного движения**

БАДЁР М.П.

Рассмотрены основные направления технического развития и совершенствования системы тягового электроснабжения постоянного тока. Разработаны методики и программы, позволяющие исследовать электромагнитные процессы в выпрямительно-инверторных агрегатах тяговых подстанций, автономном инверторе напряжения асинхронного тягового привода, определять и прогнозировать уровни гармонических составляющих тока как в

самих преобразователях постоянного-переменного тока, так и тока в тяговой сети. Это дает возможность определять электромагнитное воздействие различных силовых полупроводниковых преобразователей на устройства связи и железнодорожной автоматики и обосновывать выбор схем и параметров защит, обеспечивающих электромагнитную совместимость. Анализ и синтез электромагнитных процессов и основных характеристик многопульсовых преобразователей показывает, что наиболее эффективными для системы тягового электроснабжения постоянного тока с напряжением в тяговой сети 24 кВ являются 24-пульсовые схемы выпрямления с последовательным соединением трехфазных мостов. Внедрение 24-пульсовых выпрямителей позволяет снизить потери электроэнергии в тяговой сети и снизить потребление реактивной энергии с первичной системы электроснабжения. Эти выпрямители обеспечивают не только повышение КПД тяговой подстанции, но и повышение качества электрической энергии в первичной системе электроснабжения и в тяговой сети. Последнее позволяет применить более простые и экономичные сглаживающие фильтры, обеспечивающие электромагнитную совместимость новой системы тягового электроснабжения постоянного тока с устройствами связи, железнодорожной автоматики и другой инфраструктурой.

**Ключевые слова:** высокоскоростные магистрали, система тягового электроснабжения постоянного тока, электроподвижной состав, многопульсовые выпрямительно-инверторные преобразователи тяговых подстанций, автономные инверторы напряжения, электромагнитная совместимость.

The main directions of technical development and improvement of traction DC power supply system are considered. Methods and programs allowing to investigate electromagnetic processes in rectifier-inverter units of traction substations, Autonomous voltage inverter of asynchronous traction drive, to determine and predict the levels of harmonic components of the current in the converters of constant-alternating current and current in the traction network are developed. This makes it possible to determine the electromagnetic effect of various power semiconductor converters on communication devices and railway automation and to justify the choice of circuits and parameters of protections that provide electromagnetic compatibility. Analysis and synthesis of electromagnetic processes and the main characteristics of multi-pulse converters shows that the most effective for the DC traction power supply system with a voltage in the 24 kV traction network are 24-pulse rectification schemes with a serial connection of three-phase bridges. The introduction of 24-pulse rectifiers can reduce power losses in the traction network and reduce the consumption of reactive energy from the primary power supply system. These rectifiers provide

not only an increase in the efficiency of the traction substation, but also an increase in the quality of electric energy in the primary power supply system and in the traction network. The latter makes it possible to use simpler and more economical smoothing filters that provide electromagnetic compatibility of the new DC traction power supply system with communication devices, railway automation and other infrastructure.

**Keyword:** high-speed lines, DC traction power supply, electric rolling stock, multi-pulse rectifier-inverter converters of traction substations, autonomous voltage inverters, electromagnetic compatibility.

*Электротехника, 2019, №9, стр.20-24*

**Выбор параметров аналого-цифрового преобразования при анализе помех в рельсовых цепях систем обеспечения безопасности движения поездов**

Выбор параметров аналого-цифрового преобразования при анализе помех в рельсовых цепях систем обеспечения безопасности движения поездов

БАРАНОВ Л.А., ИКОННИКОВ С.Е., ШУБИНСКИЙ И.Б.

Предложена методика выбора параметров аналого-цифрового преобразования при анализе помех в рельсовых цепях систем обеспечения безопасности движения поездов. Получены соотношения для оценки среднеквадратических погрешностей преобразования для флуктуационных, гармонических и импульсных помех. Приведены соотношения для оценки погрешностей преобразования типовых моделей случайных помех. С учетом зависимости дисперсии погрешности преобразования от времени внутри шага дискретизации, рассмотрены максимальное и усредненное по времени значения среднеквадратической погрешности.

**Ключевые слова:** рельсовые цепи, системы обеспечения безопасности движения поездов, модели флуктуационных, импульсивных и гармонических помех, среднеквадратические относительные оценки погрешности, средняя оценка по шагу временной дискретизации.

