

# АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ОПЫТА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 220–750 КВ

АВТОРЫ:

А.Р. ХРИСТИНИЧ,  
ФИЛИАЛ ПАО «ФСК  
ЕЭС» — МЭС СИБИРИ

А.Г. СТЕПАНОВ,  
К.Т.Н.,  
ФИЛИАЛ ПАО «ФСК ЕЭС»  
КРАСНОЯРСКОЕ ПМЭС

Р.М. ХРИСТИНИЧ,  
Д.Т.Н.,  
ФГБОУ  
ВО «КРАСНОЯРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Е.В. ХРИСТИНИЧ,  
К.Т.Н.,  
ФГБОУ  
ВО «КРАСНОЯРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Робот патрулирует работу  
трансформаторной подстанции  
в китайской провинции Аньхой

**С**истемы собственных нужд подстанции обеспечивают бесперебойную работу ее основного и вспомогательного оборудования. Многообразие

видов токоприемников собственных нужд создает обширное поле деятельности для задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** собственные нужды подстанций; снижение расхода электроэнергии; энергоэффективность; интеллектуальная система; энергосбережение.



## ВВЕДЕНИЕ

В 2013 г. Правительством РФ распоряжением от 3 апреля № 511-р утверждена Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации, разработанная на период до 2030 г. Особое внимание в стратегии уделено комплексному подходу к повышению эффективности электросетевого комплекса: передаче и распределению электрической энергии в совокупности с генерацией и сбытом электрической энергии.

Основная цель повышения эффективности электросетевого комплекса включает надежное, качественное и доступное электроснабжение потребителей. Достижение поставленной цели возможно посредством организации соответствующей мировой стандартам эффективной сетевой инфраструктуры передачи электрической энергии, обеспечивающей приемлемый уровень затрат на электроэнергию и инвестиционную привлекательность отрасли.

Согласно статистическим данным, потребление электроэнергии за последние годы неуклонно увеличивается на 0,7 % в год (табл. 1) [1].

Одним из направлений увеличения энергообеспечения в России является повышение эффективности работы системы собственных нужд (СН) трансформаторных подстанций (ПС) и снижение расхода электрической энергии на СН ПС до 50 % на существующих объектах и до 80 % на строящихся [2]. Это дает предпо-

## РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПО ПРЕДПРИЯТИЯМ ПАО «ФСК ЕЭС» — ФИЛИАЛ МЭС СИБИРИ

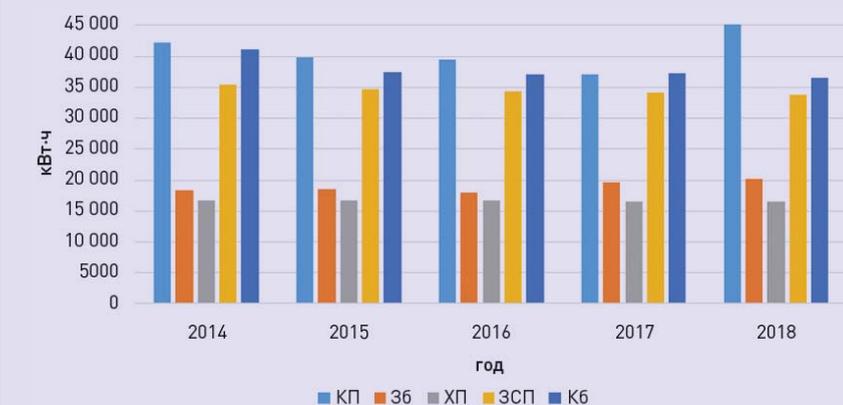


Рис. 1

сылки для более рационального использования электроэнергии на СН ПС, повышения эффективности утилизации энергетических потерь в оборудовании ПС и применения утилизированных энергетических ресурсов на ПС.

## НОМЕНКЛАТУРА СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИИ

К СН ПС относится потребление электроэнергии электроприемниками, установленными на ПС и обеспечивающими нормальную работу ее оборудования, и жизнедеятель-

ность обслуживающего персонала. Целью нормирования расхода электроэнергии на СН ПС является упорядочение системы его учета, контроля и планирования, а также осуществление режима экономии и рационального расходования электроэнергии токоприемниками СН. Нормы расхода электроэнергии на СН ПС приведены в инструкции РД.34.09.208 [3]. Численные значения норм расхода электроэнергии на СН ПС зависят от климатических условий и нормируются по восьми районам России. Инструкция выделяет 23 типа электроприемников, осуществляющих различные технологические операции на трансформаторных ПС, которые по способу нормирования могут быть объединены в две группы.

