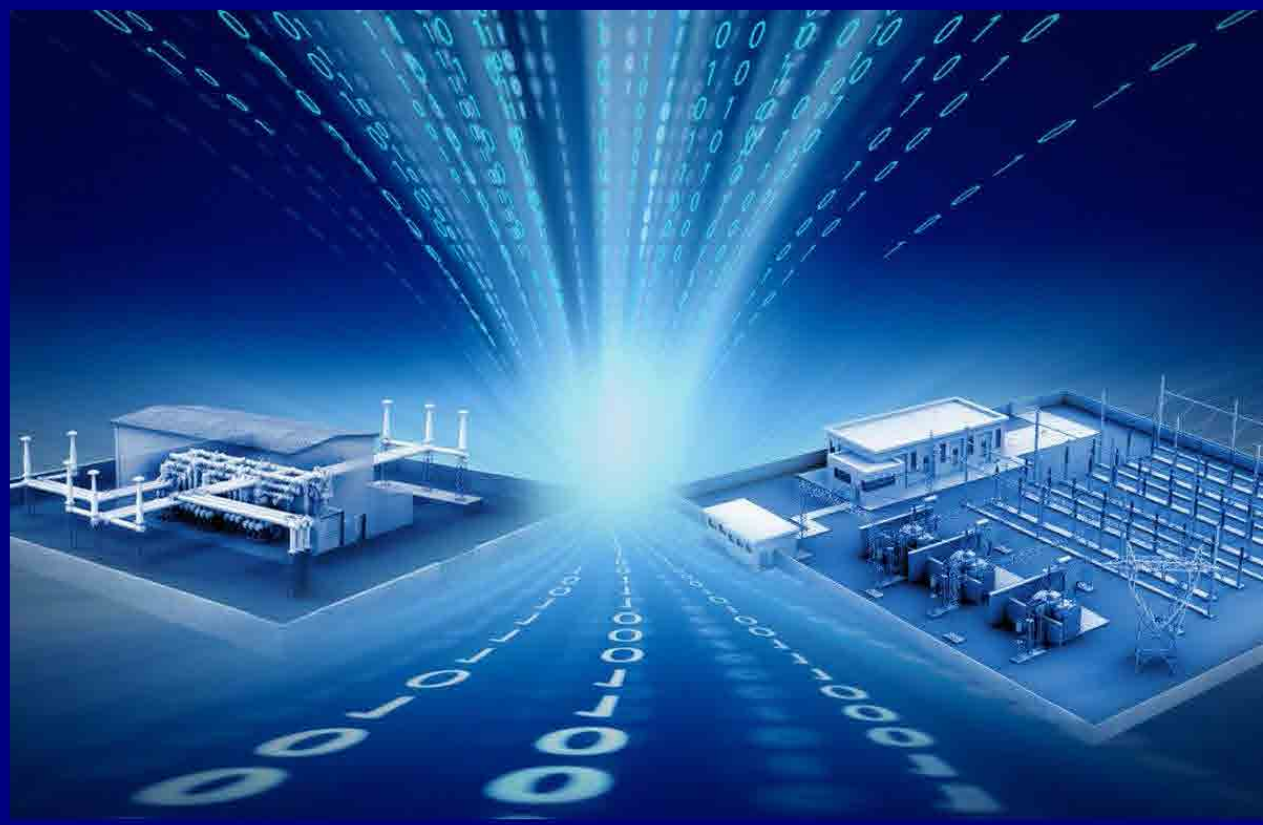


ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-  
ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО –  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

26 февраля 2020 г.

Липецк

Липецкий государственный технический университет

12+

2020

**УДК 621.3**

**Рецензенты:** С.Ю. Петрова, к.т.н., доцент;  
В.Ф. Калинин, д.т.н., профессор.

Энергетика будущего – цифровая трансформация. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. 26 февраля. – Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2020. – 123 с. – Текст : электронный.

**ISBN 978-5-00175-019-2**

В сборнике представлены статьи научно-практической конференции по техническому направлению.

УДК 621.3

**Издано в авторской редакции**

**ISBN 978-5-00175-019-2**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО — ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»****26 февраля 2020 г.****ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ****Председатель:**

**Кузенков С.Е.** – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям, ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.

