

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПОДСТАНЦИЯ». ОТ ПИЛОТНЫХ ПРОЕКТОВ ДО ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ

АВТОРЫ:

Г.К. ГЛАДКОВСКИЙ,
А.П. МЕРЗЛИКИН,
Ю.А. ЗАГУРСКИЙ
«РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Е.Ю. ДАВЫДОВ,
М.А. КАЛИНКИНА,
К.Т.Н.,
И.А. ПАРИНОВ,
И.В. РЯБИН,
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Проjekt «Энергоэффективная подстанция» подразумевает долгосрочную (до 2026 г.), комплексную работу в рамках одного из семи приоритетных направлений «Россети ФСК ЕЭС» — «Снижение

потерь и энергоэффективность», а также совместное использование инновационных разработок с производителями оборудования, генерирующими компаниями и крупными потребителями электроэнергии.

Ключевые слова: энергосбережение; энергоэффективность; собственные нужды; охлаждение трансформаторов; обогрев оборудования; мониторинг собственных нужд.



Пример визуализации всех инженерных систем энергоэффективного здания ОПУ

ВВЕДЕНИЕ

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях до технически целесообразного и экономически обоснованного уровня является важнейшей задачей энергосбережения и повышения энергетической эффективности группы компаний «Россети», в том числе входящего в ГК «Россети ФСК ЕЭС». Часть этих потерь, около 900 млн кВт·ч. в год [1], составляет расход электроэнергии на собственные нужды подстанций (СН ПС) магистральных сетей 220–750 кВ. Активные работы по снижению этих расходов стали проводиться в отечественном электросетевом комплексе после ввода в действие в 1981 г. Инструкции по нормированию расхода электроэнергии на СН ПС 35–500 кВ [2]. В середине 1990-х гг. по заказу «Главэлектросети» Минэнерго СССР во ВНИИЭ совместно с «Белэнергоналадкой» (Республика Беларусь) и Запорожским институтом трансформаторостроения (Украина) были проведены исследования

и разработаны технические решения по утилизации тепла нагрева трансформаторов для снижения расхода электроэнергии на СН ПС [3].

В настоящее время ПАО «Россети» продолжает реализацию проектов и разработку стандартов организации, направленных на обеспечение эффективного функционирования электроэнергетических объектов. С 2014 г. «Россети ФСК ЕЭС» совместно с «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» реализуют пилотные проекты повышения эффективности мероприятий по снижению расхода электроэнергии на СН ПС (рис. 1), позволившие отработать на практике современные инновационные решения и подтвердить ожидаемые эффекты от их применения. Эти решения стали основой комплексного проекта «Энергоэффективная подстанция», которому в 2017 г. был присвоен статус национального.

Цель статьи — рассмотреть решения, вошедшие в национальный проект

«Энергоэффективная подстанция», и возможные пути их дальнейшего тиражирования.

ПИЛОТНЫЕ ПРОЕКТЫ

Исследования, проведенные «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», показали, что 81% расхода электроэнергии на СН ПС распределяется по трем категориям [1] (рис. 2):

- 33% — охлаждение трансформаторов и реакторов;
- 26% — обогрев, кондиционирование и освещение зданий;
- 22% — обогрев оборудования открытого распределительного устройства (ОРУ) ПС.

Для уменьшения расхода электроэнергии на СН ПС разработаны и реализованы в качестве пилотных проектов следующие технологии [4]:

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЕКТА «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПОДСТАНЦИЯ»



Рис. 1

- утилизация тепла трансформатора;
- частотное регулирование вентиляторов и маслонасосов трансформаторов;
- система мониторинга расхода электроэнергии на СН ПС;
- автоматизация систем обогрева оборудования ОРУ.

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА НА ПС 500 КВ «НИЖЕГОРОДСКАЯ»

Первым пилотным проектом по снижению расхода электроэнергии на СН ПС стала система утилизации тепла на ПС 500 кВ «Нижегородская», которая использует потери электроэнергии в трансформаторе, выделяемые в виде тепла, для отопления общеподстанционного пункта управления (ОПУ).

Передача тепла от трансформатора к зданию производится при помощи теплообменников и контура с теплоносителем. Ключевым инженерным решением в проекте является применение теплового насоса для передачи тепла от антифриза к воде в системе отопления ОПУ ПС.

Тепловой насос представляет собой тепловую машину, которая передает тепло от менее нагретого тела к более нагретому за счет потребления дополнительной электрической энергии (20–50% от передаваемой тепловой). Иллюстрация принципа работы теплового насоса приведена на рис. 3.

Фактическая ежегодная экономия электроэнергии на отопление ОПУ по результатам эксплуатации системы утилизации тепла составила около 350 тыс. кВт·ч, или 77% от объема потребления зданием электроэнергии до реализации проекта.



Рис. 2

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ И МАСЛОНАСОСОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ, СИСТЕМА ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СУХИМ ОХЛАДИТЕЛЕМ И СИСТЕМОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ПС 750 КВ «ВЛАДИМИРСКАЯ»

Следующим крупным пилотным проектом стало комплексное повышение энергоэффективности ПС 750 кВ «Владимирская» (рис. 4, 5). В рамках данного проекта применены:

- система частотного регулирования вентиляторов и маслонасосов на автотрансформаторе АТ-7;
- система жидкостного охлаждения трансформаторов с сухим охладителем и системой утилизации тепла на автотрансформаторе АТ-6.

На АТ-7 впервые в мире использована система частотного регулирования вентиляторов и маслонасосов. В основе технологии лежит применение частотно-регулируемого привода с разработанным алгоритмом управления всеми электродвига-

телями вентиляторов и маслонасосов системы охлаждения, что, с одной стороны, обеспечивает весь перечень технологических и электрических защит, а с другой — значительно сокращает энергопотребление системы охлаждения трансформаторов. Уникальными для данного пилотного проекта являются алгоритмы, обеспечивающие поддержание температуры наиболее нагретой точки силовой обмотки автотрансформатора в допустимом диапазоне со снижением частоты вращения двигателей.

Электроэнергия, потребляемая при снижении частоты, пропорциональна третьей степени отношения частот. Таким образом, снижение частоты вращения в два раза приводит к снижению электропотребления в восемь раз.

