

На правах рукописи



Терентьев

ТЕРЕНТЬЕВ ПАВЕЛ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ СЛУЖЕБНЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород 2014

Работа выполнена на кафедре «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

- Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроэнергетика,
электроснабжение и силовая электроника»
НГТУ им Р.Е.Алексеева
Лоскутов Алексей Борисович
- Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроснабжение»,
ФГБОУ ВПО «Ульяновский
государственный технический университет»
Кузнецов Анатолий Викторович
- кандидат технических наук, директор
Нижегородского филиала ФГБУ «Российское
энергетическое агентство»
Бугров Сергей Александрович
- Ведущая организация: - федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва»

Защита состоится «23» декабря 2014 г. в 16.00 часов, в аудитории 1258 на заседании диссертационного совета Д 212.165.02 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.165.02.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета, к.т.н., доцент

А.С. Плехов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. По данным международного энергетического агентства (МЭА) жилые и общественные (служебные) здания потребляют более 40% ископаемых энергетических ресурсов, около 70% электрической энергии и более 50% природного газа. Потенциал энергосбережения в зданиях МЭА оценивает величиной до 50%. Поэтому в настоящее время одной из главных мировых проблем является проблема энергоэффективности и энергосбережения зданий с учетом экологического благополучия.

Проведенные исследования показывают, что наибольших успехов в повышении энергоэффективности и энергосбережения в настоящее время добились страны Евросоюза (ЕС), в которых средний фактический расход энергии на отопление и вентиляцию зданий составляет 77 кВт·ч/м² в год. В России этот показатель превышает 250 кВт·ч/м² в год. В ЕС в соответствии с Директивой 2010/31/ЕС от 19.05.2010 г. предписано снизить энергопотребление зданий к 2020 г. еще на 20% а к 31.12.2020 г. все строящиеся жилые здания в ЕС должны соответствовать зданиям с почти нулевым потреблением энергии, а государственные здания необходимо переоборудовать в здания с нулевым потреблением после 31.12.2018 года.

В России в соответствии с Государственной программой «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» предусмотрено снижение удельных расходов энергии на 1 кв.м площади для государственных (муниципальных) учреждений и организаций сферы услуг в 2020 г. на 27% по отношению к 2010 году.

В последние 20 лет резко обострилась проблема качества электрической энергии в городских зданиях в связи с появлением в них большого количества нелинейных однофазных потребителей электроэнергии. Наблюдается перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий, ускоренное старение изоляции, возрастание потерь мощности и электроэнергии, ложное срабатывание защитных аппаратов, выход из строя компьютерного оборудования и ряд других негативных явлений.

Решению проблемы повышения энергоэффективности зданий и исследованию качества электроэнергии в них посвящено большое количество публикаций, как в нашей стране, так и за рубежом. Среди них можно отметить работы Вагина Г.Я., Бугрова С.А., Кузнецова А.В., Алларда Ф., Башмакова И.А., Бобрякова А.В., Бродач М.М., Данилова О.Л., Директора Л.Б., Карташева И.И., Кудрина Б.И., Ливчака В.И., Лоскутова А.Б., Симуткина М.Г., Сосниной Е.Н., Наумова А.Л., Михайлова С.А., Сеппанен О., Гартнеса К., Тульского В.Н., Табунщикова Ю.А., Цырука С.А., Янченко С.А., Шпербер Х. и других. Вопросы повышения энергетической эффективности электротехнических комплексов зданий в России в этих публикациях проработаны недостаточно. Отсутствуют маркировка энергоэффективности электрооборудования и электроприборов, нет базовых уровней удельных расходов электрической энергии для различных типов

зданий и видов электроприемников. Мало данных о влиянии на энергетическую эффективность показателей качества электрической энергии. Решению этих вопросов и посвящена настоящая диссертация.

Объект исследования – электротехнические комплексы служебных и жилых зданий.

Предмет исследования – исследование качества и эффективности использования электроэнергии в зданиях.

Цель работы – исследование и разработка научно-технических решений по повышению энергетической эффективности электротехнических комплексов различных типов зданий за счет внедрения маркировки электрооборудования и повышения качества электрической энергии (КЭЭ).

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие научные и практические задачи:

- сравнительный анализ нормативных документов по энергоэффективности зданий в Евросоюзе и России;
- классификация электроприемников зданий, исследование их режимов работы и влияния на качество электроэнергии;
- исследование показателей качества электроэнергии и их влияние на энергоэффективность зданий;
- разработка рекомендаций по определению классов энергоэффективности электрооборудования зданий;
- разработка методов определения классов энергоэффективности зданий по потреблению электроэнергии.

Связь работы с научными программами. Работа выполнялась в рамках международной программы Минобрнауки РФ, Глобального экологического фонда и Программы Развития ООН «Стандарты и маркировка для продвижения энергоэффективности в РФ» (Государственный контракт № 04/00070781-13-13/2198 от 05 августа 2013 г.).

Методы научных исследований. Для решения поставленных задач использовались методы: инструментального исследования, физического и компьютерного моделирования, регрессионного и спектрального анализа.

Научная новизна работы состоит в разработке новых подходов направленных на повышение энергоэффективности использования электроэнергии в электротехнических комплексах зданий:

- 1) разработаны рекомендации по определению класса энергоэффективности электрооборудования зданий различного назначения, позволяющие сравнивать электропотребление однотипных зданий и намечать мероприятия по экономии электроэнергии и повышению их энергоэффективности;
- 2) предложен авторский подход к определению классов энергоэффективности зданий по потреблению электроэнергии, позволяющий ранжировать здания не только по потреблению тепловой энергии, но и электроэнергии;

3) проведено исследование показателей качества электроэнергии в различных типах зданий и их влияния на энергетическую эффективность зданий;

4) разработана методика анализа и учета высших гармоник тока и напряжения при проектировании и эксплуатации электротехнических комплексов зданий, позволяющая повысить их энергоэффективность и безопасность эксплуатации.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Предложенные индексы энергетической эффективности электрооборудования и электроприборов зданий позволяют ранжировать здания по эффективности потребления электроэнергии, определять энергонезэффективное оборудование и планировать его замену, упростить определение резервов экономии электроэнергии и повысить качество энергоаудитов.

2. Результаты исследования ПКЭ и их влияния на функционирование системы электроснабжения и электрооборудование зданий позволяют правильно выбирать элементы систем электроснабжения, средства регулирования напряжения и снижения высших гармоник тока и напряжения.

3. Через журнал «Промышленная энергетика» даны рекомендации Ростехнадзору о необходимости проверки систем электроснабжения всех городских зданий построенных или реконструированных в России за последние 30 лет, в связи с неправильным выбором сечений нулевых рабочих проводников, что приводит к их перегрузке и перегоранию. Даны также рекомендации по исключению из ПУЭ п.2.3.52, который допускает использовать для городских зданий в качестве нулевого провода свинцовую оболочку трехжильных кабелей.

4. Результаты работы использованы в учебном пособии для энергоаудиторов «Использование маркировки инженерного оборудования зданий при разработке мероприятий по повышению энергетической эффективности при проведении энергоаудита объектов различного назначения» выполненного в НГТУ по Проекту Минобрнауки РФ, Глобального экологического фонда и Программы Развития ООН.

