

С.Г. ОБУХОВ,
И.А. ПЛОТНИКОВ,
Д.Ю. МАРОВ
(ФГБОУ ВПО НИ ТПУ)

S.G. OBUHOV,
I.A. PLOTNIKOV,
D.YU MAROV

Физическая модель электрических нагрузок автономных энергетических систем

В статье представлены результаты исследований по разработке и созданию имитационной физической модели электрических нагрузок автономных энергетических систем. Приведено описание модели, структура, основные технические характеристики.

Ключевые слова: автономные системы электроснабжения, моделирование электрических нагрузок, гибридные электростанции.

Physical Model of Electric Load in Autonomous Power Systems

In article results of researches on development and creation of physical simulation model of electric load in autonomous power systems are presented. The model description, structure, the basic technical characteristics is included.

Keywords: autonomous power supply system, modeling of electric load, hybrid power station.

Приоритетным направлением развития современной энергетики является активное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), к основным достоинствам которых относится неисчерпаемость и экологическая чистота.

Внедрение технологий возобновляемой энергетики особенно актуально для децентрализованных регионов России, в которых их практическое применение зачастую оправдано не только техническими и экологическими, но и сугубо экономическими соображениями.

Нынешние тенденции резкого удорожания топлива и транспортных расходов могут существенно расширить зоны экономически целесообразного применения энергоустановок, использующих ВИЭ, в их пользу действуют и современные тенденции развития и удешевления технологий возобновляемой энергетики.

Электроснабжение потребителей децентрализованных зон осуществляется от автономных систем электроснабжения, большинство из которых имеют относительно небольшие установленные мощности до 100 кВт. Основу малой энергетики России составляют дизельные электростанции (ДЭС), общее число которых превышает 47 тыс., что составляет более 90 % от общего числа электростанций страны.

Создание комбинированных систем автономного электроснабжения, построенных на основе ДЭС и использующих установки возобновляемой энергетики, является важнейшей стратегической задачей развития энергетики России, призванной ускорить ее социально-экономическое развитие, обеспечить социальную защищенность граждан и улучшить материально-бытовые условия жизни значительной части населения страны.

Характерной особенностью автономных систем электроснабжения является резкопеременный характер

электрической нагрузки, которая может изменяться в значительных пределах на относительно небольших интервалах времени. Режим энергопотребления объектов автономного электроснабжения нестационарный как в течение суток, так и по сезонам года. В качестве примера на рисунке 1 показан суточный график нагрузки автономного поселения [1]. Ввиду высокой доли однофазных электроприемников, возможны эксплуатационные режимы со значительной несимметрией по фазам. При использовании в составе автономных энергосистем установок возобновляемой энергетики проблема усугубляется крайним непостоянством во времени энергии первичного энергоносителя, которая приводит к значительным колебаниям их выходной мощности.

Соизмеримость мощностей основного генерирующего оборудования и нагрузок потребителя требует от проектировщиков автономных систем решения ряда технических задач, связанных с выбором рационального соотношения мощностей генерирующих источников,

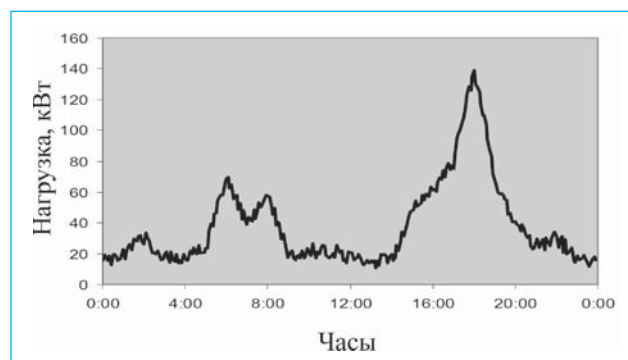


Рис. 1. Суточный график электрических нагрузок автономного поселения

их количества и типа, обеспечения необходимого качества выходного напряжения и требуемого уровня надежности электроснабжения потребителей, статической и динамической устойчивости замкнутой энергетической системы и т. п.