Технологический эффект от применения частотного регулирования на ПС 750 кВ «Владимирская» достигает 75% от потребления системой охлаждения до реализации проекта, или 1333 тыс. кВт·ч/год. Частотный привод в два-три раза эффективнее, чем современные системы мониторинга и управления охлаждением,

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

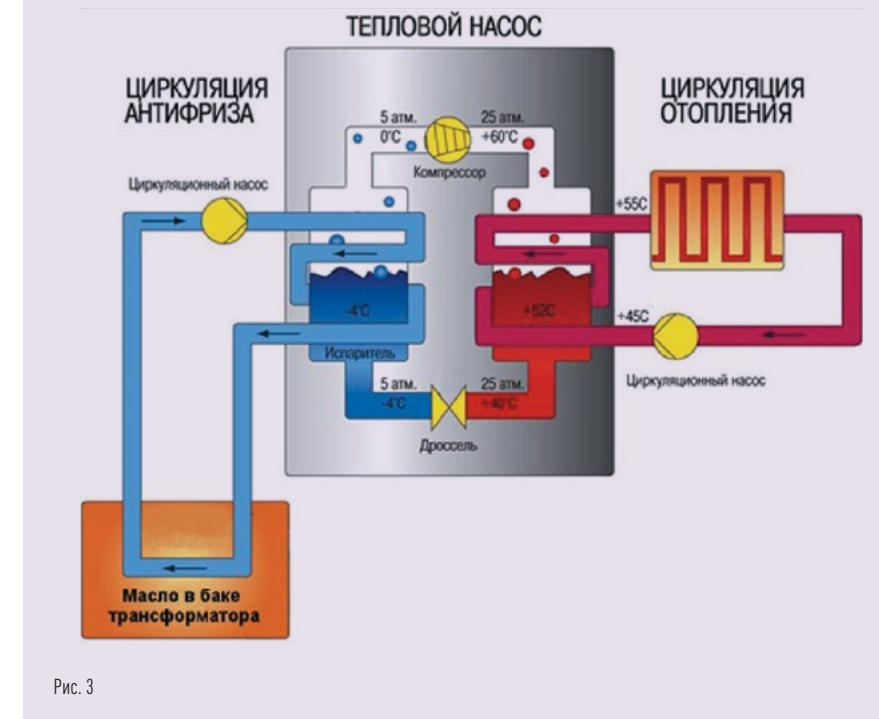


Рис. 3

основанные на ступенчатом включении вентиляторов в зависимости от загрузки трансформатора и температуры масла.

Также на АТ-6 ПС 750 кВ «Владимирская» применена система жидкостного охлаждения трансформаторов с сухим охладителем и системой утилизации тепла. Принцип работы системы жидкостного охлаждения заключается в отводе тепла от масла в баке автотрансформатора к этиленгликолю через пластинчатый теплообменник с последующим охлаждением этиленгликоля воздухом в сухом охладителе. Суммарная номинальная мощность двигателей уменьшается в три-четыре раза в зависимости от проекта, а энергопотребление снижается на 85%.

Расчетный суммарный технологический эффект от внедрения всех решений равен 3295 тыс. кВт·ч в год, что составляет около 40% от суммарного расхода на СН ПС. С учетом

ввода в эксплуатацию нового основного оборудования (увеличением количества потребителей СН ПС и их нагрузок) энергопотребление

СХЕМА СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА АТ-6

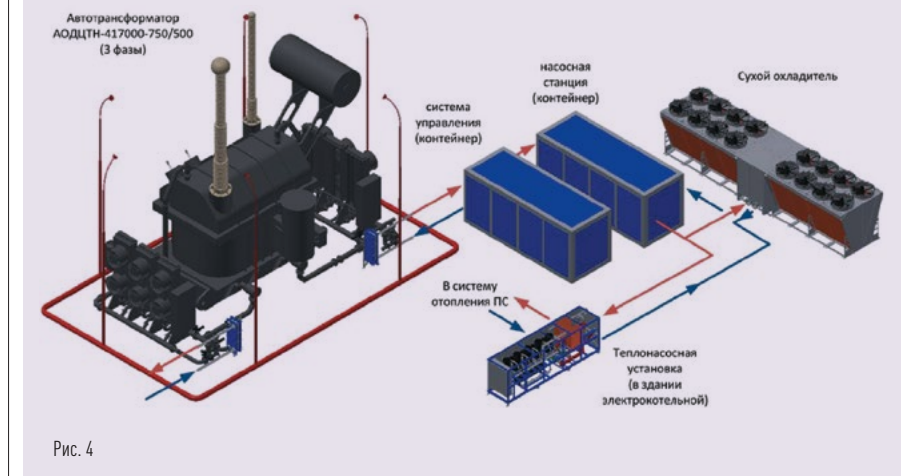


Рис. 4

ПС снизилось на 2,01 млн кВт·ч/год, или на 25% СН ПС.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СН ПС

Так как сокращение расхода электроэнергии на СН ПС является для «Россети ФСК ЕЭС», приоритетным направлением энергосбережения, необходимо осуществлять мониторинг фактического расхода и его сопоставление с плановым нормативным значением.

Такое сравнение позволяет:

- целенаправленно разрабатывать мероприятия по снижению потребления электроэнергии на СН ПС с учетом структуры потребления;
- осуществлять мониторинг эффективности внедрения мероприятий;
- выбирать технические решения (лучшие практики) для их дальнейшего тиражирования.

Для этого был разработан и произведен опытный образец системы

мониторинга расхода электроэнергии (СМЭ; рис. 6, 7) на СН ПС (совокупность измерительных блоков и программно-технического модуля), которая позволяет:

- определить актуальные режимы работы потребителей электроэнергии СН;
- измерять фактический объем расхода электроэнергии потребителей СН;
- учесть климатические условия работы оборудования при определении норм их потребления;
- определить нормы энергопотребления отдельных потребителей СН и ПС в целом;
- определить структуру расхода электроэнергии на СН;
- осуществлять функции мониторинга фактической структуры расхода электроэнергии на СН ПС;
- определять отклонения значений фактической структуры от расчи-

танной нормативной структуры СН ПС.

Пилотным объектом внедрения стала ПС 330 кВ «Восточная». В настоящее время СМЭ установлена на ПС 500 кВ «Нижегородская», 500 кВ «Астрахань», 220 кВ «Этилен» и 220 кВ «Сварочная».

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

Реализованные проекты позволили сделать вывод, что потенциал энергосбережения на магистральных ПС достигает 50%. Комплексное применение таких технологий, как частотное регулирование систем охлаждения трансформаторов, утилизация тепла трансформаторов для отопления зданий, систем управления обогревом оборудования ОРУ, дают синергетический эффект и позволяют добиться высоких показателей экономической эффективности.