5. Результаты работы были использованы при проведении энергоаудита и разработке предложений по энергосбережению всех подразделений Сбербанка России, а также в учебном процессе при чтении лекций по курсу «Экономия энергоресурсов» в НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами энергетических обследований в различных типах зданий, применением спектрального анализа, физического и компьютерного моделирования для анализа несинусоидальных режимах.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Анализ состава и результаты исследования режимов работы электроприемников зданий.

2. Результаты исследований влияния показателей качества электроэнергии на эффективность и безопасность функционирования зданий.

3. Методику определения классов энергоэффективности электрооборудования зданий.

4. Методику анализа и учета высших гармоник тока и напряжения при проектировании и эксплуатации зданий.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: XI, XII, XIII Международных молодежных научно - технических конференциях «Будущее технической науки» в НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2012, 2013, 2014 г.г.; VII научной молодежной школе «Возобновляемые источники энергии» в МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2010 г.; XVII, XIX Нижегородских сессиях молодых ученых (технические науки) Н.Новгород, 2012, 2014 г.г.; научно-технической конференции «Актуальные проблемы электроэнергетики» в НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород, 2013 г.; научном конгрессе 16-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2014» Н.Новгород, 2014 г.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 17 работ, 7 из них в рецензируемых журналах ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 168 наименований, 4 приложений и содержит 295 страниц, в том числе 236 страниц основного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы. Сформулирована цель диссертации, охарактеризована её структура, показана научная новизна работы и её практическая ценность, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведена классификация служебных и жилых зданий и их систем электроснабжения. Изучена номенклатура всех электроприемников этих зданий. Все электроприемники делятся на две группы:

1) **электробытовые** (холодильники, морозильники, стиральные машины, сушильные машины, кондиционеры, электрочайники, микроволновые печи, посудомоечные машины, телевизоры, музыкальные центры, электроводонагреватели, компьютеры, мониторы, ксероксы, принтеры и т.д.);

2) **инженерного обеспечения зданий** (насосы системы отопления, горячего и холодного водоснабжения, вентиляторы, компрессоры холодильных машин, лифты и подъемники, освещение и электроснабжение).

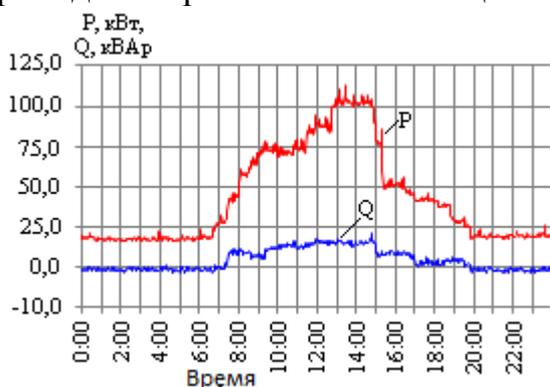
Приведены диапазоны изменения мощностей различных ЭП. Установлено соотношение линейных и нелинейных ЭП (табл.1).

Таблица 1 – Соотношение мощностей линейных и нелинейных ЭП в служебных и жилых зданиях

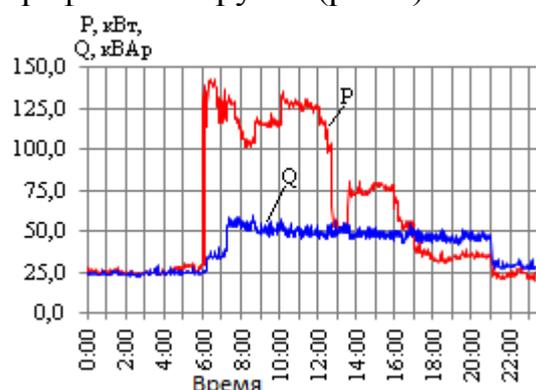
№ п/п	Объекты	Линейная нагрузка, %	Нелинейная нагрузка, %
1	Образовательные учреждения высшего профессионального образования	47,1-69	31-52,9
2	Больничные учреждения	45,1-70	30-54,9
3	Общеобразовательные учреждения	57,7-75	25-42,3
4	Дошкольные образовательные учреждения	70,5-80	20-29,5
5	Образовательные учреждения среднего профессионального образования	46,3-68	33-53,7
6	Банки и страховые компании	30-65	35-70
7	Учреждения здравоохранения	52,1-68	32-47,9
8	Здания администраций муниципальных районов и городских округов, их структурных подразделений, законодательных органов, здания сельских и поселковых администраций	43,9-75	25-56,1
9	Спортивные сооружения и образовательные учреждения спорта	47,9-66	34-52,1
10	Жилищно-коммунальное хозяйство	41,8-71	29-58,2

Проведен обзор работ по теме диссертации и сформулирована цель и задачи исследования.

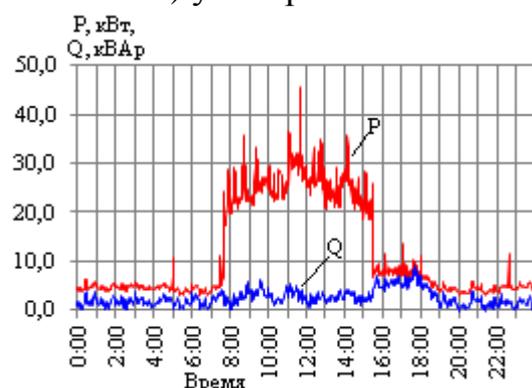
Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию энергетических характеристик ЭП зданий и качества электроэнергии в точках её передачи от энергоснабжающих организаций. Исследование режимов работы ЭП различных типов зданий показало, что большинство из них работают в повторнократковременном или кратковременном режиме. Это приводит к броскам тока и мощности в графиках нагрузки (рис.1).



а) университет



б) больница



в) административное здание

Рисунок 1 – Графики нагрузки

Установлено, что удельные расходы электроэнергии в зданиях России в 1,5-2 раза выше чем, например в Норвегии. Это объясняется большой долей ламп накаливания, старых типов люминесцентных ламп и низким классом энергетической эффективности применяемого электрооборудования.

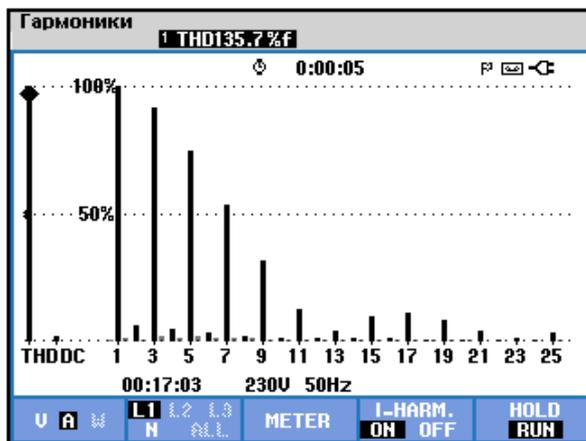
Проведено исследование показателей качества электроэнергии в точках передачи её от энергоснабжающих организаций различным типам зданий и установлено, что наблюдается превышение норм ГОСТ 13109-97 и ГОСТ 32144-2013 в некоторых типах зданий по следующим показателям: отклонение, колебание и несимметрия напряжения. Во всех типах городских зданий наблюдаются как несимметрия токов, так и напряжений.

