

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2017

XLVII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
С ЭЛЕМЕНТАМИ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

Москва
15 – 17 ноября
2017 г.

УДК 621.3
Ф 33

Фёдоровские чтения — 2017: XLVII Международная
Ф 33 научно-практическая конференция с элементами научной
школы (Москва, 15—17 ноября 2017 г.) / под общ. ред.
Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. — М.: Издательский дом
МЭИ, 2017. — 340 с.

ISBN 978-5-383-01282-6

Публикуются материалы Международной научно-практической конфе-
ренции с элементами научной школы для молодежи «Фёдоровские чтения
— 2017», прошедшей в Национальном исследовательском университете
«МЭИ» 15—17 ноября 2017 г.

Научная тематика конференции — «Энергосбережение и энергоэффек-
тивность технологий передачи, распределения и потребления электриче-
ской энергии». Публикации характеризуются охватом широкого круга
проблем в области энергосбережения и энергоэффективности, электро-
снабжения и электрооборудования, энергобезопасности и использования
возобновляемых источников энергии. Сборник предназначен для участни-
ков конференции и может быть полезен широкому кругу специалистов, за-
нятых проектированием и эксплуатацией электрического хозяйства, пре-
подавателям, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

Конференция посвящена 110-летию со дня рождения А.А. Фёдорова —
выдающегося ученого в области промышленной энергетики.

Научное издание

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ — 2017
XLVII Международная научно-практическая конференция
с элементами научной школы

Корректор Г.Ф. Раджабова
Компьютерная верстка М.Н. Маркиной

Подписано в печать с оригинал-макета 03.11.17

Бумага офсетная

Печать офсетная

Формат 60×90/16

Усл. печ. л. 21,25

Уч.-изд. л. 23,0

АО «Издательский дом МЭИ», 111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2
Отпечатано в АО «Т8 Издательские Технологии», Москва, Волгоградский пр-т, д. 45, корп. 5

ISBN 978-5-383-01282-6

© Авторы, 2017

© Национальный исследовательский
университет «МЭИ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Анатолий Анатольевич Федоров (1907—1985).....9

Секция 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Кудрин Б.И.

Информационное и ценологическое проектирование 12

Гнатюк В.И.

Об электропотреблении 19

Постнов С.П., Репина Ю.В.

Вопросы экономического обоснования разработки АСУ ЭС
промышленных электротехнических систем..... 28

Цырук С.А., Березовский В.С.

Сравнительный анализ эффективности распределительных
сетевых компаний 33

Зырин Д.В., Лоскутов А.Б., Толчин П.А.

Применение имитационного моделирования для исследования
интеллектуальных распределительных сетей
с распределенной генерацией 42

Тимченко А.В., Морозов Д.Г.

Оптимизация регионального электротехнического комплекса
с учетом номенклатурных ограничений..... 51

Ковалева А.В., Цой А.А.

Основы разработки консалтинговой системы ЭКСПЕРТ ТО РЭС..... 57

Некрасов С.А.

Переход от удовлетворения спроса на электроэнергию
к его формированию — требование развития атомной
и возобновляемой энергетики 61

Федорова С.В.

К вопросу о применении электронного образования для решения задач
энергослужб предприятий 70

Garifullin A.I., Borodin A.K., Taktamysheva R.R.

The possibility of teaching students with using of the virtual
educational labs 74

Секция 2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ

Гнатюк В.И., Иващенко А.А., Рученин И.А.

МС-прогнозирование в оценке эффективности расходования энергоресурсов организационно-технической системы 76

Хорьков С.А.

Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия 85

Духнич Е.М., Воронин П.А., Воронин И.П.

Повышение энергоэффективности мощных высоковольтных преобразователей на новых полупроводниковых ключах с полевым управлением 88

Исаев А.С., Ошурков М.Г.

Прогнозирование суточных графиков нагрузки предприятия 92

Жилин Б.В.