**Члены оргкомитета:**

**Зацепина В.И.** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование», ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

**Шпиганович А.Н.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование», ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

**Зимовец А.И.** – начальник управления сервиса, руководитель Учебного центра ООО «НТЦ «Мехатроника», г. Санкт-Петербург;

**Зацепин Е.П.** – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Электрооборудование», ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

**Петрова С.Ю.** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Интеллектуальные сети энергоснабжения», ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь;

**Эзирбаев Т.Б.** – кандидат технических наук, доцент, и.о. директора института энергетики ФГБОУ ВО Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, г. Грозный;

**Табачникова Т.В.** – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Электро- и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск;

**Инаходова Л.М.** – кандидат технических наук, доцент, директор филиала в г. Белебей, ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет, г. Белебей;

**Бородин М.В.** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел.

Подготовлено к печати Липецким государственным техническим университетом

Адрес редакции:

398055, Липецк, ул. Московская, 30.

E-mail: [kaf-eo@stu.lipetsk.ru](mailto:kaf-eo@stu.lipetsk.ru)

Контактные телефоны: (4742) 32–80–48; 32–80–49

Факс: (4742) 32–80–48

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |   |     |
|---|----|---|-----|
| <b>Виноградов Д.Л., Зацепина В.И.</b> Повышение надежности электрооборудования путем применения методов диагностики.....  | 6  | <b>Сластухин В.В.</b> Проблема надежности энергосистем среднего класса напряжения.....  | 60  |
| <b>Гаврина О.А., Каджаев О.В., Муртазов Р.С., Киргуев Д.А.</b> К вопросу исследования режимов электропотребления на промышленных предприятиях.....  | 9  | <b>Хазиев С.Р., Табачникова Т.В., Швецов Л.В.</b> Применение трансформаторов с пониженными потерями в сердечниках с целью повышения энергоэффективности энергообъектов ГК Татнефть..... | 65  |
| <b>Деревнина В.С., Зацепина В.И.</b> Умные сети.....  | 12 | <b>Плиева М.Т., Кабисов А.А., Хамиков З.Э., Базиев А.Ю.</b> Определение емкостного тока замыкания на землю в электрической сети энергетической системы.....                             | 68  |
| <b>Кагдин А.Н., Тулупов К.И.</b> Солнечная энергетика в многоквартирных жилых домах.....  | 15 | <b>Каверза К.Б., Зацепина В.И.</b> Цифровизация энергетики.....   | 72  |
| <b>Зацепина В.И., Горячев Д.А.</b> Повышение энергоэффективности за счёт использования ВИЭ.....   | 19 | <b>Акуленко М.А., Еникеева Э.Р.</b> Изменение алгоритма схемы автоматического ввода резерва подстанций с целью снижения затрат на электроэнергию.....                                   | 73  |
| <b>Клюев Р.В., Абаев Г.Я., Нгаке Ф.С.-Э, Кумсиев Д.А.</b> Разработка мероприятий по снижению максимальной мощности на промышленных предприятиях.....  | 23 | <b>Астанин С.С., Зацепина В.И., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А.</b> Анализ взаимосвязи эффективности систем автоматики и управления с эффективностью электропитания предприятий.....   | 76  |
| <b>Климентьев В.В., Зацепин Е.П.</b> Энергоэффективность солнечной микрогенерации частных лиц.....  | 26 | <b>Инаходова Л.М., Казанцев А.А., Макарова Т.В.</b> Повышение энергоэффективности электрических сетей при применении современных конструкций силовых трансформаторов.....               | 80  |
| <b>Кустов А.Н., Зацепина В.И.</b> Программный комплекс AUSRÜSTUNGSDIAGNOSE POWIFI для автономной диагностики состояния уличного освещения.....  | 30 | <b>Бородин М.В., Коренков Н.В.</b> Единая информационная система цифровизации и визуализации трансформаторных подстанций 10(6)/0,4 кВ.....  | 84  |
| <b>Котельников Д.Ю., Воронин Д.Ю.</b> Оценка динамики энергопотребления при использовании методов интеллектуального анализа данных.....   | 33 | <b>Инаходова Л.М., Фролов А.Л., Фролов К.В.</b> Сравнительный анализ вариантов конструктивных решений криостата для сверхпроводящего силового трансформатора с ВТСП обмотками.....      | 88  |
| <b>Виноградов А.В., Лансберг А.А.</b> Описание аварийного режима работы демонстрационно-лабораторного стенда «интеллектуальные электрические сети на основе мультиточечных коммутационных систем» при повреждении между солнечной электростанцией и 1МКС-4..... | 37 | <b>Зацепин Е.П., Уваров Г.Г.</b> BIM-технологии: проблемы применения в России.....  | 93  |
| <b>Зацепина В.И., Корнеев П.И., Максимов Р.С.</b> Разработка алгоритма интеллектуальной системы управления для эффективного распределения ЭЭ на уровне постоянного тока.....  | 42 | <b>Воронин М.С., Рычков А.В.</b> Анализ основных проблем системы умного города в области электроэнергетики.....   | 95  |
| <b>Петрова С.Ю.</b> Анализ алгоритмов машинного обучения для сегментации типологии сети РЭС.....  | 46 | <b>Уваров С.А., Кобелев А.В.</b> Использование вольдобавочного оборудования для повышения качества электроэнергии.....  | 97  |
| <b>Плиева М.Т., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т., Силаев В.И.</b> Исследование работы воздушных линий электропередач в условиях различных температурных режимов.....   | 53 | <b>Седых К.В., Зацепин Е.П.</b> Интеграция сенсорных сетей в систему MICRO GRID.....  | 100 |
| <b>Зацепина В.И., Польшников В.В.</b> Повыше-   |    |   |     |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Урвачев Н.С., Зацепин Е.П.</b> Энергосбережение в системах освещения.....                            | 102 |
| <b>Стаценко Р.А., Зацепин Е.П.</b> Проблемы цифровизации энергетики в России.....                       | 104 |
| <b>Сухатерин В.В., Зацепина В.И.</b> Тенденция развития возобновляемых источников энергии.....          | 106 |
| <b>Грачёва Е.И., Лямзина Д.Ю.</b> Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах                    |     |
| внутризаводского электроснабжения.....  | 109 |
| <b>Калинина Ю.А., Зацепина В.И.</b> Энергосбережение в системе производственного освещения.....         | 113 |
| <b>Санксарян Н.Ж., Зацепина В.И.</b> Восполняемые и невосполняемые топливно-энергетические ресурсы..... | 115 |
| <b>Хатунцев Е.К., Зацепина В.И.</b> Энергосбережение в системах вентиляции.....                         | 120 |

необходимо сыграть весомую роль в разработке и реализации устройств стимулирования применения альтернативных источников энергии. При всем этом, необходимо учитывать опыт зарубежных стран, которые успешно внедряют технологии по производству энергии из возобновляемых источников.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Барينو́ва, В.А.** Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире / В.А. Баринова, Т.А. Ланьшина // Российское предпринимательство, 2016. – С. 259-270. – Текст : непосредственный.
2. **Ананьева, М.А.** Возобновляемые источники энергии: перспективы развития и меры государственной поддержки / М.А. Ананьева // Экология и экономика, 2013. – С. 247-248. – Текст : непосредственный.
3. **Шклярук, М.С.** Возобновляемая энергетика: экономические инструменты поддержки и оценка их нормативно-правового закрепления. / Шклярук М.С. – Санкт-Петербург, 2013. – 46 с. – Текст : непосредственный.
4. **Чернышев, А.В.** Стимулирование использования возобновляемых источников энергии и факторы, препятствующие развитию нетрадиционной энергетике в России / А.В. Чернышев // Творчество молодых ученых, 2013. – С. 160-164. – Текст : непосредственный.
5. **Седаш, Т.Н.** Возобновляемые источники энергии: стимулирование инвестиций в России и за рубежом / Т.Н. Седаш // Российский внешнеэкономический вестник, 2016. – С. 50-56. – Текст : непосредственный.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии (ВИЭ), инновации

Сведения об авторах

Сухатерин Виталий Вячеславович – магистрант кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета.

e-mail: vizats@gmail.com.

Адрес: Липецк, Московская, 30.

УДК 621

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Казанский государственный энергетический университет

Грачёва Е.И., Лямзина Д.Ю.

*В статье исследуются основные особенности компоновки электрооборудования цеховых сетей внутризаводского электроснабжения с определением показателей группы цеховых потребителей, присоединенных к одному центру питания, влияющие на выбор структуры схем участков цеховых сетей. Представлены наиболее значительные факторы роста потерь мощности холостого хода в процессе эксплуатации. Проведено технико-экономическое сопоставление вариантов схем внутризаводского электроснабжения при установленных двух трансформаторах меньшей мощности вместо одного и расчетным*



*путем доказана целесообразность такой замены для повышения эффективности функционирования оборудования и определен расчетный срок окупаемости капитала вложений.*

## **Введение**

В настоящее время приобретает важное значение постановка задачи незначительной загрузки электроустановок внутризаводского электроснабжения [1].

Снижение загрузки цеховых трансформаторов ведет к увеличению потребления реактивной мощности, следовательно, энергетическому персоналу требуется контролировать эксплуатационные характеристики трансформаторов с рациональной загрузкой - с целью снижения требуемой реактивной мощности, а также для уменьшения потерь активной мощности холостого хода [2].

## **Теория вопроса**

Наиболее значительными факторами роста потерь мощности холостого хода трансформаторов принято считать следующие:

1. Старение стальных конструкций вследствие нагревания магнитопроводов.
2. Механические причины воздействий на стальные конструкции (вибрационные и другие).
3. Старение магнитопровода, вследствие чего межлистовая изоляция нарушается и повреждается.
4. Нарушение изоляционных материалов шпилек.
5. Усадка стальных конструкций в магнитопроводе, ввиду чего ослабляется его прессовка, а также ослабляется опрессовка стыковых конструкций.
6. Старение и нарушение целостности материалов стыковых прокладок [3].

## **Методика проведения исследований**

В настоящее время в системах электроснабжения существует тенденция увеличения уровня потерь электроэнергии, поэтому уменьшение потерь в трансформаторах даже на несколько процентов даст значительный экономический эффект [4-7].

Для получения рациональных режимов эксплуатации трансформаторов недогруженные цеховые трансформаторы заменяют на трансформаторы, рассчитанные на меньшую номинальную мощность, переключают потребителей, питающихся от малозагруженных трансформаторов на установленные рядом с нагрузкой трансформаторы, а также отключают трансформаторы на период эксплуатации в режиме холостого хода [8-10].

## **Описание метода исследований**

Проведем технико-экономическое сопоставление вариантов схем электроснабжения при установленных двух трансформаторах меньшей мощности вместо одного для определения целесообразности такой замены (рис. 1 и 2).

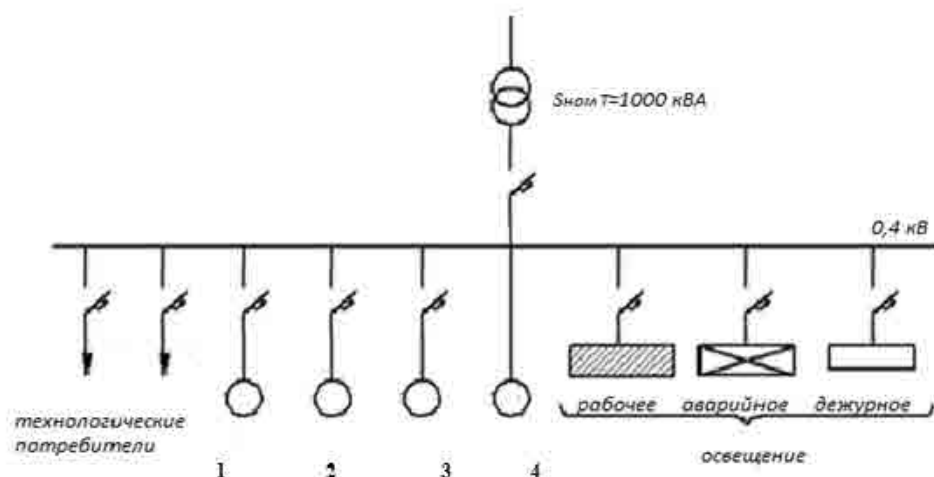


Рис.1. Схема электроснабжения при установке одного трансформатора с  $S_{\text{номТ}}=1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ , где 1 – вентиляторы, 2 – компрессоры, 3 – насосы, 4 – сварочное электрооборудование.

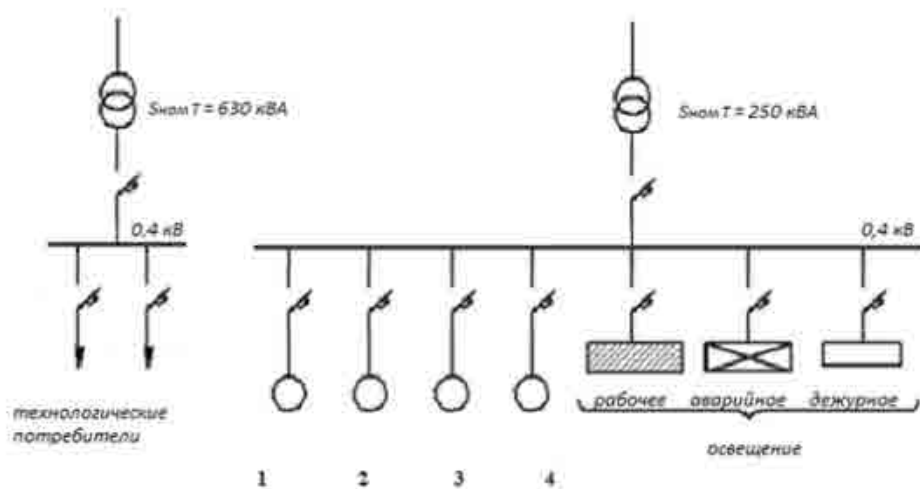


Рис.2. Схема электроснабжения при установке двух трансформаторов с  $S_{\text{номТ}}=630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  и  $S_{\text{номТ}}=250 \text{ кВ}\cdot\text{А}$

Определим потери электроэнергии в цеховых трансформаторах для схем (рис. 2 и 3).

Рассчитаем потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_k \cdot k_3^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P_X$  – потери мощности холостого хода трансформатора;  $\Delta P_k$  – потери мощности короткого замыкания трансформатора;  $k_3^2$  – коэффициент загрузки.

Исходя из выражения (1), возможно вычислить суммарные потери активной и реактивной электроэнергии

$$\Delta W = \Delta P_{\text{рабоч}} \cdot T_{\text{рабоч}} + \Delta P_{\text{нерабоч}} \cdot T_{\text{нерабоч}} \quad (2)$$



$$\Delta V = \Delta Q_{\text{рабоч}} \cdot T_{\text{рабоч}} + \Delta Q_{\text{нерабоч}} \cdot T_{\text{нерабоч}}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{рабоч}}$ ,  $\Delta P_{\text{нерабоч}}$ , – потери активной мощности за рабочие и нерабочие интервалы времени;  $\Delta Q_{\text{рабоч}}$ ,  $\Delta Q_{\text{нерабоч}}$  – потери реактивной мощности за рабочие и нерабочие интервалы времени;  $T_{\text{рабоч}}$ ,  $T_{\text{нерабоч}}$  – рабочие и нерабочие интервалы времени.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Общие потери электроэнергии в трансформаторах

| Вариант | $S_{\text{номТ}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ | $S_{\text{р}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ | $k_3^2$ | $I_{\text{т}}, \text{А}$ | $\Delta P_{\text{рабоч}}, \text{кВт}$ | $\Delta P_{\text{нерабоч}}, \text{кВт}$ | $\Delta Q_{\text{рабоч}}, \text{кВар}$ | $\Delta Q_{\text{нерабоч}}, \text{кВар}$ | $\Delta W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$ | $\Delta V, \text{кВар}\cdot\text{ч}$ | $\text{tg}\varphi$ |
|---------|---|--|---------|--------------------------|---------------------------------------|---|--|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 1       | 1000                                      | 700                                    | 0,5     | 1843                     | 30                                    | 5                                       | 56,95                                  | 31,43                                    | 1987,2                              | 6439,7                               | 0,09               |
| 2       | 630                                       | 539                                    | 0,7     | 1419                     | 24                                    | -                                       | 37,89                                  | -  | 1076,50                             | 1705,06                              | 0,07               |
|         | 250                                       | 160                                    | 0,4     | 432                      | 7                                     | 1                                       | 10,3                                   | 5,99                                     | 529,90                              | 1203,98                              | 0,07               |