A technique has been developed to select the parameters of analog-digital conversion of interference in the rail circuits of the train traffic safety systems. Relations are obtained for calculating the mean square conversion error for fluctuation, harmonic and impulse noise. The relations for calculating the error estimates for the conversion of typical random noise models are given. Taking into account the dependence of the variance of the conversion error on time

within the sampling step, the maximum and time-averaged value of the mean square error are considered.

**Key words:** track circuit, train safety systems, fluctuation, impulse and harmonic noise models, root mean square relative error estimates, average estimate by time discretization step.

*Электротехника, 2019, №9, стр.25-31*

**Электромагнитное влияние системы тягового электроснабжения переменного тока с питающим проводом повышенного напряжения на электроустановки и сети нетяговых потребителей**

КОСАРЕВ А.Б., КОСАРЕВ Б.И.

Обоснована методика расчёта коммутационных перенапряжений, в том числе и при разряде токов молнии в контактную сеть и в высоковольтный питающий провод (ВПП), на изоляцию контактной сети в системе электроснабжения с ВПП. Установлено, что защита напольных устройств СЦБ от коммутационных перенапряжений в системе электроснабжения с высоковольтным питающим проводом (СЭ ВПП) может быть решена подключением арматуры фундаментов опор контактной сети к протяжённому искусственному заземлителю (ИЗ), расположенным в земле и не соединённым с рельсовым путём. Использование ИЗ наряду с ограничением импульсных перенапряжений на изоляции опор контактной сети решает задачу обеспечения надёжной защиты тяговых сетей от токов короткого замыкания в тяговой сети. Разработан алгоритм расчета напряжения нулевой последовательности фазных напряжений воздушных линий электропередачи (ЛЭП) с изолированной нейтралью относительно земли при их расположении в зонах электромагнитного влияния СЭ ВПП. Показано, что за счет электрического влияния напряжения ВПП, наведённое напряжение в ЛЭП достигает значений, существенно превышающих допустимые нормативными документами уровни. Анализ полученных результатов указывает на целесообразность расположения проводов ЛЭП на отдельно стоящих опорах вне полосы отвода. Необходимость принятия такого решения определяется также исключением попадания напряжения ВПП на провода ЛЭП при его возможном обрыве.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, питающий провод, коммутационные перенапряжения, искусственный заземлитель, электрическое влияние, ток, напряжение.

The article substantiates the calculating method of switching overvoltage as well as in case of lightning strike on overhead system (electrical lines) and on high voltage power lines; the isolation of overhead system in the power-supply system with the high voltage power line is also included in this calculation. It has been found that the protection of signaling wayside device from switching overvoltage in the power supply system with the high voltage power line can be solved by connecting the fixture of contact line footing to the extended artificial ground conductor based in the ground and not connected to the rail. The use of artificial ground along with the limitation of peak overvoltage on the isolation of contact lines footings solves the problem of providing reliable protection of electric traction network from short-circuit current in the electric traction network. The algorithm has been developed for calculating zero-sequence Y-voltage of aerial power line with the insulated neutral relative to the ground and being located on the areas of electromagnetic influence of power supply system with the high voltage power line. It is shown that by the influence of the high voltage power line, the induced voltage of power lines reaches the level that is higher than the level allowed by normative documents. The analysis of the results shows the feasibility placement of power lines on the separate footings that are out of sector. It was particularly important to take this decision and exclude the possibility to impact high voltage power lines on the power lines in case of a possible break.

**Key words:** electric traction network, power line, switching overvoltage, artificial ground, electrical influence, current, voltage.

*Электротехника, 2019, №9, стр.32-35*

### **Определение электрических параметров цепи тягового тока по замеренным данным в системе тягового электроснабжения метрополитенов 825В**

ГРЕЧИШНИКОВ В.А., КУРОВ Н.Д., ВЛАСОВ С.П., ГОЛИЦЫНА А.Е.

Обеспечение селективности работы релейной защиты тяговой сети постоянного тока всегда было связано со сложностями разграничения рабочих и аварийных режимов, что в системе тягового электроснабжения метрополитенов напряжением 825 В особенно ощутимо из-за высокой интенсивности движения и использования электроподвижного состава (ЭПС) с асинхронными тяговыми двигателями. Практика расчётов уставок защит показывает, что уставки максимально-токовой защиты (МТЗ), как для электромеханического реле РДШ, так и для микропроцессорных терминалов, как правило, отстраивают от расчётных минимальных токов КЗ, которые могут быть меньше пусковых токов ЭПС. Такая практика расчётов и современные условия эксплуатации системы