Выявление условий применения индивидуальной компенсации реактивной мощности 99

Кочергин А.В., Фомин И.О., Чегодаев А.А.

Применение интеллектуального аккумуляторного комплекса с целью экономии затрат на электроэнергию при использовании многотарифных приборов учета 103

Батрак С.Д., Ткачук В.О., Захаров И.В.

Применение высокотемпературной свехпроводимости при создании электроэнергетических устройств 106

Токтаров Е.М., Захаров И.В.

Использование низкотемпературного охлаждения на морском флоте 110

Кошарная Ю.В., Султаналиева Г.М., Галкина В.А., Платонов А.А.

Влияние нагрузок промышленного потребителя электроэнергии на выбор тарифа 115

Матюнина Ю.В., Мальши М.Е., Султаналиева Э.М.

Оценка штрафных санкций при неточном планировании графика нагрузки 123

Хабдуллина З.К., Хабдуллин А.Б., Хабдуллин Ар.Б.

Разработка программного комплекса по оптимизации системы электроснабжения с целью минимизации потерь мощности 128

<i>Щетинин Д.Ю., Токарчук М.И.</i> Анализ состава осветительных приборов в образовательных учреждениях МО РФ	134
<i>Баламетов А.Б., Салимова А.К., Агаханова К.А.</i> Сравнение методов оценки потерь электроэнергии с учетом температуры провода	135

Секция 3. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРГАНИЗАЦИЙ И УЧРЕЖДЕНИЙ

<i>Ершов М.С., Чернев М.Ю. Митрофанов А.В.</i> Возможности повышения устойчивости частотно-регулируемого привода к провалам напряжения	138
<i>Черепанов В.В., Калинина Е.А.</i> Разработка алгоритма и программного обеспечения автоматического расчета колебаний напряжения и дозы фликера в электрических сетях, питающих асинхронные электродвигатели с резкопеременной нагрузкой	146
<i>Новоселов М.Л., Гизатуллина О.Л., Барсуков В.К.</i> Система регистрации параметров электрической сети	151
<i>Конкин Р.Н.</i> Применение пусковых режимов асинхронного электропривода для определения эквивалентных параметров источников питания электротехнических систем	158
<i>Немировский А.Е., Кичигина Г.А. Сергиевская И.Ю.</i> Электроосмотическая сушка и влагозащита электрооборудования	166
<i>Морозов А.В., Барсуков В.К.</i> Настройка регулятора скорости тягового электропривода	171
<i>Нетша Ф.С., Ефременко В.М.</i> Анализ проблемы использования устройств регулирования под нагрузкой трансформаторов на подстанциях Кемеровской области ..	174
<i>Малафеев А.В., Иманова Ю.С.</i> Учет износа РПН при суточном регулировании напряжения в заводских распределительных сетях 3—10 кВ	178

<i>Васильева К.В.</i> Влияние температуры магнитной системы трехфазного трансформатора на потери холостого хода	182
<i>Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю., Кичигина Г.А.</i> Расчет подогрева обмоток электродвигателей при электроосмотической сушке изоляции и пониженных температурах.....	188
<i>Коростелев М.В., Королев В.М., Белим Е.С.</i> Влияние интервалов усреднения коэффициентов несимметрии напряжений на корректность оценки нагрева обмоток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	194
<i>Австрийская А.Н.</i> Выбор средств снижения несинусоидальности в сетях с вентильными преобразователями	197
<i>Гусев Г.Г., Михеев Д.В., Сиренко С.В.</i> Принципиальная схема устройства ограничения токов короткого замыкания на основе каткона.....	203
<i>Гусев Г.Г., Жохова М.П., Михеев Д.В., Толчеев О.В.</i> Фильтрокомпенсирующие устройства для систем электроснабжения с двигателями с глубоким регулированием частоты вращения	209
<i>Закутский В.И., Смирнов В.С., Зуев М.М.</i> Анализ отечественной и мировой практики заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ.....	214
<i>Рыжкова Е.Н., Младзиевский Е.П.</i> Сравнительный анализ режимов заземления нейтрали в сети 10 кВ.....	222
<i>Смагин К.А.</i> Расчет движения и зарядки частиц в электрофильтрах со сложной геометрией электродной системы	228
<i>Никонова А.Ю.</i> Определение тока однофазного замыкания на землю в сети с двигательной нагрузкой	233
<i>Золн Д.С.</i> Опыт электроснабжающих компаний и промышленных предприятий России в проблеме выбора режима заземления нейтрали распределительных сетей.....	238
<i>Шакирзянов Ф.Н., Соловьев Д.Ю., Сабайкин Н.А.</i> Воздействие молнии на ВЛЭП.....	244

<i>Темный Д.С., Янченко С.А.</i> Проектирование электрооборудования цеховой сети постоянного тока	247
<i>Блюк В.В.</i> Некоторые проблемы расчета динамических режимов промышленных ЭТС программного комплекса <i>ETAP</i>	254
<i>Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М.</i> Учет температурной зависимости сопротивлений воздушных линий при установившихся режимах электрической сети	260
<i>Mikhaylenko K.P., Titova G.R.</i> Influence of inrush current of led luminaries on construction of power supply circuit	262
<i>Хабдуллина З.К., Хабдуллин А.Б., Хабдуллин Ар.Б.</i> Построение информационной модели системы электроснабжения объектов электротехнических и геомеханических комплексов	266

Секция 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

<i>Charafeddine K.F., Tsyruk S.A., Sangov K.S.</i> Dynamic analysis of three-phase self-excited induction generator for wind energy	272
<i>Фролова А.В., Васьков А.Г.</i> Разработка алгоритма совместного аэродинамического и механического регулирования частоты ветроэнергетической установки	278
<i>Свистунов В.Д.</i> Проектирование и конструирование ветрогенератора Савониуса	284
<i>Дерюгина Г.В., Алиходжина Н.В.</i> Исследование влияния различных факторов окружающей среды на вертикальный профиль ветра в условиях полуострова Камчатка	291
<i>Богомолова М.С., Дерюгина Г.В., Карнов Н.Д.</i> Исследование влияния состава ветроэлектрической станции на основные удельные капитальные затраты	296

<i>Куликов А.Л., Хориков А.А., Колесников А.А.</i> Применение централизованной дифференциальной защиты для вставок постоянного тока	300
<i>Ануфриев О.В., Воротынцев Д.В., Крапивко П.В., Тягунов М.Г.</i> Прогноз почасовой выработки ФЭС на сутки вперед с использованием машинного обучения.....	305
<i>Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Кечкин А.Ю.</i> Оптимизация структуры электротехнического комплекса виртуальной электростанции с источниками распределенной генерации	312
<i>Кандауров А.В.</i> Подход к оценке источников электроэнергии, применяемых в иерархически организованных распределенных объектах.....	320
<i>Молотов Ф.В., Васьков А.Г.</i> Создание методических указаний по выполнению лабораторных работ на кафедре «Гидроэнергетика и ВИЭ» НИУ «МЭИ»	325
<i>Шарапов С.С., Титова Г.Р.</i> Применение винта Архимеда для энергоснабжения высокогорных районов Северного Кавказа	329
<i>Эльбазуров А.Р., Титова Г.Р.</i> Использование возобновляемых источников энергии для эффективного функционирования промышленности Чеченской Республики	332
<i>Сираев Л.И., Роженцова Н.В.</i> Моделирование гибридной системы электроснабжения промышленного предприятия	338

Таким образом, методика МС-прогнозирования по сравнению с другими ТЦ-методами обладает существенным преимуществом по экономическим показателям, что актуально в нынешних условиях политики жестких финансовых ограничений; кроме того, появляется возможность учета и планирования модернизации инфраструктуры с учетом мониторинга критерия эффективности ОТС в целях экономии денежных средств.