К первой группе относятся электроприемники, расход электроэнергии которых нормируется в расчете на одну ПС в зависимости от ее высшего напряжения. Ко второй группе относятся электроприемники, расход электроэнергии которых нормируется в расчете на единицу

## ПРОГНОЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ

Год	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Потребление, млрд кВт·ч	1055	1061	1068	1070	1072	1075	1078

Таблица 1

## КЛАССИФИКАЦИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ОБЪЕКТАМ ПС

№ п/п	Виды расхода электроэнергии по объектам
<b>1</b>	<b>Общеподстанционный расход электроэнергии:</b>
1.1	обогрев, вентиляция и освещение оперативного пункта управления
1.2	обогрев помещения оперативных выездных бригад
1.3	обогрев закрытого распределительного устройства
1.4	обогрев помещения насосной станции пожаротушения
1.5	наружное освещение ПС
1.6	прочий расход — текущий ремонт, устройства регулирования под нагрузкой, дистилляторы, вентиляция закрытых распределительных устройств, обогрев и освещение проходной
<b>2</b>	<b>Расход электроэнергии на охлаждение трансформаторов:</b>
2.1	обдув и охлаждение трансформаторов и автотрансформаторов
<b>3</b>	<b>Расход электроэнергии на обогрев оборудования:</b>
3.1	обогрев выключателей
3.2	обогрев приводов отделителей и короткозамыкателей
3.3	обогрев ячеек КРУН, релейных шкафов и электросчетчиков (при необходимости)
3.4	обогрев приводов разъединителей
<b>4</b>	<b>Расход электроэнергии на обогрев и вентиляцию компрессорной и обеспечение работы пневмопривода воздушных выключателей:</b>
4.1	обогрев помещения компрессорных (при наличии)
4.2	обогрев воздухохранилищ
4.3	вентиляция компрессорной
4.4	расход на электродвигатели компрессоров
4.5	расход на пневмоприводы масляных выключателей
<b>5</b>	<b>Расход на вспомогательные устройства синхронных компенсаторов и отопление здания:</b>
5.1	обогрев здания для вспомогательных устройств синхронных компенсаторов
5.2	расход на вспомогательные устройства синхронных компенсаторов
<b>6</b>	<b>Расход электроэнергии на систему управления ПС:</b>
6.1	вентиляция аккумуляторной
6.2	зарядно-подзарядные устройства (при необходимости)
6.3	оперативные цепи и цепи управления
6.4	аппаратура связи и телемеханики

Таблица 2

оборудования в зависимости от его напряжения.

Более практичным является классифицирование расхода электроэнергии СН по его объектам: в одну группу объединяют всех потребителей ПС, связанных с эксплуатацией воздушных выключателей, в другую — оборудование, связанное с эксплуатацией синхронных компенсаторов

и т. д. При такой классификации выделяются следующие составляющие расхода электроэнергии на СН ПС (табл. 2).

Расход электроэнергии на СН ПС 220–750 кВ в год составляет около 1 млрд кВт·ч, что не превышает 5 % от суммарных технологических потерь электроэнергии ПАО «ФСК ЕЭС» [4].

В 2017 г. сертифицирована система энергетического менеджмента ПАО «ФСК ЕЭС» и всех филиалов на соответствие требованиям международного стандарта ISO 50001:2011, что является высоким показателем оценки эффективности управления энергосбережением в компании.

Одним из основных приоритетов деятельности филиала ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Сибири является реализация мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности работы объектов. В рамках выполнения мероприятий разработана Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «ФСК ЕЭС» на период 2020–2024 гг.

Расход электроэнергии на СН ПС филиала ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Сибири по всем входящим в его состав предприятиям, включая Кузбасское (КБП), Красноярское (КП), Западно-Сибирское (ЗСП), Забайкальское (ЗБП) и Хакасское (ХП) предприятия, составил 152,277 млн кВт·ч за 2018 г. Динамика изменения расхода электроэнергии на СН ПС предприятиями филиала ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Сибири в 2014–2018 гг. представлена на рис. 1, а динамика изменения расхода по месяцам на Красноярском предприятии за тот же период по месяцам отражена на рис. 2.

На рис. 3 приведены значения удельного расхода электрической энергии на СН ПС.

Разработка и внедрение специальных мероприятий по снижению расхода электроэнергии на СН ПС МЭС Сибири привели к качественному повышению эффективности эксплуатируемого оборудования и уменьшению удельного расхода электроэнергии на СН ПС с 2010 по 2018 г. на 29,16 %.

Увеличение расхода электроэнергии на СН ПС в некоторые годы обусловлено объективными причинами, не зависящими от реализуемых мероприятий, направленных на энергосбережение, — изменением режима работы сети, температуры наружного воздуха летом и зимой.

Нарастающим итогом целевые показатели за 2018 г. перевыполнены в сравнении с плановыми значениями, установленными Программой энергосбережения ПАО «ФСК ЕЭС» (табл. 3).

При реализации проекта ПАО «ФСК ЕЭС» «Энергоэффективная под-

станция» применяемые подходы по снижению расхода электроэнергии на СН ПС в ближайшие годы потребуют повышения эффективности мероприятий путем совершенствования системы нормирования расхода электроэнергии на СН, разработки новых нормативов расхода, отражающих фактические режимы работы оборудования ПС [5], внедрения новых технологий, в том числе оборудования по сокращению и рекуперации потерь, современных интеллектуальных средств автоматизации и управления оборудованием ПС и объединения их в систему, например, SMART GRID.

## МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Мировое развитие электроэнергетической системы направлено на снижение электрических потерь во всех элементах сети, а также на рациональное использование и утилизацию затраченной электроэнергии СН в оборудовании ПС. С середины 2000-х гг. наблюдается интенсивное развитие технологий оптимизации электропотребления на СН ПС и их энергоэффективной утилизации. Лидерами в этом направлении являются страны Европы, США, Китай.

Одним из прогрессивных направлений эффективного использования электроэнергии СН является применение интеллектуальных систем в управлении оборудованием су-

## РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПО КРАСНОЯРСКОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ ФИЛИАЛА ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС СИБИРИ

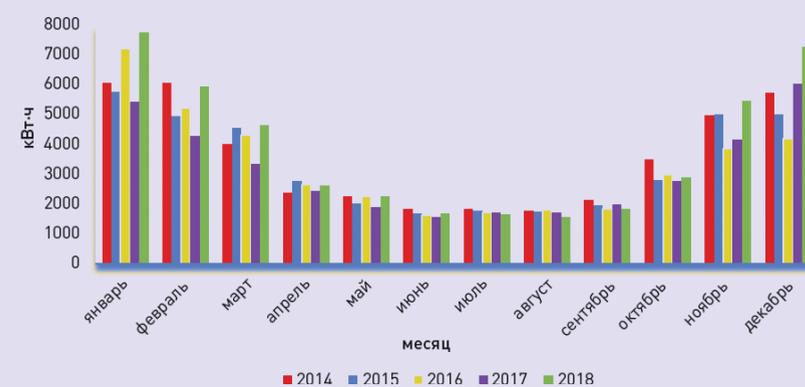


Рис. 2

## УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СН ПС МЭС СИБИРИ



Рис. 3

ществующих ПС или строительство новых цифровых, интеллектуальных ПС. Цифровая подстанция — ключевой компонент интеллектуальной сети SMART GRID [6, 7], в которой оборудование СН управляется при помощи промышленного контроллера со встроенными функциями свободного программирования и способствует увеличению энергоэффективности систем СН ПС.

До 2025 г. в мире будет происходить глобальный переход к интеллектуальным электрическим системам, а общие затраты мирового рынка интеллектуальных систем в энергетике достигнут 400 млрд долл. к 2020 г. В Китае, по оценкам экспертов, доля интеллектуальных подстанций к 2020 г. будет составлять порядка 50–60 %. Затраты глобального рынка на интеллектуальные системы отражены в табл. 4.

Наиболее крупными игроками на этом рынке являются: Китай — 24 %; США — 23,9 %; страны Азиатско-Тихоокеанского региона —

21,2 %; Европа — 20,6 %; Латинская Америка — 10,2 % [8].

Основными направлениями и мировыми тенденциями повышения эффективности работы существующих трансформаторных ПС, снижения затрат энергии на СН и рекуперацию энергии СН в мире являются:

1. Оптимизация работы систем охлаждения трансформаторов и реакторов, повышение эффективности работы систем отопления зданий и использование в качестве источников тепла тепловых потерь трансформаторов и реакторов.
2. Использование энергосберегающего основного и вспомогательного оборудования на трансформаторных ПС.
3. Внедрение автоматизированных систем мониторинга работы оборудования трансформаторных ПС, расхода электроэнергии на СН, использование интеллектуальных систем управления оборудованием ПС.

Предлагаемые и реализованные проекты снижения расхода электрической энергии на СН ПС и ее эффективной рекуперации в некоторых странах приведены в табл. 5.

## РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ НА ПОДСТАНЦИЯХ ПАО «ФСК ЕЭС»

Проведенный анализ расхода электроэнергии на СН ПС показывает, что больше всего энергии затрачивается на обдув, охлаждение и обогрев оборудования, а также обогрев помещений ПС. Расход электроэнергии на охлаждение трансформаторов ПС ПАО «ФСК ЕЭС» составляет около 20 % от общего расхода электроэнергии на СН (до 200 млн кВт·ч/год), затраты на отопление зданий ПС — около 15% от общего расхода на СН (до 150 млн кВт·ч/год). Наибольший потенциал рекуперации энергии СН ПС обеспечивают мероприятия по повышению эффективности работы систем охлаждения трансформаторов и автотрансформаторов, автоматизации систем обогрева шкафов приводов, выключателей, отделителей, РПН [14].

Поэтому в рамках реализации концепции «Энергоэффективная подстанция» в 2011–2019 гг. был разработан и апробирован на ПС ПАО «ФСК ЕЭС» ряд инноваци-

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ И РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СН ПС И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕКУПЕРАЦИИ

Страна	Описание
Великобритания, Лондон, 2013 г.	ПС Bankside получает электроэнергию от сети 132 кВ, трансформаторы понижают напряжение на 20 кВ и 11 кВ для распределения по Лондону по подземным кабелям. На ПС была использована установка утилизации тепла трансформатора для отопления помещения и нагрева воды для находящейся рядом художественной галереи, что привело к значительной экономии электрической энергии на СН ПС Bankside. Компания UK Power Networks (энергетические сети Великобритании) проводила необходимые исследования, технико-экономические обоснования и проектирование [9]
Латвийская Республика, 2014 г.	ПС 330 кВ «Иманта» в Риге эксплуатируется с 1971 г. Для обеспечения горячей водой и отопления зданий диспетчерской, а также помещений для оперативного персонала общей площадью 594 м <sup>2</sup> использовались электрические котлы и обогреватели. Предложено использовать теплообменник между секцией охлаждения автотрансформатора и тепловым насосом в установке утилизации тепла. Реализация проекта показала, что силовой автотрансформатор при использовании теплового насоса производит отработанного тепла больше, чем это необходимо для отопления помещения и нагрева воды ПС [10]
Австрия, Инсбрук, 2017 г.	Энергетическая компания Innsbrucker Kommunalbetriebe внедрила систему утилизации тепловых потерь трансформаторов на городской ПС 110 кВ с применением теплового насоса в качестве системы отопления офисов компании. Новая система рекуперации тепла дала 80 % от потребности тепла, необходимого для отопления офиса компании и позволила почти полностью снизить энергопотребление на СН ПС [11]
Великобритания, Лондон, 2017 г.	Компания Siemens установила в Хайбери, густонаселенном пригороде Лондона, три трансформатора, каждый из которых рассчитан на 240 МВА напряжением 400/132 кВ, в комплекте с системой охлаждения и рекуперацией тепла. Для повышения эффективности трансформаторной ПС применяются масляно-водяные теплообменники совместно с теплообменниками вода — воздух для системы охлаждения трансформаторов. Чтобы обеспечить постоянную температуру охлаждающей воды во вторичном контуре независимо от загрузки трансформаторов, применяется специальный контроллер для регулирования рабочей температуры охлаждающей жидкости трансформатора. С целью повышения экологичности оборудования ПС для охлаждения трансформаторов используются синтетические эфиры, которые являются биоразлагаемыми и по сравнению со стандартным минеральным маслом имеют высокую температуру воспламенения. Использование синтетического сложного эфира при классе напряжения 400 кВ применено на этой подстанции впервые в мире [12]
США, 2008 г.	Компания Grid Solutions (США) для энергоэффективных ПС реализует проекты с экологически чистыми силовыми трансформаторами, заполненными эфиром вместо минерального масла, мощностью от 10 до 500 МВА и напряжением до 550 кВ. Основными преимуществами данных трансформаторов являются: энергоэффективность во время работы; повышенная перегрузочная способность; низкие потери; низкий уровень шума; экологичность; интеллектуальная система контроля и управления в режиме онлайн [13]

Таблица 5

онных технологий, позволяющих добиться значительного снижения расхода электрической энергии на СН ПС именно за счет этих составляющих в структуре расхода электроэнергии на СН (табл. 6).

В результате проведения Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности на ПС ПАО «ФСК ЕЭС» реализуются мероприятия по следующим направлениям [19]:

- организационно-технические (малозатратные мероприятия);
- по энергосбережению и повышению энергетической эффективности (среднезатратные мероприятия);
- капиталовложения, финансируемые за счет средств инвестиционной программы ПАО «ФСК ЕЭС» (крупнозатратные мероприятия).

В Перечень мероприятий по реализации Национального проекта «Энергоэффективная подстанция» включены следующие:

- разработка энергоэффективных систем охлаждения маслонаполненных трансформаторов и реакторов 220–750 кВ;
- разработка методики нормирования СН ПС ПАО «ФСК ЕЭС», расчет норматива с производством опытного образца системы мониторинга и контроля динамики расхода электрической энергии токоприемниками СН;
- разработка типовых требований и альбома типовых решений при проектировании и строительстве энергоэффективных зданий ПС;
- исследование возможности отключения слабонагруженных трансформаторов СН, разработка алгоритмов отключения и управляющего устройства быстрого ввода резерва;

## ЦЕЛЕВЫЕ И ФАКТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА 2018 Г.

Целевой показатель энергосбережения	Удельный расход энергии, кВт·ч/у.е.		Снижение относительно базового 2010 г., %	
	по Программе (приказ ПАО «ФСК ЕЭС» от 19.04.2018 № 140)	фактически	по Программе с учетом ежегодных приказов ПАО «ФСК ЕЭС»	фактически
Сокращение удельного расхода электроэнергии на СН ПС	1628,49	1364,78	15,47	29,16

Таблица 3

## ЗАТРАТЫ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МИРЕ

Год	2017	2018	2019	2020
Затраты годовые, млрд долл.	53,0	57,0	61,0	63,0

Таблица 4

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ И РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СН ПС

Объект	Описание
ПС 500 кВ «Нижегородская», МЭС Волги	Для отопления здания общеподстанционного пункта управления (ОПУ) была внедрена система утилизации тепла масла автотрансформатора посредством применения теплового насоса «этиленгликоль — вода». Основными дополнениями к существующей системе являются: зонирование помещений по температурному режиму исходя из требований расположенного в этих помещениях оборудования и персонала; реконструкция системы отопления здания ОПУ с использованием современных низкотемпературных радиаторов отопления, термостатических датчиков температуры на радиаторах отопления и переход от однотрубной системы отопления к двухтрубной; интеграция системы управления установкой утилизации теплоты трансформатора с АСУ ПС. Использование установки утилизации тепла совместно с мероприятиями по повышению эффективности ограждающих конструкций здания ОПУ позволило сократить потребление электроэнергии на отопление здания ОПУ с 320 до 95 тыс. кВт·ч в год. Удельная мощность отопления после применения установки утилизации тепла составляет 14 Вт/м <sup>2</sup> при средней норме 100 Вт/м <sup>2</sup> . Также были внедрены шкафы управления охлаждением автотрансформаторов, позволяющие осуществлять плавный пуск масляных насосов и вентиляторов охладителей [15]
ПС 500 кВ «Владимирская», МЭС Центра	Для отопления зданий ОПУ и управления ПМЭС в проекте предлагается использование теплового насоса с этиленгликолем системы жидкостного охлаждения трансформатора в качестве источника тепла. Современные тепловые насосы, спроектированные на температурную обеспеченность 95 %, позволяют сократить расход электроэнергии на отопление здания ОПУ с 320 до 95 тыс. кВт·ч в год. Система отопления зданий ОПУ и управления ПМЭС спроектирована на температуру подачи 60 °С. Соответственно для внедрения теплового насоса не нужно модернизировать систему отопления, а существующие котлы используются в качестве резервных. Также при небольшой доработке тепловой насос может использоваться в качестве источника холода для системы кондиционирования. Реализация пилотного проекта на ПС «Владимирская» позволит: провести апробацию и разработать технические требования к системам мониторинга расхода электроэнергии по отдельным группам токоприемников СН ПС; оценить фактическую эффективность применения современных автоматизированных шкафов управления охлаждением автотрансформаторов (ШАОТ) по сравнению с традиционными системами управления охлаждением трансформаторов; изучить возможность и перспективы внедрения систем жидкостного охлаждения на подстанциях ФСК; разработать проект построения высокоэффективной модульной системы сокращения расхода на собственные нужды подстанции (ШАОТ, жидкостное охлаждение и утилизация тепла трансформатора для отопления зданий). В рамках выполнения данного пилотного проекта планируется обеспечить значительную экономию электроэнергии на СН и хозяйственные нужды [4]
ПС 500 кВ «Новокузнецкая», Кузбасское ПМЭС	Предлагается на ПС заменить обогреватели на конвективные регулируемые нагреватели, использовать индукционные электроды, которые позволят сократить потери электроэнергии на обогрев оборудования и производственных помещений, произвести замену старых светильников на новые светодиодные. В результате проведения мероприятий по снижению потерь на СН ПС «Новокузнецкая» расход электроэнергии на СН сократился [5]
Подстанция 750 кВ «Опытная» ПАО «ФСК ЕЭС» – Валдайское ПМЭС	Для снижения расхода электроэнергии на СН в 2017–2018 гг. были проведены работы по внедрению автоматической системы управления охлаждением трансформатора (АСУ ОТ) на автотрансформаторе АТ-1 (3 фазы, 750 кВ, 417 МВА на фазу, 1988 г. выпуска). АСУ ОТ предназначена для регулирования частоты вращения вентиляторов и маслонасосов. В основу АСУ ОТ входят преобразователи частоты и контроллер с алгоритмом, построенном на поддержании постоянной температуры обмотки автотрансформатора. В условиях повышенных требований к верхней границе температуры наиболее нагретой точки автотрансформатора, а также повышенной температуры окружающего воздуха АСУ ОТ АТ-1 показала высокую эффективность и полностью подтвердила работоспособность заложенных алгоритмов работы. Снижение электропотребления в сравнении с аналогичным периодом до внедрения АСУ ОТ составило в 2018 г. в августе — 29,4 %, сентябре — 40,67, октябре — 73,2, ноябре — 59,75 %. Эффект от установки по сравнению с работой системы охлаждения АТ до реализации проекта составил более 80 % [16]
ПС 750 кВ «Белый Раст», «Металлургическая»	Внедренная на ПС «Белый Раст», «Металлургическая» и «Опытная» технология снижения расхода электроэнергии СН ПС реализуется в рамках проекта ФСК ЕЭС «Энергоэффективная подстанция», которому решением Минэнерго России в 2017 г. присвоен статус национального. Снижение расхода электроэнергии СН ПС происходит за счет автоматического регулирования скорости работы охладительных агрегатов в зависимости от загрузки и температуры оборудования. Реализация проекта позволит сократить энергозатраты на охлаждение трансформаторов в среднем на 70 % [17]. Расход электроэнергии на СН на этих объектах по прогнозам снизится на 40 %, что эквивалентно 9 млн кВт·ч в год [18]

Таблица 6

- разработка и внедрение элементов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в систему СН ПС. Отработка технологий включения солнечных панелей, ветряков малой мощности в систему СН ПС;
- разработка и внедрение инновационных элементов в систему резервного питания СН ПС (АКБ большой мощности, новые типы АКБ);
- внедрение высокоэффективных трансформаторов СН ПС;
- типовые решения по энергоэффективному наружному и внутреннему освещению;
- разработка и внедрение информационных систем управления энергосбережением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ мировых тенденций снижения расхода электрической энергии на СН трансформаторных ПС, который показал, что в мире происходит глобальный переход к интеллектуальным электрическим системам, и лидерами в данном направлении являются США, Китай, страны Европы.
2. На основании полученных результатов необходимо изменить нормы расхода на СН ПС и в будущем пересматривать их с определенным временным интервалом.
3. Применение технологии утилизации тепла трансформаторов позволит в отдельных регионах России покрыть до 100 % необходимой для отопления зданий ПС энергии и существенно сократить расход электроэнергии на охлаждение трансформаторов в зимний период.
4. Энергопотребление СН ПС зависит от многих факторов: фактической схемы работы ПС; режимов работы основного оборудования; температуры