тягового электроснабжения метрополитенов могут приводить к ложным срабатываниям, что, в свою очередь, может повлечь за собой быструю потерю коммутационной способности быстродействующих выключателей, а также привести к задержке движения поездов. Анализ сложившейся ситуации приводит к выводу, что простые типы защит, такие как МТЗ, не могут обеспечить селективность отключений. По другому обстоит дело с многопараметрическими защитами типа защиты по приращению тока (ЗПТ) и скорости нарастания тока (ЗСНТ). Суть функционирования ЗПТ и ЗСНТ основана на анализе изменения графика тока, что позволяет быстрее, чем МТЗ, а в некоторых случаях и более точно, определить, связано ли изменение тока с возникновением КЗ, однако учёт изменений тока и скоростей его нарастания при выборе уставок защит требует расчёта переходных процессов. Точность таких расчётов напрямую зависит от точности определения электрических параметров тяговой цепи. При современном состоянии измерительной и вычислительной техники одним из наиболее простых и эффективных методов расчёта является метод минимизации расстояния между заданной функцией или моделью и измеренными данными. Использование этого метода непосредственно в алгоритмической части микропроцессорных терминалов защит совместно с функциями самообучения позволит автоматически выбирать нужные значения уставок ЗПТ и ЗСНТ, отвечающих условиям эксплуатации системы тягового электроснабжения.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, метрополитен, тяговые подстанции, расчет параметров электрической цепи, переходные процессы.

Ensuring the selectivity of the relay protection of the DC network has always been associated with the difficulties in distinguishing between operating and emergency modes, which is especially noticeable in the traction power supply system for the 825 V metro due to the high traffic intensity and the use of EPS with asynchronous traction motors. The practice of calculating protection settings shows that the maximum current protection settings (MCP), both for the electro-mechanical relay RDSH, and for microprocessor terminals, as a rule, are set off from the calculated minimum short-circuit currents, which can be lower than the start-up currents of the EPS. This practice of calculations and modern conditions of operation of the subway power supply system can lead to false positives, which, in turn, can lead to a rapid loss of the switching capacity of high-speed switches, as well as lead to a delay in train movement. An analysis of the current situation leads to the conclusion that simple types of protection, such as MCP, cannot ensure the selectivity of outages. The situation is different with multiparameter protection of the type of protection by current increment (DCA) and current slew rate (RATF).



The essence of the operation of the DCA and RATF is based on the analysis of changes in the current graph, which allows faster than MCP, and in some cases more accurately determine whether the change in current is associated with the occurrence of a short circuit. However, taking into account the choice of protection settings for changes in current and its rate of rise requires the calculation of transients. The accuracy of such calculations directly depends on the accuracy of determining the electrical parameters of the traction circuit. In modern conditions of development of measuring and computing equipment, one of the most simple and effective methods of calculation is the method of minimizing the distance between a given function or model and the measured data. It is worth noting that the use of this method directly in the algorithmic part of microprocessor-based protection terminals together with self-learning functions will allow you to automatically select the desired values of the DCA and RATF settings corresponding to the operating conditions of the traction power supply system.

**Key words:** traction network of metro, traction substation, calculation of electric circuit parameters, transient processes.

*Электротехника, 2019, №9, стр.35-41*

**Улучшение показателей энергетической эффективности тяговой сети и электроподвижного состава переменного тока с четырехквadrантным преобразователем**

ГЛЫЗИН И.И., ИНЬКОВ Ю.М., КУЧУМОВ В.А., ЛИТОВЧЕНКО В.В.

Предложена математическая модель электротехнической системы «тяговая сеть – электровоз переменного тока с четырехквadrантным преобразователем». Выполнен анализ электромагнитных процессов и вывод расчетных формул параметров системы. Программная реализация предложенной математической модели и численные исследования воспроизводимых электромагнитных процессов выполнены в пакете прикладных программ Simulink вычислительной среды Matlab. Сделаны выводы об электромагнитной совместимости электровозов с различными структурами тягового преобразователя.

**Ключевые слова:** контактная сеть, электровоз, тяговый электропривод, математическое моделирование, регулирование напряжения.

A mathematical model of the electrical system «traction network – AC electric locomotive» is proposed. The analysis of electromagnetic processes is carried out. The conclusion of the calculation formulas of the system parameters is made, the results are presented in graphs. A mathematical model of the electrical system is proposed. The software implementation of the proposed mathematical model and numerical studies of reproducible electromagnetic processes are carried out in the package of Simulink application programs of Matlab computing environment. Conclusions about electromagnetic compatibility of electric locomotives with different structure of the traction Converter are drawn.

