

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

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2022

III ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ
УЧАСТИЕМ
(С ЭЛЕМЕНТАМИ НАУЧНОЙ
ШКОЛЫ ДЛЯ МОЛОДЕЖИ)

Москва
15 — 18 ноября
2022 г.

УДК 621.3
Ф 33

Ф 33 Фёдоровские чтения — 2022: ЛП Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи) (Москва, 15—18 ноября 2022 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. — М.: Издательский дом МЭИ, 2022. — 427 с.

ISBN 978-5-383-01615-2

Публикуются материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (с элементами научной школы для молодежи) «Фёдоровские чтения — 2022», прошедшей в Национальном исследовательском университете «МЭИ» 15—18 ноября 2022 г.

Научная тематика конференции — «Энергосбережение и энергоэффективность технологий передачи, распределения и потребления электрической энергии». Публикации характеризуются охватом широкого круга проблем в областях электроснабжения и энергоэффективности, энергосбережения и энергосберегающих методов, рационализации систем электроснабжения предприятий и организаций, использования собственных источников энергии в системах электроснабжения, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Сборник предназначен для участников конференции и может быть полезен широкому кругу специалистов, занятых проектированием и эксплуатацией электрического хозяйства, преподавателям, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

УДК 621.3

Научное издание

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ — 2022

ЛП Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием (с элементами научной школы для молодежи)

Корректор Г.Ф. Раджабова

Подписано в печать с оригинал-макета 14.11.22. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 27,0

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 978-5-383-01615-2

© Коллектив авторов, 2022

© НИУ «МЭИ», 2022

МЕТРИКА И УЛЬТРАМЕТРИКА ПРОСТРАНСТВА СОПРОТИВЛЕНИЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Профессор Кудрин Б.И. в устных выступлениях, научных статьях и монографиях неоднократно утверждал, что в системе электроснабжения промышленного предприятия (электрическом техноценозе) не выполняется закон Ома. При этом, кроме общенаучных положений, опирающихся на третью научную картину мира, количественные выкладки на эту тему найти в его работах достаточно сложно [1]. Попытаемся отыскать такие основания, которые позволяют сделать вышеприведенное утверждение профессора Б.И. Кудрина очевидным.

На рисунке 1 приведена структура иерархической многоуровневой системы электроснабжения промышленного предприятия 1УР—5УР и ее модель в виде 2-адического числа. В общем случае система электроснабжения промышленного предприятия может иметь шесть уровней 1УР—6УР. К ним относят: уровень приемников низкого напряжения (1УР), уровень цеховых распределительных щитов и распределительных пунктов, щитов управления и силовых шкафов (2УР), уровень распределительных устройств трансформаторных подстанций (3УР), уровень высоковольтных распределительных устройств, шины распределительных подстанций (4УР), уровень шин главных понизительных подстанций (5УР), уровень границы раздела промышленного предприятия и энергоснабжающей организации (6УР). В этой системе на различных уровнях могут быть использованы стандартные номинальные напряжения трехфазного тока частотой 50 Гц, измеряемые в кВ: 0,22; 0,38; 0,66; 6; 10; 20; 35; 110; 220.

Передачу электрической энергии к электрическим приемникам осуществляют при помощи кабелей, проводов, и шнуров. Медные и алюминиевые жилы, предназначенные для кабелей и проводов неподвижной прокладки, подразделяют на классы I—III, а для кабелей проводов и шнуров подвижной прокладки — классы IV—VI. В качестве примера приведем сведения, характеризующие токопроводящие медные жилы кабелей, проводов и шнуров: номинальные сечения, измеряемые в мм² и электрические сопротивления 1 км круглых медных луженых одножильных жил соответствующего сечения кабелей класса II, проводов и шнуров при температуре 20 °С, Ом, указанные в скобках: 0,75 (24,7); 1 (21,2); 1,5 (13,6); 2,5 (7,6); 4 (7,41); 6 (3,05); 10 (1,81); 16 (1,14); 25 (0,719); 35 (0,519);