В целом автономная система электроснабжения, как объект исследования, представляет собой изолированную энергетическую систему, состоящую из взаимосвязанных объектов, многие из которых имеют нелинейные характеристики, а протекающие в ней процессы носят стохастический характер.

Вопросам разработки и изучению автономных энергетических систем посвящено большое количество научных работ российских и зарубежных ученых, большинство из которых используют в качестве методов исследования имитационное математическое и физическое моделирование [1...4].

Целью настоящего исследования является разработка универсальной физической модели электрических нагрузок автономных энергетических систем, которая может быть использована при проведении научных исследований, связанных с разработкой и внедрением технологий малой энергетики.

Работы проводились в рамках реализации федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2012 годы” по направлению “Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области создания эффективных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики”.

При разработке физической модели электрических нагрузок автономной энергетической системы ставилась задача создания устройства, которое могло бы воспроизводить нагрузки автономного объекта как в ручном режиме управления, так и обеспечивать изменение нагрузки автоматически по заданному закону.

В общем случае, нагрузка автономной электроэнергетической системы определяется случайным образом, в зависимости от количества подключаемых электроприемников в тот или иной момент времени. Однако средние значения нагрузки (математическое ожидание) за определенные интервалы времени для конкретного объекта электроснабжения характеризуются конкретной величиной с точностью дисперсии.

Часовые, суточные и другие изменения математического ожидания величины нагрузки являются графиком электрических нагрузок, а разброс реальных значений нагрузки относительно средней представляет собой характеристику точности моделирования нагрузок объекта электрификации.

Эти данные носят вероятностно-статистический характер и определяются в результате измерений за определенный период наблюдений.

Таким образом, модель нагрузки может быть представлена средним значением за рассматриваемый временной интервал, на которое накладываются случайные изменения мгновенных значений нагрузки в пределах величины дисперсии. Период этих изменений также зависит от характеристик объекта и для небольших объектов может быть принят в диапазоне десятков секунд и минут.

Например, при часовой дискретизации графика электрических нагрузок, модель нагрузки автономного потребителя задается выражением:

$$P_{pi} = \bar{P}_i + \beta\sigma(P_i),$$

где: P_{pi} – расчетная активная нагрузка на i -м часе суточного графика; \bar{P}_i – математическое ожидание нагрузки на i -м часе суточного графика; β – коэффициент надежности расчета, определяющий вероятность, с которой случайные значения нагрузки останутся меньше принятого расчетного значения P_{pi} ; $\sigma(P_i)$ – среднее квадратичное отклонение для i -й ступени суточного графика.

Если принять в качестве базовой модели электрической нагрузки типовой график активной нагрузки сельских жилых домов [5], типичный для децентрализованных потребителей, то можно построить суточный график нагрузки автономного объекта электроснабжения (рис. 2).

Графики (рис. 2) представлены в относительных единицах и позволяют по известному значению максимальной нагрузки объекта электроснабжения P_{max} (кВт) получить суточный график расчетной нагрузки для любого дня года:

$$P_{pi} = \bar{P}_i \cdot P_{max} (1 \pm C_{pi} \cdot \xi) \cdot k_c, \text{ кВт},$$