**Key words:** contact network, electric locomotive, mathematical modeling, traction electric drive, voltage regulation.

*Электротехника, 2019, №9, стр.41-46*

### **Цифровой двойник электроподвижного состава в тяговой сети метрополитена**

ШЕВЛЮГИН М.В., КОРОЛЕВ А.А., ГОЛИЦЫНА А.Е., ПЛЕТНЕВ Д.С.

Рассмотрен подход к проектированию объектов тягового электроснабжения метрополитенов, включая тяговую сеть 825 В с помощью единой цифровой модели. Постоянный рост потребности в объёмах пассажирских перевозок в мегаполисах влечёт за собой необходимость сооружения новых линий метрополитена и модернизации существующих с учётом выполнения всех нормативов по обеспечению бесперебойного электроснабжения с соблюдением минимальных значений межпоездных интервалов электроподвижного состава (ЭПС). ЭПС также совершенствуется, в эксплуатацию вводится новый тип вагонов «Москва». Для обеспечения темпов ввода в эксплуатацию новых линий метрополитенов требуется повышение качества проектирования и перевод его в цифровую среду. Показан пример цифровой модели (цифровой двойник) тяговой сети метрополитена и её применения для оценки динамического поведения ЭПС.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, метрополитен, тяговая подстанция, проектирование, цифровой двойник, электроподвижной состав.

The approach to metro traction power systems design including 825 V system using digital model is considered. The constant growth of passenger traffic demand in big cities cause the constructing of new metro lines and upgrade of existing ones. This process have to satisfy all requirements reliable power supply standards including satisfying the minimum headway time of

trains. Trains also become better and the new railcars type “Moscow” is being put into operation. The improvement of design quality and its digital transformation is required to enable the required speed of new metro line commissioning. The example of metro power system digital model (digital twin) and its using to assess dynamic behavior of rolling stock is described.

**Key words:** traction power system, traction substation, design, digital twin, rolling stock.

*Электротехника, 2019, №9, стр.47-55*

### **Система автоматического управления скоростью грузового поезда с распределенной тягой**

ПУДОВИКОВ О.Е., СИДОРЕНКО В.Г., СИДОРОВА Н.Н., КИСЕЛЕВ М.Д.

Системы автоматического управления (САУ) на подвижном составе должны обеспечивать необходимое качество управление во всех режимах движения (тяга, стабилизация скорости, торможение) поезда. Предложена структура адаптивной системы управления, а также методика выбора её параметров, реализация которых позволяет достичь требуемого качества управления в широком диапазоне скоростей движения и масс поездов. При этом параметры САУ должны изменяться во время смены режима и изменения массы поезда.

**Ключевые слова:** грузовой поезд, система автоматического управления скоростью локомотива, распределенная тяга, устойчивость вагона, качество управления поездом.

Automatic control systems ACS on railroad transport should provide the required control quality in all modes of train movement (traction, speed stabilization, braking). The adaptive automatic system and methodology of selection its parameters are proposed to achieve required control quality in a wide range of speeds and weights of trains. In this case parameters of ACS should be changed during the switching of modes and weight.

**Key words:** freight train, automatic control system of locomotive speed, distributed traction, stability of coach, the quality of trains control.

*Электротехника, 2019, №9, стр.55-59*

### **Моделирование процесса внедрения интеллектуальной системы учета электрической энергии**

ИНЬКОВ Ю.М., РОЗЕНБЕРГ Е.Н., МАРОН А.И.

В ближайшие годы в РФ должен быть осуществлен масштабный проект по внедрению интеллектуальной системы учета электрической энергии. Его обязательной составляющей является замена электросчётчиков у индивидуальных потребителей. Требуется определить численность персонала для реализации проекта в заданный срок. При этом необходимо учитывать, что электросчётчики, как и любые другие технические устройства, подвержены отказам. Если не создать систему их оперативного восстановления, то никакого эффекта внедрение интеллектуальной системы учета электрической энергии не даст. Классические методы расчёта систем массового обслуживания, основанные на расчёте вероятностей пребывания системы в различных состояниях, практически не применимы из-за размерности этой задачи. Методы имитационного моделирования описывают частные случаи. Они не гарантируют решения задачи без найденных аналитически начальных приближений к искомой численности персонала. В статье приведено решение задачи определения численности сотрудников для реализации в установленный срок проекта замены электросчётчиков с учётом необходимости их оперативного восстановления. Решение получено на основании моделирования методом *динамики средних* процесса внедрения интеллектуальной системы учета электрической энергии. Приведен пример расчёта в MathCADPRIME 4.0 требуемого количества сотрудников. Предложенный метод даёт практически точные результаты, поскольку количество заменяемых электросчётчиков очень велико.