Третья глава посвящена исследованию влияния ЭП зданий на качество электроэнергии и на эффективность функционирования электротехнических комплексов зданий. Исследования высших гармоник тока, генерируемых различными ЭП зданий (табл.2, рис.2) показало, что наибольшие гармоники создают однофазные нелинейные электроприемники с импульсным режимом работы (телевизоры, ПЭВМ, газоразрядные лампы КЛЛ и светодиодные лампы (СДЛ)).

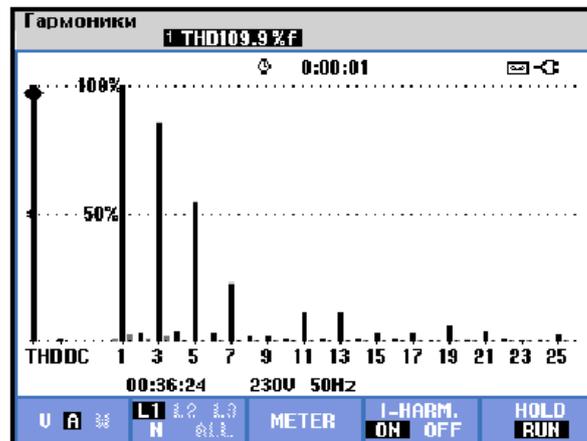
Таблица 2 – Гармоники тока, генерируемые различными ЭП зданий

№ п/п	Наименование ЭП	Токи гармоник в % от первой гармоники						
		3	5	7	9	11	13	15
Электробытовые ЭП								
1	Вентилятор Scarlett SC-178 (45 Вт)	5,1	2,9	0,6	1,4	0,9	0,3	0,2
2	ПЭВМ INTEL Pentium CPU G620 2.6 GHz (450 Вт)	95,2	80,8	62,8	44,8	25,4	10,9	1,3
3	Кондиционер Panasonic CS-E9PKDW (2500 Вт)	59,5	25,3	10,8	9,4	6,3	4,0	2,2
4	Микроволновая печь Samsung CE 2738 NA (2300 Вт)	23,3	4,1	2,8	1,5	1,1	0,8	0,6
5	Телевизор LG (135 Вт)	92,4	76,2	56,1	36,0	17,1	4,7	7,2
6	Телевизор LED LG 42LN655V (110 Вт)	89,6	62,5	32,8	7,3	6,6	11,7	7,3
7	Посудомоечная машина Bosch SPS 40E42 (250 Вт)	65,2	47,3	37,5	36,0	31,6	25,3	21,6
8	Пылесос SAMSUNG VC5853 (1300 Вт)	16,0	4,2	3,9	0,7	0,6	0,4	0,1
9	Стиральная машина ZANUSSI ZWSE 680 V (1100 Вт)	26,4	15,0	6,8	6,1	4,3	7,4	3,4
10	Холодильник Indesit BIA 18 NF (100 Вт)	14,0	6,2	10,5	5,3	1,8	1,1	0,3
11	Вытяжка KRONA BELLA 500 INOX (110 Вт)	23,1	1,7	0,9	1,4	0,9	0,2	0,6
12	Многофункциональное устройство Kyocera TASKalfa 181 (421 Вт)	11,1	6,0	2,8	1,5	1,6	1,9	1,1
Светильники внутреннего освещения с ЛЛ								
13	ЛЛ Т8 2x36 с ЭМПРА (72 Вт)	24,3	4,3	0,8	1,4	1,1	0,3	0,4
14	ЛЛ Т8 2x36 с ЭПРА (72 Вт)	11,4	5,9	1,7	2,8	1,1	0,4	1,1
15	ЛЛ Т8 4x18 с ЭМПРА (72 Вт)	15,8	15,7	5,8	13,6	6,4	4,5	7,5
16	ЛЛ Т5 4x54 с ЭПРА (216 Вт)	6,0	1,3	1,5	4,4	1,5	0,7	0,9
17	Светильник местного освещения ЛЛ G23 с ЭМПРА (11 Вт)	18,7	2,2	1,6	1,3	0,7	0,7	0,7
Светильники наружного освещения								
18	ДНаТ с ЭПРА (120 Вт)	5,0	6,8	3,1	4,3	1,3	0,4	0,6
19	МГЛ с ЭПРА и два светодиодными модулями (100 Вт)	6,1	2,3	1,7	0,6	1,3	1,1	0,8
20	Светодиодный S01/60 Led (60 Вт)	3,7	2,5	0,6	1,9	0,3	0,2	0,3
21	Светодиодный S02/60 Led (60 Вт)	3,4	2,5	0,5	2,1	0,2	0,1	0,3
22	Светодиодный S03/120 Led (120 Вт)	3,2	2,8	0,7	2,1	0,5	0,2	0,5
23	Светодиодный СДУ-80 (80 Вт)	15,1	6,9	4,2	3,2	2,0	1,1	0,6

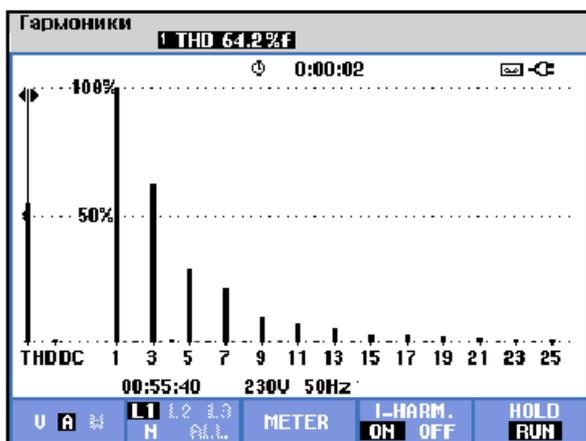
24	Светодиодный Ledburg-2-70 (70 Вт)	10,2	3,2	1,1	2,9	0,7	0,4	0,8
25	Светодиодный LC STREET (55 Вт)	14,3	4,4	2,4	1,6	0,9	0,6	0,6
Газоразрядные лампы (КЛЛ)								
26	КЛЛ NetHaus (Китай) (13 Вт)	84,6	63,0	47,5	42,5	37,3	29,1	21,4
27	КЛЛ Navigato (Китай) (13 Вт)	81,8	59,5	49,8	47,7	39,1	28,0	21,9
28	КЛЛ Econom (Китай) (15 Вт)	83,3	59,6	43,7	39,0	33,6	25,0	17,4
29	КЛЛ ASD (Китай) (20 Вт)	85,9	64,7	47,2	39,9	35,4	28,3	20,2
30	КЛЛ Navigator (Китай) (20 Вт)	80,1	54,0	38,0	32,0	22,5	11,1	7,3
31	КЛЛ Nakai (Япония) (15 Вт)	81,1	59,3	48,7	43,9	33,1	20,9	14,2
32	КЛЛ Nakai (Япония) (11 Вт)	78,9	52,1	35,2	27,4	16,8	7,5	6,5
33	КЛЛ Camelion (Китай) (30 Вт)	82,6	59,6	47,9	48,6	47,1	40,1	33,8
Светодиодные лампы (СДЛ)								
34	СДЛ Navigator (Китай) (25 Вт)	84,2	64,2	52,6	52,1	51,2	45,9	39,6
35	СДЛ Philips (Нидерланды) (4 Вт)	74,4	40,9	12,4	20,4	25,5	18,5	7,3
36	СДЛ Ledare (Китай) (10 Вт)	41,4	33,6	33,4	46,8	39,8	28,0	22,8
37	СДЛ ЭРА (Китай) (8 Вт)	80,1	61,7	48,8	48,2	42,5	35,4	28,5
38	СДЛ Navigator (Китай) (5 Вт)	89,1	73,9	66,1	54,1	48,1	42,2	36,1
39	СДЛ Philips (Нидерланды) (9.5 Вт)	77,8	53,8	44,8	39,8	28,7	17,9	12,4
40	СДЛ Philips (Нидерланды) (8 Вт)	30,9	12,6	6,6	8,3	1,9	0,9	2,9
41	СДЛ OSRAM (Германия) (8 Вт)	7,3	6,8	2,8	3,9	1,1	1,3	2,5
42	СДЛ ASD (Китай) (7 Вт)	42,0	6,7	7,2	3,2	6,1	3,2	4,3
43	СДЛ ASD (Китай) (5 Вт)	38,2	9,0	6,0	10,3	7,4	5,0	3,4
44	СДЛ Philips (Нидерланды) (5 Вт)	73,5	38,7	12,9	21,5	24,9	16,3	7,5
45	СДЛ Philips (Нидерланды) (13 Вт)	50,9	27,8	13,5	7,0	1,9	1,6	3,3
46	СДЛ Navigator (Китай) (10 Вт)	89,0	73,1	60,3	48,4	43,2	38,7	32,4
47	СДЛ Classic Led (Германия) (9 Вт)	40,4	19,5	21,7	32,1	27,1	16,6	15,1
48	СДЛ LED Bulb (Германия) (10 Вт)	50,2	27,6	16,5	33,3	26,7	20,6	5,2