- окружающей среды и т.д. Поэтому только реализация полного комплекса мер по повышению энергетической эффективности ведет к существенному сокращению расхода электроэнергии на СН ПС.
5. Использование основного и вспомогательного оборудования с низкими энергетическими потерями и эффективная рекуперация энергии СН позволит снизить затраты на СН ПС.
  6. Применение интеллектуальных систем управления комплексом оборудования ПС и создание единого звена с системами SMART GRID даст возможность сформировать современные структуры энергоэффективных ПС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Луковенко А.С. Анализ отечественного и мирового опыта применения управляемых электропередач переменного тока в интеллектуальных электрических сетях // Энергия единой сети. 2018. № 5(41). С. 31–38.
2. Проекту ФСК ЕЭС «Энергоэффективная подстанция» по снижению до 80% расходов на собственные нужды присвоен статус национального. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/news/companies/proektu-fsk-ees-energoeffektivnaa-podstancia-po-snizeniudo-80-rashodov-na-2017-12-18>.
3. РД.34.09.208. Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 35–500 кВ. М., 1981.
4. Рябин Т.В., Паринов И.А. Пилотные проекты как этап создания энергоэффективных подстанций ПАО «ФСК ЕЭС» // Энергия единой сети. 2015. № 3(20). С. 16–27.
5. Воденников Д.А. Снижение расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 500–750 кВ // Энергоэффективная. Передача и распределение. Ежеквартальный спецвыпуск. 2019. № 2(13). С. 44–48.
6. Xinzhou Dong, Delin Wang, Manyong Zhao, Bin Wang, Shenxing Shi, Member, Alexander Apostolov. Smart Power Substation Development in China // CSEE Journal of power and energy systems. Vol. 2. No. 4. 2016 December.

7. Richards S., Varghese A., Procopiou A. Feedback on installed experience with fully-digital substations // 23-d International Conference on Electricity Distribution. Lyon, 15–18 June 2015. P. 0224.
8. Борисов Е.А. Концепция цифровой подстанции РСК и этапы ее реализации. Новосибирск: ЭМА, 2011. 109 с.
9. Heat recovered from Bankside substation to be used at Tate Modern. URL: <https://www.london-se1.co.uk/news/view/6827>.
10. Olekshii R., Linkevicius O., Kuka N. Utilization of latent heat of 330 kV autotransformer for space and water heating in substation Imanta // IEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 2015. P. 49–54.
11. New twist in power transformer's use to heat buildings in Innsbruck. URL: <http://www.sinfonia-smartcities.eu/en/blog/post/new-twist-in-power-transformers-use-to-heat-buildings-in-innsbruck>.
12. Transformers as district heating boilers // Modern Power Systems. 2016, February. URL: <https://www.modernpowersystems.com/features/featuretransformers-as-district-heating-boilers-4816181/>.
13. Grid Solutions. URL: <https://www.gegridsolutions.com>.
14. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года, утверждена решением Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС». Сайт ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fsk-es.ru/innovation/innovative\\_development/innovative\\_development\\_program](https://www.fsk-es.ru/innovation/innovative_development/innovative_development_program).
15. Рябин Т.В., Давыдов Е.Ю., Паринов И.А. Возможности снижения расхода энергии на собственные нужды подстанций. Опыт ПАО «ФСК ЕЭС» // Энергосбережение. 2016. № 6. С. 36–45.
16. Результаты работы технологии ШАОТ с ЧРП (АСУ ОТ) на ПС 750 кВ «Опытная». М.: Научно-технический центр ФСК ЕЭС, 2018.
17. Сайт ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fsk-ees.ru/press\\_center/company\\_news/?ELEMENT\\_ID=216017](https://www.fsk-ees.ru/press_center/company_news/?ELEMENT_ID=216017).
18. Сайт Министерства энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/10892>.
19. Программа энергосбережения ПАО «ФСК ЕЭС» на период 2020–2024 гг. Утв. решением Правления ПАО «ФСК ЕЭС» (протокол от 12.08.2019 № 1653/8).