Результаты исследований показали, что для схемы отдельного питания потребителей от двух трансформаторов, экономия электроэнергии за рабочий интервал времени в одну неделю составит 380,8 кВт·ч и 3530,7кВ·Ар·ч.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что для повышения эффективности эксплуатации систем внутризаводского электроснабжения целесообразно производить замену одного трансформатора, питающего цеховую технологическую и круглосуточную нагрузку потребителей на два трансформатора с меньшей суммарной номинальной мощностью с учетом их оптимальной загрузки. Предлагаемые мероприятия позволяют снизить суммарные потери электроэнергии и уменьшить эксплуатационные издержки. При этом срок окупаемости разработанных мероприятий по экономии электроэнергии для рассматриваемого примера составил 3,7 месяца.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Грачева, Е.И.** Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей / Е.И. Грачева, О.В. Наумов // Монография. – Москва: РУСАЙНС, 2017. – 168 с. – Текст : непосредственный.
2. **Грачева, Е.И.** Сравнительный анализ наиболее распространенных детерминированных методов определения потерь электроэнергии в цеховых сетях / Е.И. Грачева, З.М. Шакурова, Р.Э. Абдуллазянов. – Текст : непосредственный // Проблемы энергетики. – 2019. – № 5. – С. 87-96.

3. **Конюхова, Е.А.** Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры). Издательство «Кронус», 2016. – 147 с. – Текст : непосредственный.
4. **Скоморохов, П.И.** Оценка безотказности систем электроснабжения с продолжительным режимом работы / П.И. Скоморохов // Молодежь и XXI век: материалы V Международной молодежной научной конференции 26-27.02.15, в 3-х томах, Том 3. – 2015. – Курск: Юго-Зап. Гос. Ун-т., ЗАО «университетская книга», С. 237-240. – Текст : непосредственный.
5. **Lasso, H., Ascanio, C., Guglia, M.** A model for calculating technical losses in the secondary energy distribution network // IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. - P. 1-6. – Текст : непосредственный.
6. Сайт Барнаульского трансформаторного завода. – Режим доступа: <http://www.aem22.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Текст : электронный.
7. **Конюхова, Е.А.** Экономико-математическая модель рабочей части системы электроснабжения объекта на среднем и низком напряжении / Е.А. Конюхова. – Текст : непосредственный // Электричество. – 2018. – № 9. – С. 12-15.
8. **William H. Kersting.** Distribution System Modeling and Analysis. – Second Edition. CRC Press, 2007. – Текст : непосредственный.
9. Инновации и развитие. Россети // Электроэнергия. Передача и распределение, 2017. – 147 с. – Текст : непосредственный.
10. **Kabalci, Y.** A survey on smart metering and smart grid communication / Y. Kabalci. – Текст : непосредственный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Т. 57. – С. 302-318.

Ключевые слова: трансформатор, экономия электроэнергии, коэффициент загрузки, эффективность эксплуатации, отдельное питание, технико-экономические параметры.

#### Сведения об авторах

Грачёва Елена Ивановна – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Казанского государственного энергетического университета.

Лямзина Дарья Юрьевна – магистрант кафедры электроснабжения промышленных предприятий Казанского государственного энергетического университета.

e-mail: [erp.kgeu@mail.ru](mailto:erp.kgeu@mail.ru)

Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51

УДК 621

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

**Калинина Ю.А., Зацепина В.И.**

### Введение

На сегодняшний день вопросы энергосбережения и энергоэффективности являются очень важными и приоритетными. Потребность современного общества в энергии непрерывно растет, что в свою очередь ведет к быстрому сокращению не возобновляемых источников, ухудшению экологии, изменению кли-