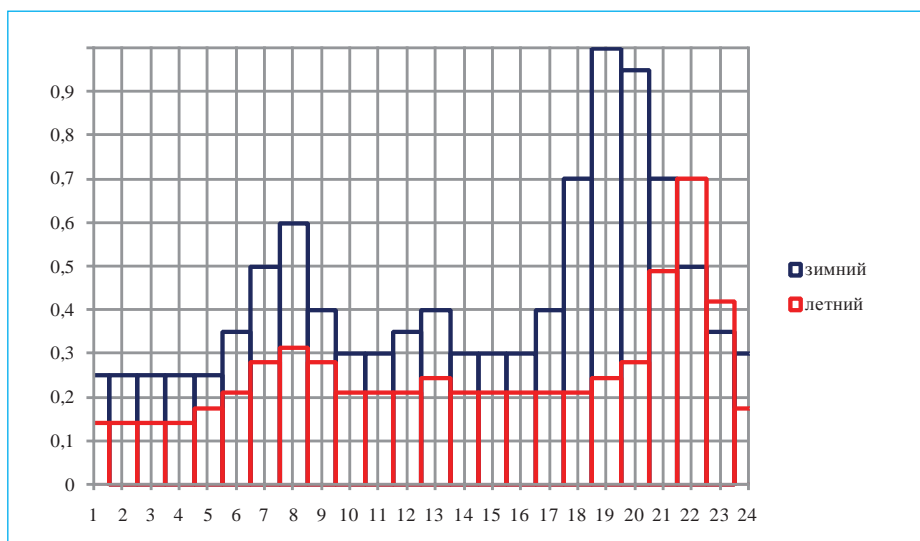


Рис. 2. Типовые суточные графики нагрузок децентрализованных потребителей

где: P_{pi} – расчетная активная нагрузка на i -м часе суточного графика; \bar{P}_i – математическое ожидание нагрузки на i -м часе суточного графика; C_{pi} – коэффициент вариации нагрузки для i -й ступени суточного графика; k_c – коэффициент сезонности; ξ – равновероятная случайная величина в диапазоне от 0 до 1. Численные значения C_{pi} и k_c приведены в работе [5].

При исследовании систем электроснабжения децентрализованных потребителей широко используются методы компьютерного имитационного моделирования, например, с применением программной среды MATLAB – Simulink. Модель трехфазной нагрузки автономного объекта электроснабжения (рис. 3,а) в среде Simulink может быть представлена в виде управляемых источников тока, входящих в состав пакета SimPowerSystems, предназначенного для моделирования энергетических и электротехнических систем. Для моделирования нестационарной нагрузки используется подсистема Trend (рис. 3,б).

Однако сделать окончательный выбор в пользу наилучших способов управления элементами энергетической системы, можно только на основе натурных испытаний. Создавать полномасштабные энергетические системы для проведения экспериментальных научных исследований не оправдано дорого. Для исследования режимов работы прототипа ветро-дизельного энергетического комплекса был создан стенд полунатурного моделирования нагрузок автономного потребителя. Структурная схема стенда представлена на рисунке 4.

Основу стенда составляет блок балластных резисторов (9), представляющий собой три одинаковые секции нагревательных элементов. Схема одной секции представлена на рисунке 5. В качестве рассеивающих мощность элементов использованы трубчатые оребренные нагреватели типа ТЭНР-45-59 мощностью 1 и 2 кВт, по 7 штук в одной секции. Это позволило реализовать диапазон нагрузок 0...5 кВт на фазу с шагом изменения в 0,25 кВт, а при необходимости можно легко масштабировать систему. Охлаждение секции осуществляется принудительным обдувом воздуха посредством двух вентиляторов. Коммутация нагревательных элементов осуществляется силовыми электромагнитными реле

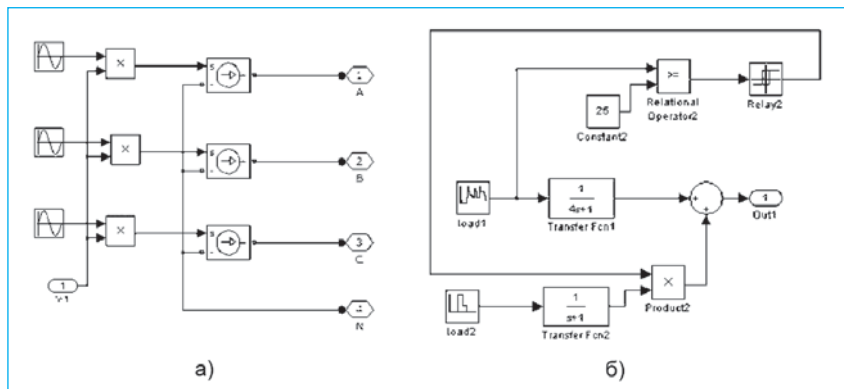


Рис. 3. Имитационное моделирование нагрузки децентрализованного потребителя в среде MATLAB – Simulink