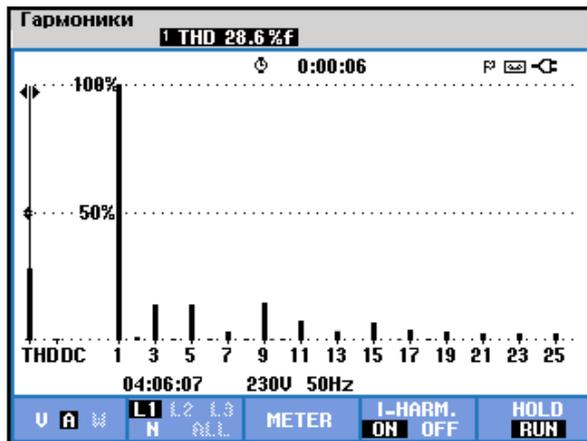
а) ПЭВМ (450 Вт)



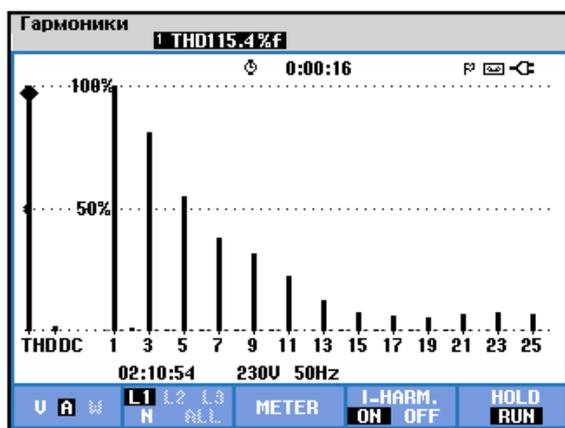
б) Телевизор LED LG (110 Вт)



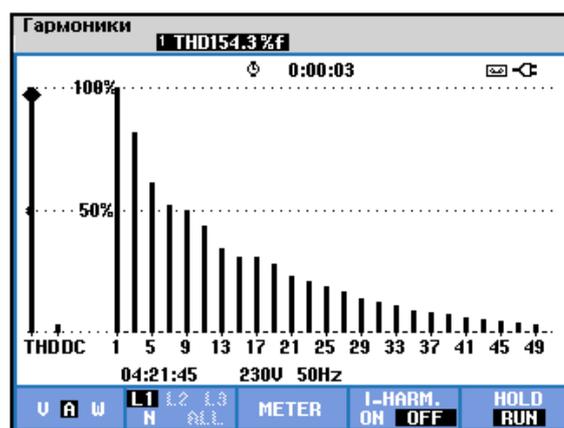
в) Кондиционер Panasonic (2500 Вт)



г) ЛЛ T8 4x18 с ЭМПА (72 Вт)



д) КЛЛ ASD (20 Вт)



е) СДЛ Navigator (25 Вт)

Рисунок 2 – Спектрограммы токов ЭП зданий

Разработаны компьютерные модели узлов нагрузки зданий позволяющие проводить исследования и расчеты уровней гармоник тока и напряжения.

Исследование соотношения токов в фазных и нулевых проводниках зданий при наличии высших гармоник, показало, что высокие уровни ВГ кратным трем (3-й, 9-й, 15-й) приводят к превышению тока в нулевых проводниках над фазными. Это превышение достигает величины $\sqrt{3}$ при симметрии токов по фазам и более 2,0 при несимметрии токов по фазам (табл.3).

Таблица 3 – Соотношение токов в фазах и в нулевом проводнике для различных ЭП зданий при различном их количестве

Тип ЭП	Количество ЭП	I_N	I_Φ	I_N/I_Φ
ПЭВМ	10	45,9	27,3	1,68
	100	460,5	271,2	1,70
	1000	4580	2730	1,68
СВЧ-печи	10	37,33	56,97	0,65
	100	373,3	568,5	0,66
	1000	3733	5684	0,66
КЛЛ	10	1,48	2,56	1,73
	100	15,2	26,1	1,71
	1000	151	260	1,72
ЛЛ 2x36 с ЭмПРА	10	2,80	3,45	0,812
	100	27,61	34,10	0,809
	1000	278	342	0,813
ЛЛ 2x36 с ЭПРА	10	1,36	3,3	0,41
	100	13,4	33	0,40
	1000	133	326	0,40
МФУ	10	8,068	20,36	0,39
	100	80,68	202,5	0,40
	1000	806,8	2024	0,40
СДЛ	10	0,86	0,58	1,48
	100	8,5	5,8	1,47
	1000	85	57	1,49

Установлено, что в ПУЭ п.2.3.52 есть неверная рекомендация по выбору сечения нулевых проводников в городских электрических сетях, допускающая использование для этих целей свинцовую оболочку кабелей. Это приводит к повреждению кабелей питающих здания из-за больших токов гармоник кратным трем.

Проведено исследование влияния обрыва нулевого провода в сетях 380/220 В на эффективность функционирования систем электроснабжения зданий. Установлено, что при наличии однофазных нелинейных ЭП перегорание нулевого провода из-за перегрузки гармониками кратными трем приводит к смещению нейтрали и возрастанию напряжения фаз до $\sqrt{3}U_{ном}$ (табл.4), что может привести к выходу из

стройка ЭП.

Установлено, что во многих старых зданиях применена система заземления TN-C, при которой обрыв нулевого провода приводит к появлению на корпусах ЭП напряжения достигающего $U_{ном}$, что создает большую опасность поражения электрическим током. Поэтому система TN-C должна быть заменена на систему TN-S.

Таблица 4 – Результаты исследования обрыва нулевого провода в сетях 380/220 В

№ п/п	Нагрузка по фазам, кВт			Ток при существующей нагрузке, А					Напряжение в фазах (нормальный режим работы), В			Напряжение в фазах (аварийный режим работы)*, В		
	фаза А	фаза В	фаза С	фаза А	фаза В	фаза С	нулевой провод N	In/I _{фс}	фаза А	фаза В	фаза С	фаза А	фаза В	фаза С
1	6,7	6,7	6,7	27,63	27,63	27,63	0	0	219,3	219,3	219,3	219,3	219,3	219,3
2	0	6,7	6,7	0	27,42	27,49	26,92	0,98	222,2	217,6	218,2	339,9	194,7	194,1
3	0	6,7	33,4	0	28,02	127,7	114,2	0,9	228,3	222,4	207,6	365,9	318,9	81,1
4	0	6,7	66,9	0	28,75	235,7	219,3	0,93	235	228	196	365,1	345,2	42,4
5	0	6,7	70,8	0	28,83	247,2	230,5	0,93	235,7	228,9	195	363,1	346,4	34,4
6	0	0	70,8	0	0	244,9	244,9	1	235,1	231,6	193,2	380	380	0
7	0	0	6,7	0	0	27,27	27,27	1	221,1	220,5	216,5	380	380	0

* аварийный режим работы – произошло перегорание (обрыв) нулевого провода.

Исследование пиковых токов, создаваемых новыми газоразрядными и светодиодными источниками света при их включении, показало, что они не превышают $8 \cdot I_{ном}$ ламп. Это опровергает утверждение ряда авторов, что эти токи могут достигать $(30-100) \cdot I_{ном}$.

Проведено исследование влияния отклонений напряжения на эффективность функционирования ЭП зданий. Установлено, что при отклонениях напряжения в пределах $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ все ЭП работают без сбоев. Построены регрессионные уравнения зависимости потребляемой мощности, светового потока и световой отдачи от отклонений напряжения в пределах $\pm 15\%$ для новых газоразрядных и светодиодных источников света:

для компактных люминесцентных ламп

$$P_{п.л} = P_{л.ном} \cdot (0,93 \cdot K_U + 0,07);$$

$$F_{л.ф} = F_{л.ном} \cdot (0,87 \cdot K_U + 0,13);$$

$$H_{л.ф} = H_{л.ном} \cdot (-0,19 \cdot K_U + 1,19).$$

для люминесцентных ламп Т8 с ЭмПРА

$$P_{п.л} = P_{л.ном} \cdot (2,64 \cdot K_U - 1,64);$$

$$F_{л.ф} = F_{л.ном} \cdot (1,15 \cdot K_U - 0,15);$$

$$H_{л.ф} = H_{л.ном} \cdot (-1,68 \cdot K_U + 2,68).$$

Для светодиодных ламп, а также светильников с ЭПРА $P_{п.л}$, $F_{л.ф}$ и $H_{л.ф}$ остаются постоянными при отклонениях напряжения в пределах $\pm 15\%$ от $U_{ном}$.

Установлено, что на срок службы КЛЛ и СДЛ влияет температура их нагрева в месте установки ПРА. Проведено исследование этой температуры (рис.3 и табл.5), которое показало, что у ламп КЛЛ она выше допустимой (70

°С), что ставит под сомнение их сроки службы указанные в паспортных данных. Эксперимент показал также, что их нельзя устанавливать в закрытых или полужакрытых светильниках, так как температура нагрева резко повышается. Наилучшие условия для работы КЛЛ – открытая установка цоколем вниз.

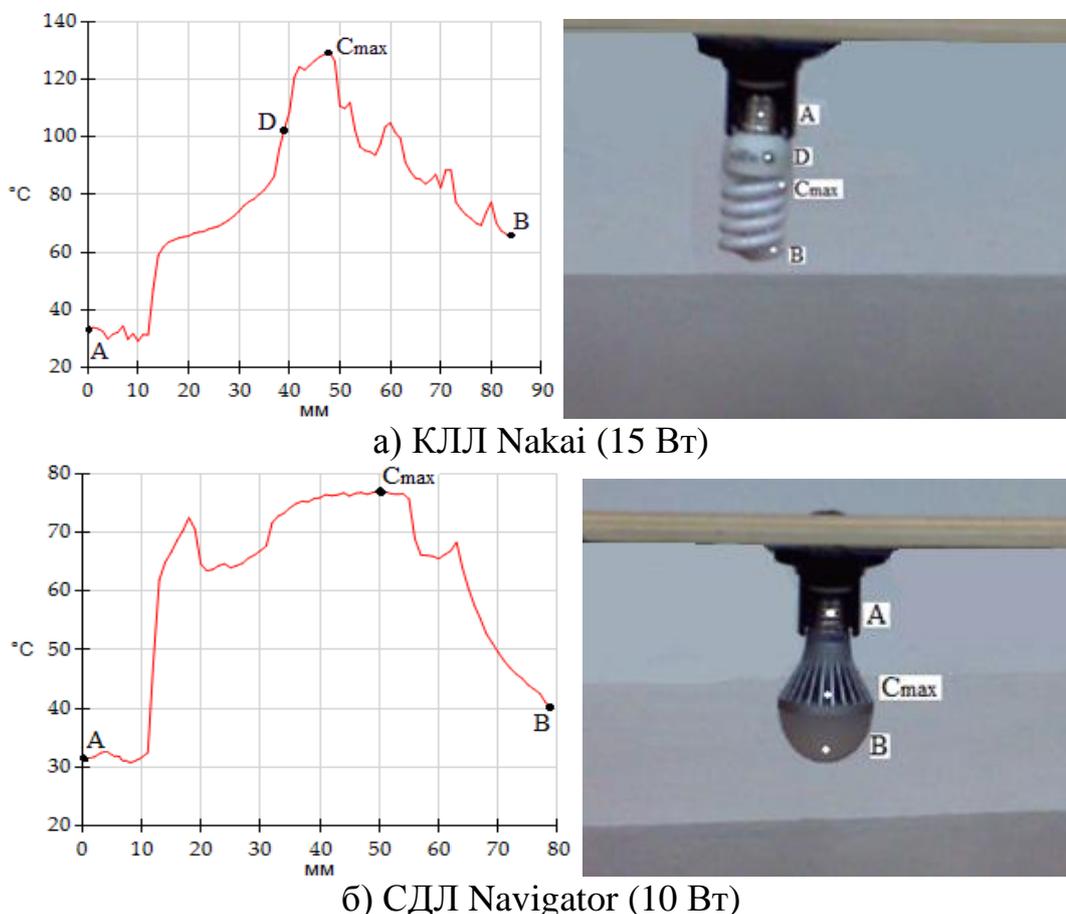


Рисунок 3 – Зависимости распределения температуры вдоль поверхности ламп

Таблица 5 – Результаты исследования температуры нагрева различных ламп

Точки измерения температуры (рис.3, а)	Температура нагрева КЛЛ от положения ламп, °С														
	КЛЛ Nakai, 15 Вт			КЛЛ Navigator, 13 Вт			КЛЛ Navigator, 20 Вт			КЛЛ ASD, 20 Вт			КЛЛ Camelion, 30 Вт		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	32,3	31,6	32,0	33,8	29,6	30,5	31,2	30,2	30,8	31	30	30,1	34,9	33,4	34,1
D	103,8	84,5	92,8	85,3	73,7	77,6	111	95,6	98,3	92,5	79,7	81,1	102,1	93,5	95,3
C _{max}	130,8	105,1	109,4	120,4	96,8	110	154	147	153,1	124,4	108,8	111,1	157	149,8	152,7
B	63,8	98,5	77,4	72,9	82,0	80,5	83,4	90	85,7	90,8	98	90,9	103,9	104,5	104,0
Точки измерения температуры (рис.3, б)	Температура нагрева СДЛ от положения ламп, °С														
	СДЛ Philips, 4 Вт			СДЛ Philips, 5 Вт			СДЛ Philips, 8 Вт			СДЛ Philips, 13 Вт			СДЛ Navigator, 10 Вт		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	31	29,5	30,3	32,1	30,5	31,7	31,4	29,9	30,2	33,4	30,8	31,4	32,5	30,9	31,5
C _{max}	67,8	62,3	64,9	61,4	58,6	58,8	76,1	72,1	75,7	75,3	71,1	71,9	77,0	75,5	76,3
B	38,4	40,3	40,1	40	42,0	40,7	42,1	48,7	44,1	40,4	46,6	42,2	41,3	51,5	47,9

Примечание: Расположение ламп цоколем вверх (I), цоколем вниз (II) и горизонтальным положением ламп (III).

Разработаны рекомендации по выбору сечения электрических сетей 380/220 В и мощности трансформаторов при наличии нелинейных

однофазных ЭП. При выборе сечения сетей необходимо наряду с расчетным током фаз, определять ток в нулевой рабочей жиле. В соответствии с ГОСТ Р 50571.552-2001 если содержание тока третьей гармоники не превышает 15% от первой, то сечение выбирается по току в линейном проводнике по условию $I_p \leq I_{ДД}$. Если содержание тока третьей гармоники находится в пределах 15-33%, то условие выбора $I_p \leq 0,86 \cdot I_{ДД}$. При содержании третьей гармоники больше 33%, сечение кабеля выбирается по току в нулевом рабочем проводнике по условиям: $I_{PN} \leq 0,86 \cdot I_{ДД}$ при токе третьей гармоники в пределах 33-45% и $I_{PN} \leq I_{ДД}$ при токе третьей гармоники более 45% от первой.

В соответствии со стандартом UTE C15-112-2000 при наличии ВГ тока допустимый коэффициент загрузки трансформаторов определяется по выражению:

$$k_{зТ} = 1 / \sqrt{1 + 0.1 \cdot \left(\sum_{n=2}^{40} n^{1.6} \cdot T_n^2 \right)}, \quad (1)$$

где $T_n = I_n / I_1$.

По выражению (1) определены допустимые коэффициенты загрузки при питании нелинейных ЭП: 0,537 при питании ПЭВМ; 0,540 при питании телевизоров; 0,546 при питании КЛЛ; 0,558 при питании СДЛ; 0,951 при питании ЛЛ Т8 с ЭПРА.

На компьютерной модели сети исследованы зависимости коэффициентов искажения напряжения K_U на шинах 0,4 кВ подстанций с трансформаторами 250, 400, 630 и 1000 кВА при различном соотношении линейной и нелинейной нагрузки (ПЭВМ, КЛЛ, СДЛ, ЛЛ с ЭмПРА).

На рис. 4 приведены эти зависимости, позволяющие, зная соотношение этих нагрузок, определять необходимость внедрения мероприятий по снижению высших гармоник.

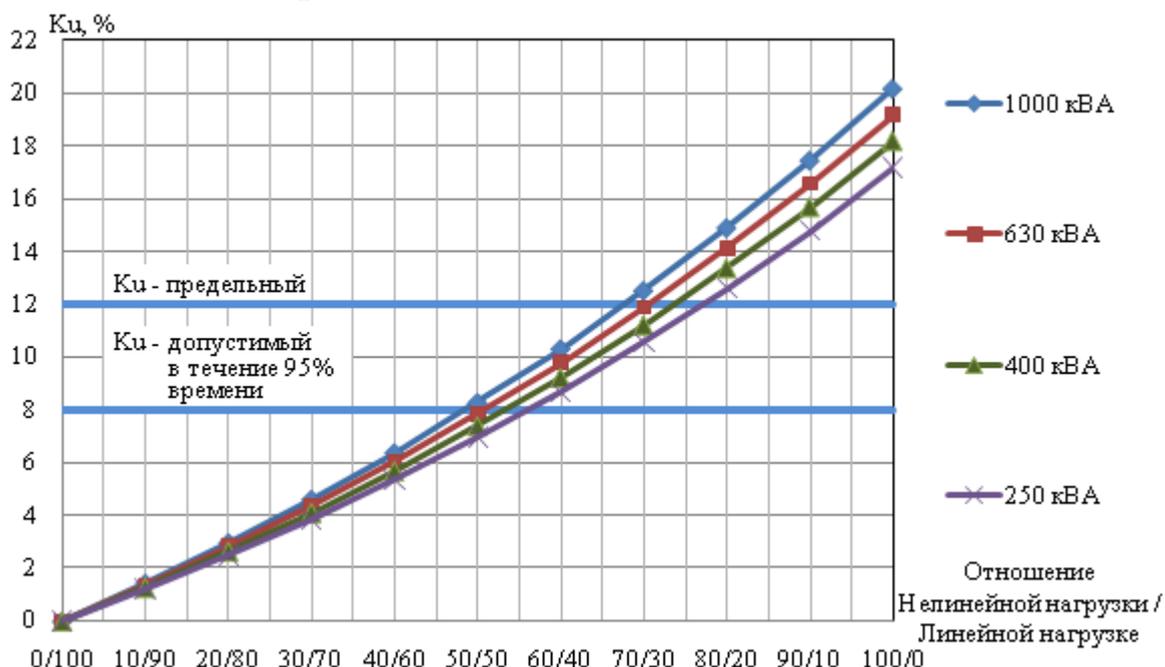


Рисунок 4 – Зависимости коэффициента несинусоидальности напряжения от отношения нелинейной к линейной нагрузке

Четвертая глава посвящена применению маркировки электрооборудования для повышения энергетической эффективности служебных и жилых зданий. Показано, что маркировка энергоэффективности оборудования – это способ классификации и идентификации однотипных изделий по характеристикам энергопотребления с присвоением соответствующего маркировочного знака. Она является основным и наиболее действенным инструментом энергосбережения, движущей силой снижения энергоемкости валового национального продукта и экологического оздоровления окружающей среды. Выполнен анализ российского и зарубежного законодательства в области стандартов и маркировки энергоэффективности электрооборудования зданий. Установлено, что Россия существенно отстает в решении данной проблемы от других промышленно развитых стран, что приводит к высокой энергоемкости нашего ВВП. Маркировка энергоэффективности зданий и их инженерного оборудования применяется более чем в 50 странах мира. Наибольших успехов в области маркировки энергоэффективности достигли страны ЕС. Основным инструментом регулирования вопросов энергетической эффективности в ЕС являются регламенты, директивы и стандарты. В 1992 г. в ЕС была принята Директива 92/75/ЕС, касающаяся маркировки и стандартной информации по потреблению энергии бытовыми приборами. Модель маркировки предлагала информирование потребителей об экономичности продукции, её эксплуатационных характеристиках и разделению однородных бытовых электрических приборов на 7 классов (А, В, С, D, E, F, G). Класс А применяется для обозначения товаров с наибольшей энергетической эффективностью, а класс G с наименьшей энергетической эффективностью. В 2010 г. была принята новая Директива 2010/31/ЕС в которой расширена сфера технического регулирования и включает в себя наряду с бытовой техникой также промышленные и торговые приборы и оборудование. Введены три новых класса энергоэффективности: А+, А++, А+++. Низшие классы (Е- G) из этикетки энергетической эффективности исключаются.

Установлено, что в России ввести маркировку энергоэффективности пытались ещё в 1991 г. Однако не были выработаны механизмы реализации системы маркировки, не определены нормативные показатели энергоэффективности, слабо был продуман перечень оборудования, которое надо маркировать. Поэтому работы по маркировке были приостановлены. Они были продолжены после выхода нового закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» №261-ФЗ от 23.11.2009 г.

Приказами Минпромторга РФ от 29.04.2010 г. №357 и от 12.12.2011 г. №1708 утверждены «Правила определения производителями и импортерами класса энергетической эффективности товара и иной информации о его энергетической эффективности». Эти правила распространяются на следующие ЭП зданий: 1) бытовые холодильники, морозильники и их комбинации; 2) бытовые стиральные машины; 3) бытовые посудомоечные машины; 4) электродуховые шкафы; 5) бытовые кондиционеры; 6) бытовые

электрические лампы; 7) телевизоры; 8) микроволновые печи; 9) бытовые комбинированные стирально-сушильные машины; 10) бытовые приборы для электроотопления; 11) бытовые электроприборы для нагрева жидкостей; 12) мониторы компьютерные; 13) принтеры и копировальные аппараты; 14) лифты; 15) насосы; 16) холодильные установки для централизованных систем кондиционирования воздуха.

Классы энергетической эффективности этих ЭП аналогичны принятым в Директиве ЕС 2010/31/ЕС. В соответствии с Правилами все выше указанные выпускаемые ЭП должны сопровождаться информацией об энергоэффективности с учетом их вида. Изготовителям ЭП должен быть определен класс и характеристики энергетической эффективности.

Информация о классе и характеристиках энергетической эффективности ЭП включается в следующие документы: 1) этикетку энергетической эффективности; 2) стандартную таблицу, содержащую информацию о характеристиках энергетической эффективности. Форма этикетки приведена на рис.5.

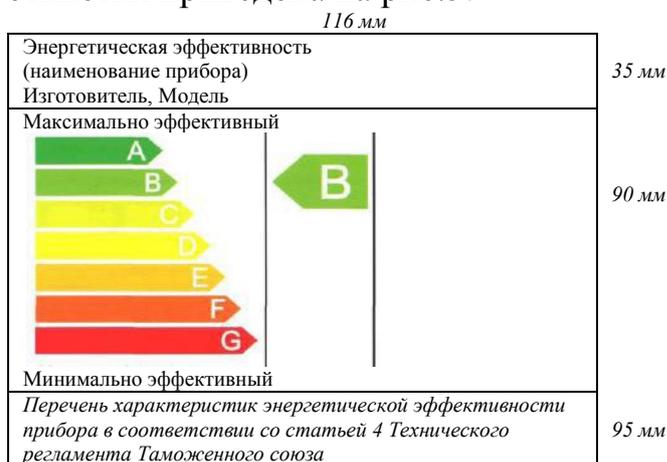


Рисунок 5 – Вид этикетки энергетической эффективности электроприборов

соответственно.

Для каждого класса энергетической эффективности производителями ЭП устанавливаются значения ИЭЭ.

В диссертации рассмотрено, как определяются классы энергоэффективности для всех ЭП зданий в соответствии с Приказами Минпромторга РФ и технического Регламента Таможенного союза.

В ЕС маркировку энергоэффективности применяют не только к ЭП, но и к самим зданиям. Для сравнения энергоэффективности зданий в ЕС применяется критерий, сколько тепловой энергии за год потребляет 1 м² отапливаемой площади зданий.

В России также разработаны четыре стандарта по повышению энергоэффективности зданий, которые являются модифицированными версиями Европейских стандартов.

В СП(EN 15217:2007) «Энергетическая оценка зданий. Методы выражения энергетических характеристик зданий и сертификация

Классы энергетической эффективности ЭП зданий определяются на основании **индекса энергетической эффективности (ИЭЭ)**, который определяется по выражению, в %:

$$ИЭЭ = (W_{г.ф} / W_{г.ст}) * 100,$$

где $W_{г.ф}$, $W_{г.ст}$ – фактическая и стандартная величины, потребления электроэнергии в год данным видом электрооборудования, кВт·ч

энергоэффективности зданий» для оценки энергоэффективности зданий установлено 7 классов энергетической эффективности (А, В, С, D, E, F, G) по относительному отклонению годовых удельных расходов тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение зданий от базового уровня.

В диссертации по аналогии с тепловой энергией, для оценки эффективности зданий по потреблению электроэнергии также предлагается установить 7 классов (табл.6). Базовые уровни удельных расходов приведены в диссертации. Они взяты из СП(EN 15217:2007).

Таблица 6 – Классы энергетической эффективности зданий по потреблению электрической энергии

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения значения фактического (расчетного) удельного годового расхода электроэнергии в здании от базового уровня, %
А	Наивысший	Менее - 40
В	Высокий	От - 40 до -30
С	Повышенный	От -30 до -15
Д	Нормальный	От -15 до 0
Е	Пониженный	От 0 до +25
F	Низкий	От +25 до +50
G	Особо низкий	Более +50

Фактические годовые удельные расходы электроэнергии определяются по следующим выражениям, кВт·ч/м²·год:

для эксплуатируемых зданий

$$W_{уд.ф.зд}^{год} = W_{ф.зд}^{год} / F_{зд}, \quad (2)$$

где $W_{ф.зд}^{год}$ - фактический годовой расход электроэнергии здания, кВт·ч; $F_{зд}$ - полезная площадь здания, м².

Фактический годовой расход электроэнергии здания определяется по выражению, кВт·ч/год:

$$W_{ф.зд}^{год} = W_{эл.п.ф}^{год} + W_{осв.ф}^{год} + W_{охл.ф}^{год} + W_{в.т.ф}^{год}, \quad (3)$$

где $W_{эл.п.ф}^{год}$, $W_{осв.ф}^{год}$, $W_{охл.ф}^{год}$, $W_{в.т.ф}^{год}$ - годовое фактическое потребление электроэнергии на электроприводы инженерных систем (насосы, вентиляторы), на освещение, на охлаждение, на работу вертикального транспорта (лифты, эскалаторы, траволаторы) соответственно.

Разработана методика технико-экономического обоснования внедрения маркировки энергоэффективности ЭП в зданиях, позволяющая правильно выбирать энергоэффективные ЭП с учетом стоимости сэкономленной электроэнергии и стоимости ЭП.