Литература

1. **Гнатюк В.И.** Закон оптимального построения техноценозов [Монография]. Калининград: Изд-во КИЦ «Техноценоз», 2017.
2. **Методика** мониторинга электропотребления регионального электротехнического комплекса Калининградской области / В.И. Гнатюк и др. // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 26—35.
3. **ГОСТ Р ИСО 9000—2015.** Система менеджмента качества.
4. **Модель** электропотребления МС-ценоза / А.А. Иващенко и др. // Сб. науч. тр. «Флагман» № 16. Филиал ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2016. С. 56—66.
5. **Иващенко А.А., Тимченко А.В., Заименко А.А.** МС-прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса // Федоровские чтения – 2016: Материалы XLVI Международной научно-практической конференции с элементами научной школы. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 117—125.
6. **Федеральный** закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности».

С.А. Хорьков, horkov_07@mail.ru, УдГУ, г. Ижевск

ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА МАСШТАБИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОГО И ПРИБОРНОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье [1] сформулирована проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, обоснована методика расчета. Суть проблемы в том, что сумма расчетных частей месячного электропотребления многономенклатурного цеха всегда превышает

приборное электропотребление, т. е. $W = \sum_{j=1}^n W_j$, $W > V$, где W , V — рас-

четное и приборное месячное электропотребление соответственно. При этом упорядоченный по убыванию ряд составляющих электропотребления имеет степенное (гиперболическое) распределение $W(i) = W_1 \cdot i^{-\alpha}$, где W_1 — константа электропотребления; i — ранг; α — показатель степени гипер-

болического (степенного) распределения. Уточнение расчетных частей в рамках традиционной методики не устраняет указанное неравенство [1]. Методика включает расчет составляющих электропотребления и применение закона масштабирования, связывающего расчетное и приборное электропотребление. Обоснование закона масштабирования осуществляют в предположении существования гиперболического образа и структурной устойчивости электропотребления многономенклатурного цеха. Его получают на основании теории категорий и построения соответствующего топоса. Закон масштабирования имеет вид

$$W = V^{d(\alpha)}. \quad (1)$$

Входящий в выражение (1) показатель степени — инвариант электропотребления многономенклатурного цеха — получают из выражения

$$d(\alpha) = \frac{\ln W(\alpha)}{\ln V(\alpha)}. \quad (2)$$

Применение закона масштабирования позволяет получить точную оценку электропотребления многономенклатурного цеха по выражению [1]

$$W^* = V = W^{\frac{1}{d(\alpha)}}. \quad (3)$$

Недостатком указанного обоснования можно считать непривычность исходных предположений и трудность интерпретации результата.

Новая модель электропотребления многономенклатурного цеха имеет два основания. С одной стороны, радиальную сеть электроснабжения (и электропотребления) многономенклатурного цеха можно представить в виде иерархического дерева. С другой стороны, установлено, что пространство степенных законов, а следовательно, и степенное распределение электропотребления цеха, порождено p -адическими числами [2].

На этой основе строят p -адическую модель электропотребления и осуществляют новое обоснование закона масштабирования. Расширение арсенала обоснования закона масштабирования p -адическими числами позволяет привлечь теорию фракталов и получить новую интерпретацию связи расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха.

P -адические числа введены в математику в конце XIX века немецким математиком К. Гензелем. Поле этих чисел является пополнением поля рациональных чисел. Эти числа записывают в виде бесконечного ряда по степеням какого-либо простого числа p или в форме, подобной записи обычного десятичного числа, но в обратной последовательности, т.е. с бесконечной «целой» частью, соответствующей положительным степеням