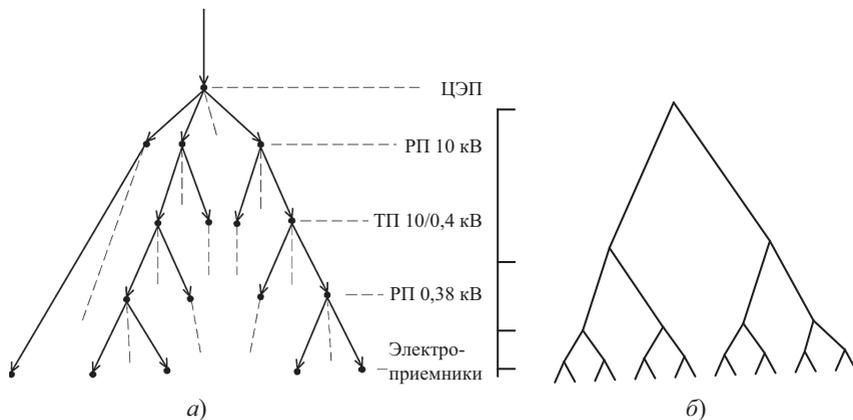


Рис. 1. Структура иерархической системы промышленного предприятия 1УР—5УР, ее модель в виде 2-адического числа: а — дерево-схема системы электроснабжения промышленного предприятия; б — схема целого 2-адического числа

50 (0,383); 70 (0,265); 95 (0,191); 120 (0,154); 150 (0,23); 185 (0,098); 240 (0,0747) [2].

Построим ранжированные графики стандартных напряжений и сопротивлений для стандартных сечений 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70 мм² (рис. 2). Видно, что они имеют степенной вид.

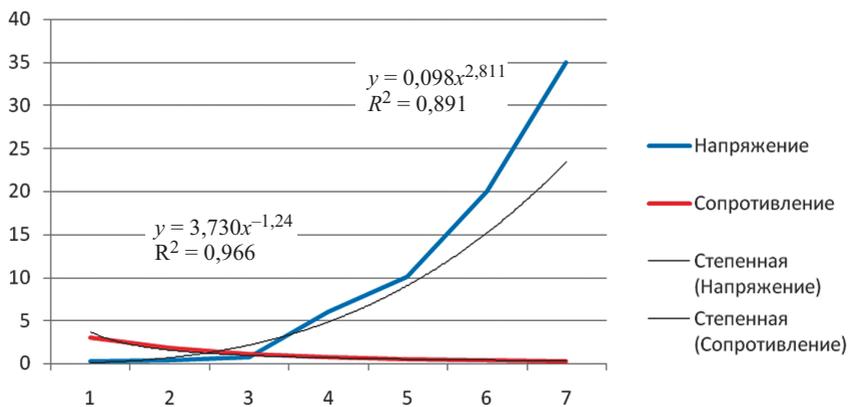


Рис. 2. Ранжированные графики напряжений (в диапазоне 0,22...35 кВ) и сопротивлений (в диапазоне сопротивлений 3,05... 1,14 Ом для сечений 6...70 мм²), их аппроксимации и выражения трендов

На основе графиков запишем выражения для тока:

$$I = U^n \rho^{-s} \rightarrow I^n = U \rho^{-\frac{s}{n}}. \quad (1)$$

Здесь принято, что сопротивления в системе электроснабжения соединены последовательно. Если считать, что сопротивление является расстоянием между любыми двумя точками пространства x, y , между которыми определено напряжение (разность потенциалов), то оно должно удовлетворять условиям функции-метрики $\rho(x, y)$: 1) положительности; 2) симметрии; 3) треугольника.

При $s = n = 1$ для этой формулы:

- 1) $\rho(x, y) = 0$ тогда и только тогда, когда $x = y$;
- 2) $\rho(x, y) = \rho(y, x)$;
- 3) $\rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y)$.

Из этих условий следует, что закон Ома выполняется на обычном метрическом пространстве.

При $sn^{-1} \rightarrow \max$ первые два условия метрики остаются прежними, а третье условие трансформируется в условие усиленного треугольника, а именно: его получают в виде $\rho(x, y) \leq \max(\rho(x, z), \rho(z, y))$. Доказательство этого положения приведено в [3]. Усиленный треугольник является треугольником равнобедренным, основание которого не превосходит его стороны. Метрическое пространство, отвечающее условию усиленного треугольника, называют ультраметрическим пространством.

Очевидно, что закон Ома в традиционной форме не выполняется на ультраметрическом пространстве или, несколько иначе, закон Ома не выполняется на метрическом пространстве, если напряжение и сопротивление имеют степенное распределение.

Свойства ультраметрического пространства не отвечают традиционной интуиции. Эти свойства могут быть интерпретированы при помощи геометрических шаров. В ультраметрическом пространстве любая точка шара является его центром. Если два шара имеют общую точку, то один шар находится в другом. Шары, не имеющие общих точек, не пересекаются. Шар может иметь бесконечное число радиусов. Шар ультраметрического пространства одновременно является открытым и замкнутым; при взгляде изнутри он открыт, при взгляде снаружи — замкнут.

Ультраметрическое пространство — это пространство иерархической структуры. Оно не является архимедовым, т.е. в нем не выполняется ак-

сиома Архимеда. Это значит, что в нем есть расстояния, которые невозможно измерить при помощи других расстояний. Практическое значение свойства неархимедовости минимально, однако неархимедов анализ имеет большое значение. Его приложения имеют место в тех отраслях знаний и практики, которые могут быть структурированы иерархически и описаны p -адическими числами. Такие свойства имеют ценозы, обладающие свойствами фрактальности и негауссовости [4]. Основная характеристика фракталов есть самоподобие, негауссовость тесно связана с безграничной делимостью пространства.

Выделение метрики и ультраметрики позволяет рассчитывать количество электропотребления крупного цеха через его составляющие с учетом степенной структуры этого потребления [5]. Совместное рассмотрение метрики и ультраметрики базируется на природной двойственности явлений нашего мира, воплощенной в числовой асимметрии [6].

Литература

1. **Кудрин Б.И.** Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические H -распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / В кн.: Б.И. Кудрин: Философские основания технетики. Вып. 19. «Ценологические исследования». М.: Центр системных исследований, 2002. С. 357—412.
2. **Белоруссов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И.** Электрические кабели, провода и шнуры; под общ. ред. Н.И. Белоруссова. — 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1979. 416 с.
3. **Гвишиани А.Д., Гурвич В.А.** Метрические и ультраметрические пространства сопротивлений // УМН. 1987. Т. 42. Вып. 6 (258). С. 187—188.
4. **Хорьков С.А., Маврикиди Ф.И.** Ценозы, системы и их модели: монография. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. 92 с.
5. **Хорьков С.А.** Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения: монография. Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2019. 128 с.
6. **Маврикиди Ф. И.** Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, p -адические числа, апории Зенона, сложные системы. М.: Дельфис, 2015. 416 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

<i>Луценко Д.В.</i> Структурно-параметрическое прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса	3
<i>Гнатюк В.И., Лепехо Д.В., Кивчун О.Р.</i> Об определении индивидуальных динамических норм электропотребления с учетом статистических особенностей отдельных объектов электротехнического комплекса	12
<i>Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В., Жукова М.С.</i> Построение гиперпараметрической поверхности в виде трехмерного графика	21
<i>Баширов М.Г., Юсупова И.Г., Баширова Э.М.</i> Повышение информативности электромагнитно-акустических средств диагностики энергетического оборудования	27
<i>Погодина С.А., Крюков О.В., Гуляев И.В.</i> Нейронные сети мониторинга и прогнозирования технического состояния электроустановок	35
<i>Кандауров А.В.</i> Применение экспертного опроса для обоснования параметров систем электроснабжения автономных объектов	43
<i>Шеин С.А., Баширов М.Г., Юсупова И.Г.</i> Вопросы применения законодательной и нормативной базы электроснабжения	48
<i>Маханбетов К.К., Цырук С.А.</i> Разработка стратегии управления активами предприятий в сфере обслуживания и ремонта оборудования до 1000 В	55
<i>Баширова Э.М., Нуритдинов М.Р., Нуритдинова К.Р.</i> Анализ ключевых показателей ЭС 2035 В энергетической отрасли РФ	62
<i>Булатенко М.А.</i> Инструменты стратегического анализа предприятий ТЭК для идентификаций направлений обеспечения их экономической безопасности	65
<i>Ефименко А.Е., Ефимов А.Р.</i> Трансакционные издержки при проектировании и сборке низковольтных комплектных устройств	72
<i>Маслеева О.В., Голицын Ю.Д.</i> Экологическое сравнение автомобиля с ДВС и электроавтомобиля	79

Секция 2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ

- Гапонова Д.А., Щербаков А.В.* Особенности построения системы управления температурным режимом при электронно-лучевом аддитивном формообразовании 86
- Кручинин А.М., Погребиский М.Я., Рязанова Е.С., Чурсин А.Ю.* Определение граничных режимов дуговых сталеплавильных печей заданного типа конструкции для повышения энергоэффективности. 93
- Крутянский М.М., Нехамин С.М.* Метод расчета параметров процесса сварки электрической дугой постоянного тока с нерасходуемым электродом 100
- Кондрашов С.С., Федин М.А., Кувалдин А.Б., Федина С.А., Чень Б.* Моделирование процесса индукционного нагрева для оплавления защитных покрытий, обеспечивающих защиту деталей механизмов от воздействия агрессивных сред, высоких температур и давлений в программном комплексе Comsol Multiphysics 117
- Немировский А.Е., Кичигина Г.А., Сергиевская И.Ю., Никифорова О.М.* Новый способ интенсификации электроосмотической сушки изоляции обмоток электродвигателей 125
- Грачева Е.И., Ибатуллин Э.Э.* Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах средней мощности. 129
- Ионова Л.Г., Исаев А.С.* Выбор метода формализации зависимостей в технической системе. 137
- Ошурков М.Г.* Моделирование профиля мощности уличного освещения 145

Секция 3. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРГАНИЗАЦИЙ И УЧРЕЖДЕНИЙ

- Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Пудовинников Р.Н.* Оценка симметричной перегрузки статора и ротора синхронного генератора при насыщении магнитной системы блочного трансформатора 154
- Бычков А.В., Федяй О.В.* Компьютерная модель устройства защиты от воздействия квазипостоянных токов на силовые трансформаторы 159
- Чистяков Д.С., Самолина О.В.* Способы снижения влияния высших гармоник на функционирование электрических сетей промышленных предприятий 161

<i>Дюдяков А.А., Янченко С.А.</i> Анализ эффективности работы гибридного фильтра в условиях ухудшенного качества электроэнергии питающей сети . . .	167
<i>Иванов А.А., Крюков О.В., Подшивалов Е.С.</i> Исследование систем электроснабжения с нелинейными нагрузками	175
<i>Назаров М.А., Хренников А.Ю.</i> Применение преобразователей частоты для снижения расхода энергии на собственные нужды подстанций	184
<i>Виноградов А.В., Лансберг А.А.</i> Определение показателей надежности реклоузеров и управляемых разъединителей	187
<i>Жигадло А.А., Немчинов Н.А., Рыжкова Е.Н.</i> Разработка алгоритма для выбора режима нейтрали промышленного объекта	195
<i>Харабурова М.Д., Рыжкова Е.Н.</i> Технические решения по повышению надежности сетей с компенсацией емкостных токов замыкания на землю	199
<i>Вагапов Г.В., Абдуллин Л.И., Нуртдинов И.Г.</i> Автоматизация распределительной сети 6—10 кВ на основе систем автоматического восстановления электроснабжения	205
<i>Литужин И.А., Сеницын Н.А.</i> Исследование устойчивости напряжения в распределительных сетях низкого и среднего напряжения	208
<i>Соколов А.П., Морцакин А.Э., Курбанов А.Р.</i> Влияние закона автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов на статическую устойчивость при выходе на раздельную работу	216
<i>Соснина Е.Н., Крюков Е.В., Гусев Д.А.</i> Интеллектуальный регулятор потока мощности для активно-адаптивной электрической сети	224
<i>Петрова Р.М., Грачева Е.И.</i> Надежность и перегрузочная способность силовых трансформаторов	233
<i>Петров А.Р., Грачева Е.И.</i> Моделирование функциональных характеристик низковольтных коммутационных аппаратов на примере автоматических выключателей	240
<i>Хорьков С.А.</i> Метрика и ультраметрика пространства сопротивлений системы электроснабжения промышленного предприятия	247
<i>Черепанов В.В., Торопова А.К.</i> Исследование электрической нагрузки главного привода лущильного станка	251
<i>Галимова А.В., Белогловский А.А.</i> Изучение взаимодействия катодонаправленных стримеров с электронными лавинами (обзор)	256

<i>Галимова А.В., Белогловский А.А., Белоусов С.В., Савельев И.О.</i> Изучение в вычислительных экспериментах электронных лавин и катодонаправленных стримеров (обзор)	260
<i>Бережнов Д.А.</i> Спектральное разложение выходных сигналов четырёхуровневого автономного инвертора	267
<i>Дубровский Б.В., Вихров М.Е.</i> Особенности электроснабжения центров обработки данных для обеспечения необходимых надёжности и качества электрической энергии	271
<i>Сычев Т.А., Титова Г.Р.</i> Особенности электроснабжения концертных залов	278
<i>Андреева Е.Г., Карев А.С.</i> Исследование влияния состава электроприемников домохозяйства на его энергопотребление	284
<i>Дарьенков А.Б., Шалухо А.В., Шувалова Ю.Н.</i> Анализ процессов деградации в мембраноэлектродном блоке топливного элемента с полимерной протонообменной мембраной	288
<i>Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т.</i> Результаты экспериментальных исследований симметрирующего силового трансформатора	294
<i>Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т.</i> Проведение экспериментов по снижению несимметричных напряжений	298
<i>Кулешова Г.С., Михеев Д.В.</i> Экспериментальное исследование переходных процессов при подключении к электрической сети фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента	302
<i>Камалов Д.М., Баширова Э.М.</i> Обзор отечественных контроллеров систем управления	308
<i>Гуцан В.А., Белогловский А.А., Лебедева Н.А., Бухтилова М.А.</i> Применение методов безусловной математической оптимизации к решению задач регулирования электрических полей в установках высокого напряжения: влияние формулировки задачи	311
Секция 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
<i>Вилявин А.Е., Зайнутдинова Л.Х., Зайнутдинов Р.А., Курьлев А.С.</i> Разработка ргебного электропривода солнечного катамарана	319

<i>Переверзев Д.В., Кабанов В.А., Сычев Н.В., Королёв М.Р.</i> Применение водородных накопителей энергии на заправочной станции для водородных и электрических автомобилей	326
<i>Дорошин А.Н., Сычев Н.В., Кабанов В.А.</i> Гибридная система автономного электроснабжения гостиничного комплекса	333
<i>Зограф Я.Е., Кривенко Т.В.</i> Оценка риска пожара на автономной гибридной солнечно-дизельной электростанции	338
<i>Плехов А.С., Крюков Е.В., Петухов Я.И.</i> Имитационная модель системы электрогенерации плавучей волновой электростанции	346
<i>Ковалёв А.А., Панченко В.А.</i> Разработка и создание системы «анаэробная биоконверсия — микробная электролизная ячейка» с использованием преобразователей солнечной энергии	352
<i>Слузов А.П., Бердников И.Е., Дарьенков А.Б.</i> Имитационное моделирование режимов работы источника бесперебойного питания	360
<i>Байбиченков А.Р., Титова Г.Р.</i> Анализ надежности систем электроснабжения с применением возобновляемых источников энергии для временных зданий и сооружений	367
<i>Бердышев И.И., Бурмейстер М.В., Ильина А.А., Булатов Р.В.</i> Выбор математического описания синхронного генератора для применения в программно-аппаратном комплексе системы виртуальной инерции	375
<i>Бердышев И.И., Бурмейстер М.В., Ильина А.А., Феднов А.Е.</i> Создание имитационной модели системы виртуальной инерции на основе связи частоты и мощности	383
<i>Захаров Ю.Ю., Лепешкин А.Р.</i> Анализ крупных агрегатов ВЭС для электроснабжения децентрализованных зон	393
<i>Костюков М.Р.</i> Краткосрочное планирование загрузки энергоблоков ТЭС с учетом генерации солнечных электростанций в системе	407
<i>Королёв М.Р., Переверзев Д.В., Дорошин А.Н.</i> Зарядная станция электромобилей с использованием накопителей кинетической энергии	414