Разработана методика контроля энергетической эффективности зданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой проведено исследование влияния качества электрической энергии и маркировки электроприемников на повышение эффективности использования электроэнергии в электротехнических комплексах служебных и жилых зданий.

На основании проведенных в диссертации теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Проведено исследование: систем электроснабжения, режимов работы электроприемников, графиков электрической нагрузки различных типов зданий и показателей качества электроэнергии в точках её передачи от энергоснабжающих организаций, что позволило выявить ЭП, оказывающие наибольшее влияние на показатели качества электроэнергии и на эффективность её использования.

2. Проведено исследование высших гармоник тока, генерируемых различными электроприемниками городских зданий, и установлено, что наибольшие гармоники тока создают однофазные нелинейные ЭП с импульсным режимом работы (телевизоры, ПЭВМ, газоразрядные лампы КЛЛ, светодиодные лампы). Дан процентный состав ВГ тока различных ЭП.

3. Исследование соотношения токов в фазных и нулевых проводниках, питающих здания при наличии нелинейных ЭП, показало, что высокие уровни гармоник кратных трем (3-й, 9-й, 15-й) приводят к превышению тока в нулевых проводниках над фазными. Это превышение достигает величины 1,73 при симметрии токов по фазам и более 2,0 при несимметрии токов по фазам. Разработаны рекомендации по выбору сечения электрических сетей и мощностей трансформаторов с учетом ВГ тока.

4. Установлено, что в ПУЭ п.2.3.52 есть неправильная рекомендация по выбору сечения нулевых проводников в городских электрических сетях, допускающая использование для этих целей свинцовую оболочку кабелей. Это приводит к повреждению кабелей питающих здания из-за больших токов гармоник кратных трем. Учитывая, что эта рекомендация ПУЭ действует более 30 лет, Ростехнадзору дана рекомендация о проведении ревизии систем электроснабжения всех городских зданий, которые были построены или реконструированы за последние 30 лет. Дана также рекомендация об отмене п.2.3.52 ПУЭ.

5. Исследование влияния обрыва (перегорания) нулевого провода в сетях 380/220 В при системе заземления TN-C, которая широко распространена в зданиях постройки до 1995 г., показало, что при наличии однофазных нелинейных ЭП происходит смещение нейтрали и возрастание напряжения фаз до $\sqrt{3}U_{ном}$, а также к появлению на корпусах зануленных ЭП напряжения достигающего $U_{ном}$, что приводит к выходу из строя вычислительной техники и создает большую опасность поражения электрическим током. Рекомендовано систему TN-C заменять на TN-S.

6. Разработаны рекомендации по определению классов энергетической эффективности для 16 видов электрооборудования зданий определенных Приказами Минпромторга РФ №357 от 29.04.2010 г. и №1708 от 12.12.2011 г.

7. Разработан метод определения классов энергоэффективности зданий по потреблению электрической энергии, позволяющий ранжировать здания не только по потреблению тепловой энергии, но и по потреблению электрической энергии.

Основное содержание диссертации отражено в публикациях:

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК

1. Вагин, Г.Я. Анализ влияния нелинейной однофазной нагрузки на значение тока в нулевом проводе / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, С.Н. Юртаев, **П.В. Терентьев**, В.В. Смирнов // Промышленная энергетика. 2013. – № 12. – С.17-19.

2. Вагин, Г.Я. Влияние качества напряжения на экологические параметры системы освещения / Г.Я. Вагин, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, **П.В. Терентьев** // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-11601>.

3. Вагин, Г.Я. К вопросу о выборе нулевых проводников в городских электрических сетях / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев** // Промышленная энергетика. 2014. – № 2. – С.22-26.

4. Вагин, Г.Я. Влияние качества питающего напряжения на параметры искусственного освещения рабочего места / Г.Я. Вагин, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, **П.В. Терентьев** // Фундаментальные исследования. 2014. – № 3 (часть 2). – С.247-252.

5. Вагин, Г.Я. Исследование высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев**, А.С. Шевченко // Промышленная энергетика. 2014. – № 6. – С.51-55.

6. Лоскутов А.Б. Методика интегральной оценки уровня энергоэффективности непромышленных объектов / А.Б. Лоскутов, Е.Б. Солнцев, С.А. Петрицкий, **П.В. Терентьев** // Инженерный вестник Дона. 2014. №3. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2477>.

7. Вагин, Г.Я. Исследование влияния отклонений напряжения на основные параметры газоразрядных и светодиодных источников света / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев** // Промышленная энергетика. 2014. – № 10. – С.20-27.

Статьи, опубликованные в других изданиях

8. Соснина, Е.Н. Современное состояние и перспективы развития нетрадиционной энергетики в Нижегородской области / Е.Н. Соснина, **П.В. Терентьев** // Возобновляемые источники энергии: материалы всерос. Научной молодежной школы с международным участием / МГУ – Москва, 2010. – С.329-333.

9. Соснина, Е.Н. Нормирование энергоресурсов, как метод энергосбережения / Е.Н. Соснина, **П.В. Терентьев** // Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2012. – С.186-188.

10. Соснина, Е.Н. Комплексный подход к повышению энергетической эффективности объектов бюджетной сферы / Е.Н. Соснина, **П.В. Терентьев** // Будущее технической науки: материалы междунар. молодеж. научно-технической конференции / НГТУ – Н.Новгород, 2012. – С.77-78.

11. Вагин, Г.Я. Исследование высших гармоник тока в городских электрических сетях / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев** // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы научно-технической конференции / НГТУ – Н.Новгород, 2013. – С.27-32.

12. Солнцев, Е.Б. Определение характеристик закона распределения коэффициента использования / Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев**, Н.В. Шешотова // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы научно-технической конференции / НГТУ – Н.Новгород, 2013. – С.47-52.

13. **Терентьев, П.В.** Исследование влияния отклонений напряжения на характеристики энергоэффективных источников света (на примере светодиодных ламп) / П.В. Терентьев // Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2014. – С.258-261.

14. Вагин, Г.Я. Влияние отклонения напряжения на срок службы современных ламп / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев** // Будущее технической науки: материалы междунар. молодеж. научно-технической конференции / НГТУ – Н.Новгород, 2014. – С.70-71.

15. Вагин, Г.Я. К вопросу о повышении энергетической эффективности систем освещения в государственных (муниципальных) учреждениях и учреждения сферы услуг (на примере газоразрядных и светодиодных источников света) / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, **П.В. Терентьев** // Научный конгресс 16-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2014» / Н.Новгород, 2014. – С.90-94.

16. Маслеева, О.В. Зависимость экологических показателей системы освещения от качества напряжения / О.В. Маслеева, **П.В. Терентьев** // Научный конгресс 16-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2014» / Н.Новгород, 2014. – С.105-106.

17. Вагин, Г.Я. Исследования пожарной опасности современных источников света / Г.Я. Вагин, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, **П.В. Терентьев** // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. – С.9-15.

Личный вклад автора. Все основные положения диссертации разработаны лично автором. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: постановка задачи, методы расчета и их анализ [9, 10, 12], исследовательская часть и обработка результатов исследования [6, 8], экспериментальные исследования и их обработка [1-5, 7, 11, 13-17], компьютерное моделирование [1, 11].