p . Одна из форм их записи аналогична записи произвольной функции, разложенной в ряд Лорана. На поле p -адических чисел существует специальная норма. Ее смысл заключается в том, что она обратно пропорциональна степени делимости данного числа на фиксированное простое число. Эта норма позволяет индуцировать особую метрику. Основное отличие этой ультраметрики от обычной метрики заключается в ее неархимедовости, т.е. в невозможности традиционного (аддитивного) применения аксиомы Архимеда (аксиомы измеримости) и замены его нетрадиционным (мультипликативным) применением. Неархимедова геометрия приводит к представлению p -адических чисел в виде иерархических деревьев. Это дерево имеет ветвление на p частей в каждой вершине [2, 3]. Вершины ветвления нумеруют числами натурального ряда. Аппроксимация инверсии этого ряда дает гиперболу. P -адические числа интерпретируют числовой записью фрактала [2].

P -адическая модель электропотребления многономенклатурного цеха в виде иерархического дерева и теория фракталов позволяют ввести ступень деления или эталон деления электропотребления цеха V , степень деления электропотребления цеха или его фрактальную размерность d , величину ресурса электропотребления цеха W . На основе отношений на p -адическом дереве все эти характеристики связаны друг с другом, т.е. существуют выражения каждой величины через две другие. Запишем эти выражения для величины ресурса электропотребления цеха (расчетного электропотребления цеха), фрактальной размерности электропотребления цеха, эталона деления электропотребления цеха (приборного электропотребления цеха) соответственно:

$$W = V^d ; \quad (4)$$

$$d = \log_V W = \frac{\ln W}{\ln V} ; \quad (5)$$

$$V = W^{\frac{1}{d}} . \quad (6)$$

Из приведенного видно, что выражения (1) и (4), (2) и (5), (3) и (6) соответственно имеют идентичные структуры. Следовательно, p -адическая модель позволяет связать законом масштабирования расчетное и приборное электропотребление многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Другими словами, логарифм расчетного электропотребления, полученного в конкретных условиях (иерархическая модель, определенный способ расчета составляющих электропотребления и степенное распределение), всегда в d раз больше логарифма приборного электропотребления.

Следует отметить, что в свое время поиск эталонного H -распределения ценоза привел Б.И. Кудрина к представлению любого натурального числа в виде произведения степеней ряда простых чисел [4]. В отличие от его модели p -адическая модель является «однородной», т.е. ее основанием является одно простое число. В теории p -адики значительное место занимает 2-адическое число. В модели на основе этого числа синхронизация процесса деления на части происходит автоматически [2]. P -адическая модель иерархична и поэтому целостна, все ее элементы связаны структурой дерева (сетью). Каждый элемент определен местом в сети и в то же время от его места зависит положение других элементов сети. Границы иерархического дерева условны, поскольку p -адическое дерево безгранично делимо. Связи между элементами дерева «слабые», поскольку являются иерархическими связями. Упорядочить можно не любые, а только элементы разных уровней ветвления дерева. Ресурс, заключенный в дереве, может быть материальным, энергетическим, информационным. Статистика в дереве является негауссовой, поскольку независимые одинаково распределенные величины безгранично делимы. Приведенные характеристики — суть характеристики ценоза.

Литература

1. **Хорьков С.А.** Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета // Промышленная энергетика. 2015. № 10. С. 36–39.
2. **Маврикиди Ф.И.** Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, p -адические числа, апории Зенона, сложные системы. М.: Дельфис, 2015. 416 с.
3. **Коблиц Н.** P -адические числа, p -адический анализ и дзета-функции. М.: Мир, 1982. 192 с.
4. **Кудрин Б. И.** Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография. М.: Технетика, 2014. 227 с.

Е.М. Духнич, dukhnichhelen@mail.ru, П.А. Воронин, voroninpa@list.ru, И.П. Воронин, VoroninIP@mpel.ru, НИУ «МЭИ», Москва

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА НОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КЛЮЧАХ С ПОЛЕВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В настоящее время актуальной является проблема повышения энергоэффективности мощных высоковольтных преобразователей для применения в электроэнергетике. Одной из причин снижения КПД преобразователей являются потери в силовых полупроводниковых ключах.