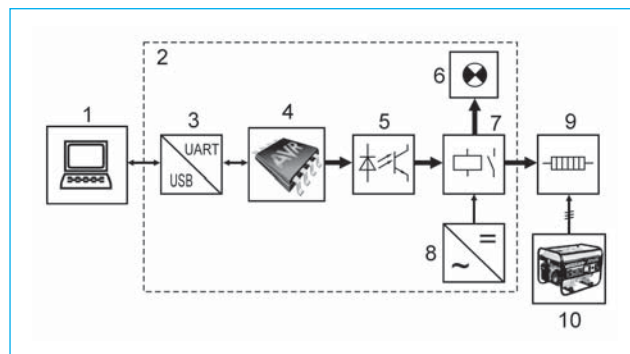


Рис. 4. Структурная схема стенда моделирования нагрузок автономного потребителя: 1 – персональный компьютер; 2 – блок управления нагрузками; 3 – USB-интерфейс; 4 – микроконтроллер; 5 – схема оптронной развязки; 6 – схема индикации; 7 – блок электромеханических силовых реле; 8 – источник питания; 9 – блок балластных резисторов; 10 – энергетическая установка

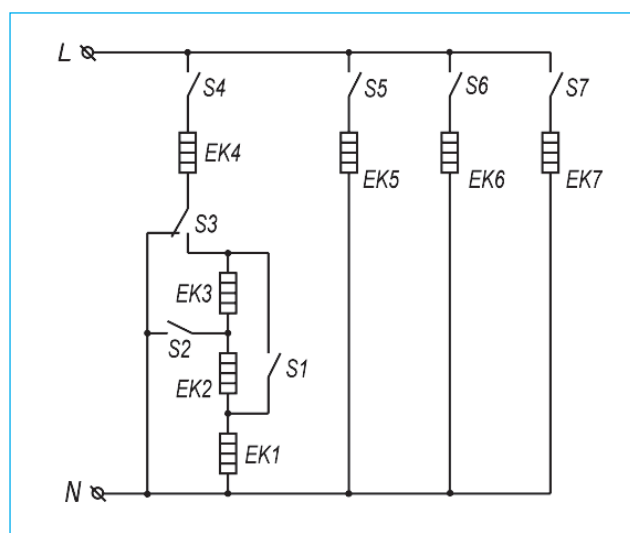


Рис. 5. Схема секции блока балластных резисторов

типа WJ-114-1С, входящими в состав блока (7). Предварительные экспериментальные исследования показали, что данные реле обеспечивают требуемую надежность переключений при условии, что нагрузка, в данном случае, носит активный характер.

Блок управления нагрузками (2) построен на основе однокристального восьмиразрядного микроконтроллера (4) типа ATmega32 семейства AVR, компании Atmel [6]. Микроконтроллер обеспечивает прием информации от персонального компьютера (1), ее декодирование и управление через схему гальванической развязки (5) электромеханическими реле, а также осуществляет контроль и диагностику всей системы.

Для связи стенда с персональным компьютером выбран интерфейс USB 2.0, реализованный посредством микросхемы FT232BL компании Future Technology

Devices International Limited [7]. Эта микросхема с компонентами обвязки представляет собой законченный однокристалльный преобразователь интерфейсов USB – асинхронный последовательный интерфейс (UART). Она обеспечивает режим работы для интерфейса USB 2.0 (FullSpeed) со скоростью обмена до 12 Мб/с, совместима с интерфейсом USB 1.1. К достоинствам микросхемы следует отнести хорошую техническую поддержку, предлагаемую компанией FTDI. Она заключается в наличии и обновлении документации, драйверов, утилит и пр., что упрощает и ускоряет процесс создания программного обеспечения для персонального компьютера. Следует отметить, что при необходимости в системе можно легко реализовать другие типы интерфейсов, например, такие как RS-485 или RS-422, широко используемые в промышленном оборудовании.

Конструктивно блок управления нагрузками выполнен в виде отдельного пульта, внешний вид которого показан на рисунке 6,а. Внешний вид блока балластных нагрузок – рисунок 6,б.