В 2016–2017 гг. был разработан комплексный проект повышения энергетической эффективности ПС

«Россети ФСК ЕЭС», включающий в себя реализацию апробированных мероприятий по энергосбережению на ПС, внедрение информационной системы управления энергосбережением, выполнение НИОКР по созданию и апробации новых технологий энергосбережения. Данный проект был одобрен Минэнерго России и получил статус национального проекта «Энергоэффективная подстанция» в 2017 г. (одобрен протоколом рабочей группы по отбору национальных проектов по внедрению инновационных технологий и современных материалов в энергетике Минэнерго России от 22.11.2017 № АТ-554 пр). Приказом «Россети ФСК ЕЭС» от 31.05.2018 № 191 были утверждены общий перечень и график выполнения работ национального проекта, состав рабочей группы (приказом от 27.07.2021 № 236/358 внесены изменения). Ответственными исполнителями проекта являются «Россети ФСК ЕЭС» и «НТЦ Россети ФСК ЕЭС».

Рабочей группой был сформирован и утвержден перечень из 42 проектов внедрения технологий частотно регулируемого привода (ЧРП) и утилизации тепла трансформаторов



Рис. 5
Вид смонтированного оборудования на ПС 750 кВ «Владимирская»

на 38 ПС. Работы по проектированию начались в 2019 г. и должны быть закончены в 2022 г.

Актуальность проекта обусловлена значительным числом объектов электросетевого комплекса, преимущественно электрических ПС, введенных в эксплуатацию в период 1950–2000 гг. и не отвечающих современным требованиям к энергетической эффективности. Нормы проектирования объектов электросетевого комплекса в значительной степени устарели и требуют гармонизации и актуализации. Кроме того, вопрос снижения энергоемкости электросетевых компаний — это стратегическая цель государства, которой уделяется значительное внимание.

ЭКРАННЫЕ ФОРМЫ СМЭ СН ПС

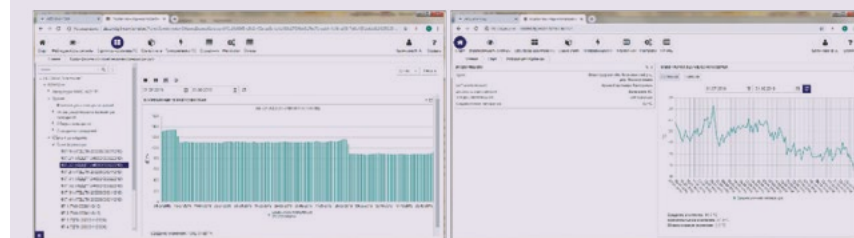


Рис. 6

Целью проекта является создание нормативной и технологической базы, обеспечивающей высокий уровень энергетической эффективности и сокращение энергоемкости

объектов электросетевого комплекса России. Проект повышения энергетической эффективности ПС электросетевого комплекса России направлен на:

ПРИМЕР ОТЧЕТА СМЭ СН ПС



«Утвержден»
Высшим должностным лицом
Директор филиала
/ А.В. Шильва /
2020 г.

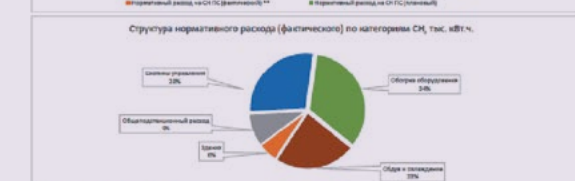
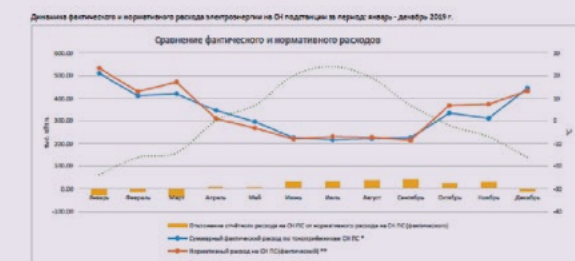
Динамика фактического и нормативного расхода электроэнергии на СН подстанции за период январь – декабрь 2020 г.

Идентификация подстанции ПС 330-В «Восточная»		Эквивалент	
Именованные параметры		Линейная подстанция	
Адрес	Ленинградская обл., Волховский р-н, д.р. Иннополис	Эквивалент	44,53 ГВ
Средняя мощность трансформаторов, кВт	212	Средняя мощность трансформаторов, кВт	212
Средняя мощность ТЭС, кВт	242,900	Средняя мощность ТЭС, кВт	242,900
Средняя мощность ТЭЦ, кВт	4500	Средняя мощность ТЭЦ, кВт	4500
Средняя мощность теплогридов, кВт	2486,84	Средняя мощность теплогридов, кВт	2486,84

№	Составляющая	Планируемая мощность, кВт	Динамика фактического и нормативного расхода на СН ПС											
			Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	Нормативный расход на СН ПС (Полный)	434,63	397,09	377,63	287,39	265,59	295,59	292,23	275,34	235,02	402,39	423,29	427,94	400,39
2	Фактический расход на СН ПС	339,63	427,09	427,63	617,39	275,59	292,23	295,59	292,23	275,34	235,02	402,39	423,29	427,94
3	Средний фактический расход на трансформаторы СН ПС *	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
4	Нормативный расход на СН ПС (Фактический) **	322,00	427,09	427,63	395,00	265,59	292,23	295,59	292,23	275,34	235,02	402,39	423,29	427,94
5	Отклонение фактического расхода на СН ПС от нормативного расхода на СН ПС (Фактический) ***	-112,37	-130,00	-130,00	122,39	109,99	103,36	100,36	103,36	100,36	100,00	100,00	100,00	100,00
6	Аппаратура АНЧ, АСУ ТП	22,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	Вентиляция	369,84	22,00	22,00	14,80	13,00	14,80	13,00	14,80	13,00	14,80	14,80	14,80	14,80
8	Общепромышленный расход	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
9	Вспомогательные	93,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Системы управления	700,00	34,20	42,00	80,00	120,00	80,00	40,00	70,00	60,00	120,00	140,00	40,00	200,00
11	Обогрев оборудования	308,00	308,00	340,00	130,00	160,00	130,00	—	—	—	3,91	16,00	64,00	130,00
12	Прочие	64,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	СВВП и охлаждение	600,00	—	—	—	—	150,00	210,00	200,00	100,00	67,00	17,00	17,00	70,00

* — оценка результатов измерений по наблюдениям в системе государственного мониторинга СН ПС.
** — расчет фактического нормативного расхода на СН ПС по методике с использованием фактических показателей расхода энергии и климатических условий.

Имя трансформатора	Мощность, кВт	Величина фактического расхода, кВт	Нормативная мощность, кВт	Класс	Динамика загрузки ТЭП по месяцам											
					Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ТЭП-1	630	20,75	330	6,3	1,5	2,3	7,0	8,4	5,2	4,1	4,1	4,2	4,2	6,1	5,0	
ТЭП-2	630	287,13	330	42,4	62,2	24,0	24,0	46,2	27,0	27,0	28,4	27,0	43,0	39,0	27,0	
ТЭП-3	630	173,23	257	27,2	42,3	34,3	35,0	20,0	24,0	18,0	30,0	18,0	27,0	25,0	27,0	
ТЭП-4	630	11,89	240	13,0	20,4	18,4	18,4	13,4	11,4	9,1	9,1	8,9	9,1	13,4	12,0	
ТЭП-5	630	25,56	180	9,0	13,0	12,4	12,4	12,4	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	22,0	9,1	
ТЭП-6	240	68,67	324	11,9	18,0	14,9	15,2	12,0	10,4	8,1	9,1	8,2	8,1	11,0	14,1	
ТЭП-7	630	77,78	80	13,0	18,0	15,0	15,0	11,0	11,0	8,0	8,0	8,0	11,0	11,0	14,0	
ТЭП-8	630	11,69	60	14,1	11,9	17,9	18,0	14,0	14,0	9,0	9,0	9,0	9,0	11,0	18,0	



Расчет выполнен на основании: РД 34.09.208
Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 20-500 кВ
Расчет составил: инженер I категории Ганюгов / Сидорова Т.А. /
Расчет проверил: начальник ПС 330 кВ Восточная / Мерин К.В. /
начальник ПС Привольная / Варадинова А.О. /

Рис. 7

- 1) повышение эффективности работы электротехнического оборудования ПС;
- 2) гармонизацию требований к энергетической эффективности оборудования и объектов ПС с лучшими международными практиками;
- 3) повышение энергетической эффективности зданий ПС и объектов инфраструктуры ПС (освещение, водопровод, системы пожаротушения и т.д.);
- 4) разработку типовых решений применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на ПС;
- 5) актуализацию норм проектирования ПС для достижения высокого уровня энергетической эффективности реконструируемых и вновь возводимых ПС;
- 6) актуализацию нормативной документации в области нормирования расхода электроэнергии на СН ПС, энергетической эффективности оборудования ПС, показателей энергетической эффективности объектов и оборудования ПС.

Период реализации, бюджет и ожидаемые целевые ориентиры эффективности проекта представлены на рис. 8.

ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Текущими и промежуточными результатами реализации национального проекта «Энергоэффективная подстанция» являются:

- промышленные внедрения ЧРП и утилизации тепла;
- исполнение НИОКР:
 - энергоэффективная ПС,

ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

ТЕХНОЛОГИИ

Разработка типовых комплексных проектов применения энергоэффективного оборудования и технологий с учетом наилучших доступных мировых практик энергосбережения.

Сокращение технических потерь в ТСН.

Сокращение уровня электропотребления СН ПС.

Сокращение вредных выбросов в атмосферу

НТД И НПА

Разработка изменений в нормативно-технической и правовой базе в области применения энергосберегающих технологий.

Разработка НТД стимулирования применения энергоэффективных технологий на объектах электросетевого комплекса России.

Разработка нормативно-правовой базы стимулирования реализации энергоэффективных проектов в электросетевом комплексе России.

Разработка нормативно-правовой базы нормирования и мониторинга энергетической эффективности компаний электросетевого комплекса России

ТИРАЖИРОВАНИЕ

Массовое внедрение передовых технологий энергосбережения на подстанциях электросетевого комплекса России.

Создание нового конкурентного сегмента рынка высокотехнологичной продукции, способствующего укреплению внешнеэкономических позиций России.

Оптимизация межведомственного обмена информацией и координация усилий профильных министерств и ведомств в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности

- электронно-коммутируемые вентиляторы,
- апробация альбома типовых решений проектирования,
- автоматизация инженерных систем зданий ПС;
- информационная система управления энергосбережением «Россети ФСК ЕЭС» (АИС энергоэффективности).

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВНЕДРЕНИЯ ЧРП И УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА

К настоящему времени система ЧРП внедрена на 17 трансформаторах 10 ПС «Россети ФСК ЕЭС». Общая установленная мощность ЧРП охлаждения приближается к 5 МВт. Начинается поставка и монтаж систем для 15 трансформаторов, завершено проектирование еще для 30 трансформаторов, а также заканчивается опытно-промышленная эксплуатация

данной системы на гидроэлектростанции ПАО «РусГидро».

Внедрение утилизации тепла выполнено на пяти ПС «Россети ФСК ЕЭС» и завершено проектирование еще для двух.

НИОКР «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПОДСТАНЦИЯ»

Целью НИОКР являются разработка и апробация на объектах «Россети ФСК ЕЭС» ряда технических решений и нормативно-технических документов, позволяющих уменьшить расход электроэнергии на СН ПС, повысить надежность и наблюдаемость оборудования, а также снизить объем капиталовложений при новом строительстве и реконструкции ПС. Рассматриваются несколько технологий:

- возобновляемые источники энергии (ВИЭ);
- инновационные элементы системы резервного питания (решение будет описано в отдельной статье);
- автоматика отключения слабозагруженных трансформаторов собственных нужд (ТСН);
- трансформаторы с сердечником из аморфной стали;
- энергоэффективная автоматика обогрева оборудования ПС.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Одним из направлений сокращения расхода электроэнергии на СН ПС является замещение части потребляемой электроэнергии ВИЭ. Для повышения надежности электроснабжения одновременно с традиционными автономными источниками электроэнергии предлагается использовать несколько видов ВИЭ. В частности, комбини-

ПЕРИОД РЕАЛИЗАЦИИ, БЮДЖЕТ И ОЖИДАЕМЫЕ ЦЕЛЕВЫЕ ОРИЕНТИРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПОДСТАНЦИЯ»

2018–2026 гг.	2,4 млрд руб.
Период реализации проекта	Бюджет проекта
До 3%	В том числе на 50%
Сокращение потерь электроэнергии	Снижение расхода электроэнергии на СН ПС
До 20%	До 2%
Снижение капитальных затрат в оборудование и материалы СН ПС	Сокращение выбросов CO ₂ из-за потерь электроэнергии

Рис. 8

рование ветряной и солнечной генерации особенно эффективно в контексте круглогодичного потребления.

ВИЭ характеризуются высокой неравномерностью выработки мощности в зависимости от времени суток и погодных условий. График выработки мощности ветряных электростанций (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС) обычно не совпадает с графиком нагрузки потребителей, вследствие чего технически обоснованным является применение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ). Такой вариант решения разработан для ПС 500 кВ «Астрахань». Смонтированный там образец ВИЭ является комплексной системой, сочетающей работу различных источников энергии на базе ВИЭ (ветер и солнце) и СНЭЭ для перераспределения объема выработки электроэнергии от источников

комплекса с целью максимальной выработки. Все источники работают параллельно в синхронизированном с внешней сетью режиме, передавая на момент работы опытного образца ВИЭ электроэнергию в сеть.

Структурная схема опытного образца ВИЭ представлена в экранной форме SCADA ВИЭ (рис. 9).

Общая мощность установки составляет 56,3 кВт. Выбор столь небольшой мощности обусловлен задачами проекта — комплексная работа образца в сети СН ПС.

Укрупненно опытный образец включает:

- 1) фотоэлектрические модули на стационарной конструкции, 22,8 кВт, 60 панелей;

ЭКРАННАЯ ФОРМА СМЭ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ВИЭ НА ПС 500 КВ «АСТРАХАНЬ»

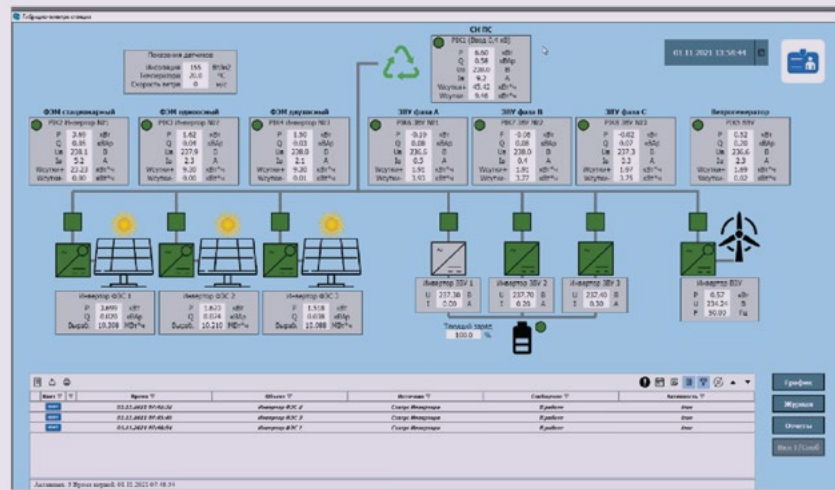


Рис. 9

- 2) фотоэлектрические модули на одноосевом трекере, 15,2 кВт, 40 панелей;
- 3) фотоэлектрические модули на двухосевом трекере, 13,3 кВт, 35 панелей;
- 4) ветроэнергетическую установку 5 кВт;
- 5) СНЭЭ, 15 кВт, 4 шт.
- 6) программное обеспечение (система мониторинга ВИЭ, база данных, Master-SCADA).

Разработанный и установленный опытный образец ВИЭ является первым для ПАО «Россети» и «Россети ФСК ЕЭС» реализованным проектом компенсации потребления электроэнергии на СН ПС путем использования ВИЭ.

ОТКЛЮЧЕНИЕ СЛАБОЗАГРУЖЕННЫХ ТСН

Анализ загрузки ТСН ПС «Россети ФСК ЕЭС» показывает, что 89% ТСН имеют среднегодовую загрузку ниже 15% (рис. 10), соответственно преобладающие потери в ТСН — это потери холостого хода. Одним из направлений повышения эффективности работы ТСН является отключение части ТСН в режимах малых нагрузок при определенных условиях и ограничениях.

Эффект от отключений ТСН в режиме малых нагрузок соответствует разнице потерь холостого хода отключаемых

трансформаторов и нагрузочных потерь в трансформаторах, оставшихся под нагрузкой, которые увеличиваются из-за роста нагрузки отключенных ТСН. Задача определения нагрузки ТСН, при которой целесообразно отключение одного или нескольких ТСН, как правило, не имеет простого решения. Это связано с тем, что на ПС с большой мощностью силовых (авто) трансформаторов (все ПС 500 кВ и выше) устанавливается не менее трех ТСН, зачастую имеющих разные номинальные мощности. Кроме того, как минимум один ТСН получает питание не от обмоток низкого напряжения (НН) силовых трансформаторов ПС, а от резервного источника питания, в качестве которого обычно выступают шины НН близлежащих ПС электрической сети. Схема соединений секций шин низкого напряжения также может делиться более чем на две секции и иметь сложную систему автоматического ввода резерва (АВР). Дополнительные ограничения на минимальное количество ТСН, находящихся в работе, могут включать требования к надежности по бесперебойности электроснабжения системы СН.

Перечисленные особенности обуславливают невозможность проведения ручных переключений в системе СН ПС для отключения ТСН как при сезонных, так и при суточных изменениях нагрузки.

Разработанный в рамках данного НИОКР опытный образец автоматики управления ТСН (АУТСН) является инновационным техническим решением по снижению расхода на СН ПС (рис. 11), обеспечивающим:

- преобразование, сбор, обработку, визуализацию и контроль аналоговой и дискретной информации по присоединениям СН ПС;
- контроль параметров режима;
- расчет и отображение на ЖК-дисплее фактической эффективности

АНАЛИЗ ЗАГРУЗКИ ТСН ПС «РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

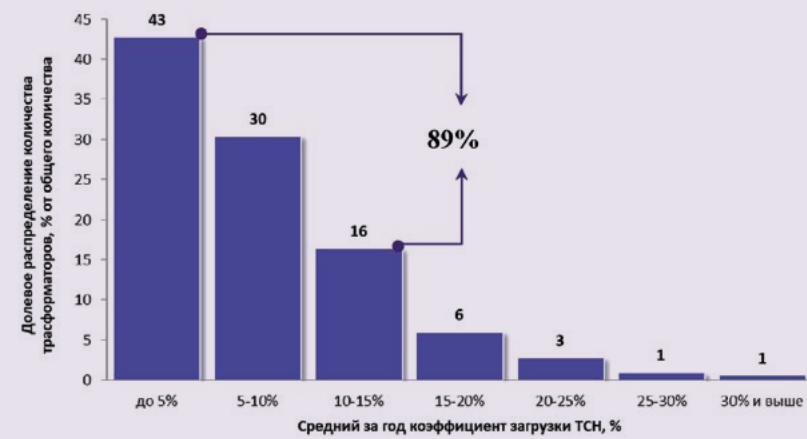


Рис. 10

- применения АУТСН (экономия электроэнергии от снижения потерь, количество и условия срабатывания);
- отображение на ЖК-дисплее мощности нагрузки ТСН, коэффициента загрузки трансформаторов и текущего состояния коммутационных аппаратов;
- автоматическое управление коммутационными аппаратами ТСН и секционирующими выключателями в соответствии с разработанным алгоритмом принятия решений об отключении и вводе в работу ТСН;
- двустороннюю интеграцию с системами релейной защиты и автоматики (РЗА) и автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП) ПС по стандартным протоколам, включая протокол МЭК 61850;
- технический учет потребляемой электроэнергии на СН ПС.

Применение АУТСН на крупных ПС напряжением 220 кВ и выше позволит

Шкаф автоматики АУТСН установлен на ПС 500 кВ «Нижегородская» и является одним из элементов опытного образца «Энергоэффективный ТСН» (введен в опытно-промышленную эксплуатацию в октябре 2021 г.).

УСТАНОВКА ТРАНСФОРМАТОРА С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

Вторым составным элементом опытного образца «Энергоэффективный ТСН» на ПС 500 кВ «Нижегородская» является впервые установленный на подстанциях «Россети ФСК ЕЭС» ТСН типа ТМГАМ-1000/10 с сердечником из аморфной стали (рис. 12) [введен в опытно-промышленную эксплуатацию в октябре 2021 г.; паспортные данные приведены в таблице]. Потери мощности холостого хода трансформаторов масляных герметичных с магни-

добиться существенного снижения потерь в системе СН путем автоматического отключения малозагруженных трансформаторов. Предварительно ожидаемый эффект составляет от 1 до 3% от нагрузки ТСН.

ВНЕШНИЙ ВИД ШКАФА АВТОМАТИКИ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ТСН» НА ПС 500 КВ «НИЖЕГОРОДСКАЯ»



Рис. 11

СРАВНЕНИЕ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ ТМГ И ТМГАМ

Тип	Номинальная мощность, кВА	Схема и группа соединения обмоток	Потери холостого входа, Вт	Потери короткого замыкания, Вт
Трансформаторы трехфазные масляные герметичные				
ТМГ-1000/10-У1	1000	У/Ун-11	2025	13 050
Трансформаторы трехфазные масляные герметичные с магнитопроводом из аморфной стали				
ТМГАМ-1000/10-У1	1000	Д/Ун-11	275	11 700

Таблица

топроводом из аморфной стали в семь раз ниже потерь мощности холостого хода трансформатора масляного герметичного.

ОБОГРЕВ ОБОРУДОВАНИЯ ПС

Нормативная доля электроэнергии, приходящаяся на обогрев оборудования, составляет свыше 20% от суммарного расхода электроэнергии на СН ПС (см. рис. 2). При этом, по данным энергетического обследования, около 50% общего количества устройств обогрева оборудования «Россети ФСК ЕЭС» не оснащены автоматикой управления.

Положительный эффект энергосбережения от внедрения энергоэффективной системы обогрева оборудования достигается за счет:

- применения средств автоматического управления, исключающих условия выпадения точки росы в обогреваемых электроустановках;

- контроля достаточности установленной мощности устройств обогрева в условиях минимальных температур;
- своевременного отключения нерегулируемых цепей антиконденсатного обогрева при темпе-

ратуре воздуха выше требуемого значения;

- применения реле для децентрализованного управления обогревом непосредственно в обогреваемых объемах или саморегулирующегося кабеля;



Рис. 12
ТСН-3 ПС 500 кВ «Нижегородская»,
тип ТМГАМ-1000/10

- поддержания шкафов в герметичном состоянии, не допускающем попадания влаги и насекомых;
- наличия индикации о выходе системы из строя, обеспечения возможности оценки работоспособности без открывания шкафа, а также применения средств технического учета расхода электроэнергии на обогрев;
- разработки технической документации типовых решений, позволяющей использовать эффективные решения, как регламентируемые при новом строительстве и реконструкции ПС.

Кроме того, применение технологических решений в условиях эксплуатации может быть упрощено созданием методической базы. Для этого разработан альбом типовых решений для систем обогрева оборудования ПС 110–750 кВ, позволяющий:

- осуществить выбор элементной базы, применение которой наиболее целесообразно в условиях проектирования;
- унифицировать технические решения при новом строительстве и реконструкции;
- выбрать способ модернизации системы обогрева, подходящий наилучшим образом в конкретных условиях;
- применить готовые компоновочные решения шкафов (рис. 13);
- снизить трудозатраты персонала за счет внедрения системы сигнализации и индикации состояния цепей обогрева.

Предложенные решения апробируются на объекте опытного внедрения (ПС 220 кВ «Этилен»), где

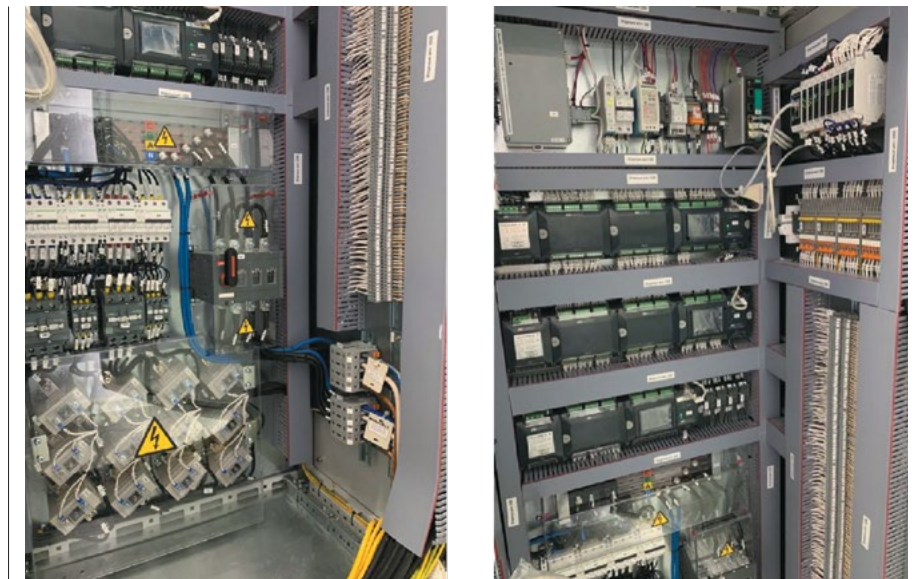


Рис. 13
Шкаф управления энергоэффективной системой обогрева

разработан и установлен опытный образец энергоэффективной системы обогрева оборудования.

В энергоэффективной системе обогрева оборудования:

- содержится набор программно-технических решений, направленных на оптимизацию систем управления шкафами обогрева оборудования наружной установки на ПС;
- производится настройка диапазонов значений параметров (факторов), влияющих на включение ступеней систем обогрева;
- ведется учет и формирование базы данных об эффективности работы системы (количество и параметры включений, потребляемые мощность и электроэнергия при эффективном режиме работы и обычном (неавтоматическом режиме), время работы ступеней обогрева).

Алгоритмы оптимизации системы в зависимости от наблюдаемых зна-

чений влияющих факторов учитывают фактические значения:

- температуры окружающего воздуха на территории ПС;
- внутренней температуры шкафов;
- уровня влажности в шкафах наружной установки;
- заводских условий включения систем обогрева и их паспортные характеристики.

Распространение полученного опыта на все эксплуатируемые ПС «Россети ФСК ЕЭС» позволит сократить расход электроэнергии на обогрев оборудования до двух раз на ПС, не оснащенных устройствами управления обогрева оборудования.

НИОКР «ЭЛЕКТРОННО-КОММУТИРУЕМЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ»

НИОКР «Электронно-коммутируемые вентиляторы» является продолжением работ по внедрению частотного регулирования вентиляторов. Регулирование скорости вращения обеспечивается не при помощи преобразователей

частоты, а при помощи применения электронно-коммутируемых двигателей с современными эффективными крыльчатками вентиляторов.

Такие вентиляторы:

- могут работать в любом климате (при температурах окружающего воздуха от -60°C до 40°C), обладают сниженными энергопотреблением и уровнем шума по сравнению со стандартными, применяемыми на охладителях вентиляторами типа ДЦ-160 и ДЦ-180;
- имеют встроенные контроллеры и возможности передачи рабочих параметров по цифровой сети.

Их установка сопоставима по сложности с заменой сгоревшего двигателя вентилятора, что существенно снижает стоимость и сроки проектирования и монтажа оборудования. При этом оборудование не требует внешних цепей управления и может быть испытано и отлажено на заводе. Тогда как к ЧРП предъявляются особые требования с контролируе-

мыми климатическими параметрами к ЭМС-фильтрам и резервированию цепей питания двигателей. Их установка невозможна без отключения трансформатора.

Ожидаемый эффект — снижение энергопотребления вентиляторов охладителей на 70–80%.

АИС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ «РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Информационная система управления энергосбережением «Россети ФСК ЕЭС» является продолжением работ, выполненных на аналитическом этапе энергетического обследования «Россети ФСК ЕЭС» в 2017 г. При проведении аналитического этапа данные собирались в виде структурированных файлов, что позволило создать на их основе информационную систему, которая получила название «автоматизированная информационная система проведения энергетических обследований» (АИС ОИА ПЭО). Работы по созданию системы были начаты в 2016 г.

На первом этапе АИС ОИА ПЭО обеспечила автоматизацию процессов сбора информации о потреблении всех видов энергетических ресурсов, ведения реестров объектов потребления ресурсов (ПС с основным оборудованием, здания, автомобили) и формирования энергетических паспортов филиалов «Россети ФСК ЕЭС» и компании в целом.

На втором этапе создания АИС ОИА ПЭО, завершившемся в 2021 г., был автоматизирован процесс ведения программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности «Россети ФСК ЕЭС» от создания мероприятий и расчета эффективности до формирования ежегодных планов мероприятий и мониторинга их исполнения. Также были созданы интеграционные сервисы, позволяющие значительно сократить трудозатраты на сбор и обработку информации. В автоматическом режиме в АИС ОИА ПЭО переносятся данные о балансах электрической энергии ПС «Россети ФСК ЕЭС» (СПО «Метроскоп») и данные о составе и паспортных характеристиках основного оборудования ПС (АСУ ТОиР). Помимо сокращения трудозатрат на ведение базы данных, интеграция позволила автоматизировать процессы поддержания единства состава и характеристик оборудования в системах ТОиР и коммерческого учета.

Более подробная информация об АИС ОИА ПЭО будет опубликована в следующем номере журнала «Энергия единой сети».

НИОКР «АПРОБАЦИЯ АЛЬБОМА ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ»

Применение энергоэффективных технологий в условиях уже эксплуатируемой ПС позволяет сократить потребление энергетических ресурсов, однако зачастую требует существенных строительно-монтажных работ, стоимость которых ухудшает эконо-

мические показатели мероприятия. Таким образом, повышение энергетической эффективности небольших ПС при значительном относительном потенциале энергосбережения оказывается экономически неоправданным при существующих тарифах на компенсацию потерь электроэнергии при ее передаче. Применение энергосберегающих технологий

при строительстве ПС обходится значительно дешевле, так как большая часть строительно-монтажных работ по энергетической эффективности проводится совместно с общими работами и не приносит значимого удорожания. При комплексном внедрении энергоэффективных технологий на этапах проектирования и строительства на первый план

выходят здания ПС. Современные здания ПС — это значительные по площади и объему сооружения, как правило, содержащие в себе полный комплекс инженерных систем, а также часть технологического оборудования. Наличие в одном здании источников избыточного тепла (ТСН, серверные стойки, шкафы РЗА и т.п.), которое необходимо отводить из по-

СВОДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОЕКТОВ

Направление повышения эффективности	Объект внедрения пилотного проекта	Текущие внедрения с учетом пилотного проекта
Утилизация тепла	ПС 500 кВ «Нижегородская»	6 подстанций
ЧРП	ПС 750 кВ «Владимирская»	17 трансформаторов, 10 ПС
Энергоэффективный обогрев	ПС 220 кВ «Кудьма»	2 ПС
Жидкостное охлаждение с утилизацией тепла	ПС 330 кВ «Василеостровская»	2 ПС
СМЭ СН ПС	ПС 330 кВ «Восточная»	5 ПС
ВИЭ	ПС 500 кВ «Астрахань»	Исследуется*
Система отключения слабозагруженных ТСН	ПС 500 кВ «Нижегородская»	Исследуется*
АИС Энергоэффективность	ИА ПАО «ФСК ЕЭС»	ПС, ПМЭС, МЭС, ПАО «ФСК ЕЭС»
ЕС-вентиляторы**	ПС 500 кВ «Турбино»	Исследуется*
Альбом типовых решений проектирования	ПС 220 кВ «Луч»	Проектирование новых ПС ПАО «ФСК ЕЭС»

Примечания

* «Исследуется» означает, что объекты дальнейшего внедрения будут определены после завершения пилотного проекта.

** ЕС-вентиляторы — электронно-коммутируемые вентиляторы.

Рис. 15

ПРИМЕР ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ ОПУА

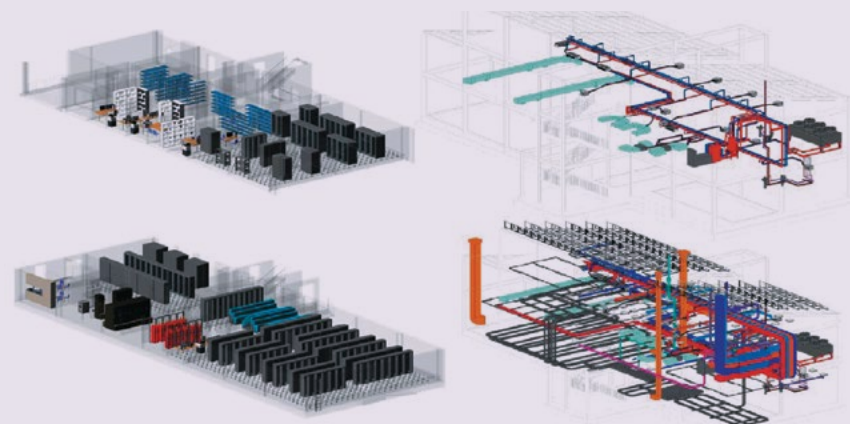


Рис. 14

мещений, и помещений, значительную часть времени года требующих отопления, открывает возможность повышения энергетической эффективности за счет перераспределения избыточного тепла внутри здания. Применение систем воздушного отопления с утилизацией тепла позволяет покрыть до 100% потребности здания в тепле и сократить расход электроэнергии на кондиционирование и отвод избыточного тепла технологического и телекоммуникационного оборудования.

В летний период кондиционирование помещений обеспечивается либо высокоэффективными сухими градирнями, либо использованием в качестве источника холода почвы или пожарных резервуаров ПС. Обеспечивающие такую эффективность инженерные системы применяются на производственных объектах и зданиях, однако пока не получили широкого применения на объектах электроэнергетики.

Для распространения технологий энергосбережения был разработан типовой альбом проектирования энергоэффективных зданий, включающий в себя типовые тома проектной документации от архитектурных и компоновочных решений (рис. 14, и рис. на стр. 48) до автоматизации, а также методические указания по применению и адаптации альбома при практическом применении. Решения из альбома о повышении энергетической эффективности зданий ПС вошли в проект реконструкции ПС 220 кВ «Луч» филиала Московского ПМЭС и прошли государственную экспертизу.

НИОКР «РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСНОГО ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ СЕТЯМИ ЗДАНИЙ ПС ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

Данная работа является продолжением предыдущего НИОКР «Апро-

бация альбома типовых решений проектирования».

В настоящее время в зданиях «Россети ФСК ЕЭС» практически отсутствуют системы автоматизации и диспетчеризации инженерных систем зданий, таких как вентиляция, отопление, кондиционирование (холодоснабжение), освещение (внутреннее и внешнее) и водоснабжение. Существующие решения по автоматизации в большинстве представляют собой комплекты локальной автоматики, не связанные в единый комплекс, и алгоритмы их работы не направлены на постоянное повышение энергоэффективности здания как единого комплекса.

В период публикации данной статьи выполняются работы второго этапа, в рамках которого разрабатываются требования к опытному образцу. Завершение запланировано на конец 2022 г.

Результатами работы станут:

- алгоритмы управления и функциональные блоки типовой системы управления инженерными системами зданий;
- портал мониторинга и управления инженерными системами зданий;
- опытный образец системы обеспечения высокой энергетической эффективности эксплуатируемых производственных зданий и зданий, обеспечивающих жизнедеятельность персонала подстанций «Россети ФСК ЕЭС»;
- альбом проектирования систем обеспечения высокой энергетической эффективности эксплуатируемых производственных зданий и зданий, обеспечивающих жизнедеятельность персонала ПС «Россети ФСК ЕЭС».

Ожидаемым эффектом реализации НИОКР будут являться упрощение

и унифицирование процесса проектирования энергоэффективных зданий для ПС 220–750 кВ «Россети ФСК ЕЭС» и решения задачи по энергосбережению и сокращению эксплуатационных расходов на электроснабжение собственных и хозяйственных нужд ПС.

СВОДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОЕКТОВ

На ПС 500 кВ «Нижегородская» внедрено наибольшее количество технических решений:

- утилизация тепла;
- ЧРП;
- обогрев ОРУ;
- система мониторинга СН ПС;
- система отключения слабозагруженных ТСН;
- ТСН с сердечником из аморфной стали.

Реализованные технические решения показали более чем 30%-ный совокупный эффект в снижении расхода на СН ПС с 1720 тыс. кВт·ч в 2012 г. до 1160 тыс. кВт·ч в 2020 г. (без учета введенных в 2021 г.: отключение слабозагруженных ТСН и ТСН с сердечником из аморфной стали).

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергоэффективность ПАО «ФСК ЕЭС» в цифрах/ПАО «ФСК ЕЭС». М.: Изд. дом МЭИ, 2018.
2. РД 34.09.208. Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 35–500 кВ (утв. Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР 23.04.1981).
3. Вороничкий В.Э. Системы утилизации тепла трансформаторов и автотрансформаторов 220–750 кВ//Энергия единой сети. 2014. № 6 (17). С. 32–42.
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.



Национальный
Союз
Производителей
Электротехнической продукции

Предприятия-производители продукции для электроэнергетики России, входящие в состав Национального союза производителей электротехнической продукции «Росэлектро», поздравляют энергетиков с профессиональным праздником

Уважаемые коллеги!

Примите наши искренние поздравления с Днем энергетика и наступающим Новым, 2022 годом!

Много лет наши отрасли работают рука об руку. Мы являемся надежными партнерами и соратниками. От наших с вами эффективных технических решений зависит безопасность и надежность энергоснабжения потребителей. Предприятия — производители электротехнической продукции намерены и впредь поставлять для энергетического сектора России современное, экономичное и надежное оборудование. Мы нацелены на разработку и внедрение передовых решений на основе лучших мировых и отечественных практик и рады, что в этом вопросе находим в вас своих единомышленников.

Сегодня перед нами стоит серьезная задача защищать нашу энергетику от некачественного оборудования и контрафактной продукции. Мы плодотворно сотрудничаем в достижении этой цели с органами исполнительной власти и общественными организациями, потребителями нашей продукции, научными и учебными заведениями, проектными и строительными компаниями — всеми, кто развивает отечественную энергетику, дает нам тепло и свет. Надеемся, что и в дальнейшем наши отношения будут строиться на взаимопонимании и доверии, ведь только работая сообща, мы сможем обеспечивать устойчивый рост благосостояния нашей великой страны.

Дорогие друзья, будьте здоровы и счастливы! Пусть будут здоровы и счастливы ваши родные и близкие. Пусть все будет хорошо!