**Ключевые слова:** система учета электрической энергии, электросчётчики, установка и восстановление, метод динамики средних.

In the next few years in Russia should be carried out large-scale project for the implementation of smart metering system of electrical energy. Its mandatory component is the replacement of electric meters for individual consumers. It is required to determine the number of personnel for the project implementation within the specified period. It should be borne in mind that electric meters, like any other technical devices, are subject to failure. If you do not create a system of their quick recovery, no effect of introduction of metering system of electrical energy will not. Classical methods of calculating queuing systems based on the calculation of the probabilities of the system being in different states are practically not applicable because of the dimension of this problem. Methods of simulation modeling to describe individual cases. They do not guarantee the solution of the problem without analytically found initial approximations to the required number of staff. The article presents the solution of the problem of determining the number of employees for the implementation of the project of replacement of electric meters in due time,

taking into account the need for their rapid recovery. The decision is received on the basis of modeling by a method of dynamics of average process of introduction of intellectual system of the account of electric energy. The example of calculation in MathCADPRIME 4.0 required number of employees. The proposed method gives almost accurate results, since the number of replaced electric meters is very large.

**Key words:** system of electric energy accounting, electric meters, installation and restoration, method of dynamics of averages.

*Электротехника, 2019, №9, стр.60-66*

### **Имитационная модель электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями**

**Литовченко В.В., Назаров Д.В., Шаров В.А.**

Рассмотрена имитационная модель электровоза постоянного тока, позволяющая исследовать переходные и установившиеся процессы, которая может быть положена в основу концепции «Цифровой локомотив», реализуемой в рамках проекта «Цифровая железная дорога». Выбран один из наиболее массовых электровозов, предназначенных для вождения грузовых поездов на магистральных железных дорогах, электрифицированных на постоянном токе с напряжением 3000 В. В основу модели электровоза положена математическая модель коллекторного тягового двигателя. В модели учтены нелинейность магнитной характеристики главных полюсов, а также влияние вихревых токов в массивных участках магнитной цепи на изменение магнитного потока. В модели предусмотрено автоматизирующее устройство, позволяющее в процессе исследования производить регулирование двигателей в соответствии с условиями эксплуатации. Учтены процессы реостатного пуска, регулирования напряжения перегруппировкой методом замыкания на резисторы, а также регулирования двигателей путем изменения магнитного потока. Показана возможность использования разработанной модели для исследования системы «тяговая подстанция – тяговая сеть – электрический подвижной состав», которое определяется различными режимами работы тяговой сети в процессе преобразования электрической энергии в механическую. Выполнены расчеты различных режимов работы электровоза при коротком замыкании в контактной сети.

**Ключевые слова:** электровоз постоянного тока, коллекторный тяговый двигатель, математическая модель, имитационная модель, переходные процессы, аварийные режимы.

A simulation model of a DC electric locomotive, which allows to investigate transient and steady-state processes is considered. This model can be used as the basis for the “Digital locomotive” concept, implemented in the framework of the “Digital Railway” project. One of the most popular electric locomotives as prototype for investigation in model was chosen, which works with freight trains on main lines of railways electrified with a direct current of 3000 V. The simulation model of an electric locomotive is based on a developed mathematical model of a collector traction engine. The model takes into account the nonlinearity of the magnetic characteristics of the main poles, as well as the influence of eddy currents in massive sections of the magnetic circuit on the change in magnetic flux. The model provides an automation device that allows the regulation of engines to be identical to the operating conditions in the investigation process. The processes of the reostatic start-up, voltage regulation by rearrangement by the method of short-circuiting on resistors, as well as engine control by changing the magnetic flux are taken into account. The possibility of using the developed model for the investigation of the system “traction substation – traction network – electric rolling stock”, which is determined by various modes of operation of the traction network in the process of converting electrical energy to mechanical, is shown. The results of the calculation of the short circuit in the catenary for various operating modes of the locomotive are given.

**Key words:** direct current electric locomotive, collector traction engine, mathematical model, simulation model, transient processes, emergency modes.

*Электротехника, 2019, №9, стр.67-68*

**Авторы номера**

*Электротехника, 2019, №9, стр.69-69*

**Николай Васильевич Шулаков (некролог)**