Управление стендом осуществляется с помощью персонального компьютера. В настоящее время с использованием среды разработки Visual Studio Net 2008 C++ компании Microsoft создано необходимое программное обеспечение, которое позволяет управлять работой моделирующего стенда как в “ручном”, так и в “автоматическом” режимах. В ручном режиме величина нагрузки как симметричной, так и несимметричной задается на компьютере оператором. В автоматическом режиме программа считывает данные нагрузки

из файла данных и реализует график нагрузки. При этом исходный файл данных может быть подготовлен заранее с использованием результатов моделирования в среде MathLab, а также могут быть использованы данные непосредственно любого реального объекта автономного электроснабжения. Минимальный шаг изменения нагрузки по времени составляет 0,2 секунды.

В настоящее время стенд моделирования электрических нагрузок автономных энергетических систем изготовлен, успешно выдержал эксплуатационные испытания и используется в лаборатории “Возобновляемых источников энергии” Томского политехнического университета при проведении научных исследований.

Список литературы

1. Tolbert L.M., Peterson W.A., Scudiere M.B., White C.P., Theiss T.J., Andriulli J.B., Ayers C.W., Farquharson G., Ott G.W., Seiber L.E. Electronic Power Conversion System for an Advanced Mobile Generator Set // IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Chicago, Illinois, September 30 - October 4, 2001.
2. Лукутин Б.В., Климова Г.Н., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Парников Н.М. Формирование энергоэффективных режимов дизельной электростанции инверторного типа // Известия вузов. Электромеханика, 2009. № 6.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Парников Н.М. Оптимизация числа и мощности дизель-генераторов автономной дизельной электростанции // Промышленная энергетика, 2009. № 11.
4. Лукутин Б.В., Климова Г.Н., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Парников Н.М. Исследование закономерностей формирования графиков электрических нагрузок децентрализованных потребителей Республики Саха (Якутия) // Электрические станции, 2008. № 9.
5. РД 34.20.178 Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения. М.: Институт “Сельэнергопроект”, 1981 г.
6. www.atmel.com – сайт компании Atmel. [электронный ресурс].
7. www.ftdichip.com – сайт компании Future Technology Devices International Limited. [электронный ресурс].

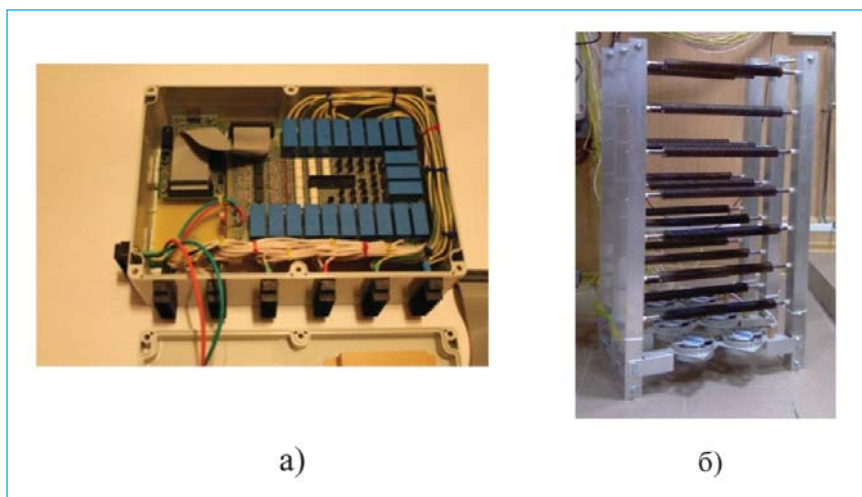


Рис. 6. Элементы стенда моделирования нагрузок автономного потребителя

Сергей Геннадьевич Обухов – канд. техн. наук, доцент,
e-mail: serob99@mail.ru

Игорь Александрович Плотников – канд. техн. наук, доцент,
e-mail: igorpli@tpu.ru

Дмитрий Юрьевич Маров – студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет