

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

---

# ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2023

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

*Москва. 15 – 17 ноября 2023 г.*

Москва  
Издательство МЭИ  
2023

УДК 620.9  
ББК 31  
Ф 33

Ф 33 Фёдоровские чтения – 2023: ЛП Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи) (Москва, 15–17 ноября 2023 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. – М.: Издательство МЭИ, 2023. – 476 с.

ISBN 978-5-7046-2925-2

Публикуются материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (с элементами научной школы для молодежи) «Фёдоровские чтения – 2023», прошедшей в Национальном исследовательском университете «МЭИ» 15–17 ноября 2023 г.

Научная тематика конференции – энергосбережение и энергоэффективность технологий передачи, распределения и потребления электрической энергии. Публикации характеризуются охватом широкого круга проблем в области энергосбережения и энергоэффективности, электроснабжения и электрооборудования, электробезопасности и использования возобновляемых источников энергии. Сборник предназначен для участников конференции и может быть полезен широкому кругу специалистов, занятых проектированием и эксплуатацией электрического хозяйства, преподавателям, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

**УДК 620.9**  
**ББК 31**

*Издано в авторской редакции*

ISBN 978-5-7046-2925-2

© Национальный исследовательский  
университет «МЭИ», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1

## ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

<i>Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Кивчун Т.О.</i> Идентификация объекта управления в техноценозе.....	10
<i>Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Кивчун Т.О.</i> Постановка задачи управления техноценозом.....	22
<i>Войткевич С.В.</i> Метрики для оценки эффективности центров обработки данных в электроэнергетическом комплексе России...	29
<i>Маслеева О.В., Крюков Е.В., Петухов Я.И.</i> Оценка экологичности электромобилей и автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на всех этапах жизненного цикла.....	37
<i>Хугаев А.З.</i> Опыт применения процессного подхода к управлению в проектно-исследовательских организациях...	45
<i>Баширов М.Г., Баширова Э.М., Акчурин Д.Ш.</i> Разработка интеллектуальной системы идентификации напряженно-деформированного состояния и поврежденности металла энергетического оборудования.....	49
<i>Цырук С.А.</i> Роль учебно-методической комиссии в развитии образовательной программы «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»	61
<i>Булатенко М.А., Демидова П.А.</i> Оценка конкурентоспособности отечественных приложений для обучения электротехнического персонала с применением технологий виртуальной и дополненной реальности.....	65

<i>Баширов М.Г., Юсупова И.Г., Акчурин Д.Ш.</i> Особенности подготовки специалистов для интеллектуальных электроэнергетических комплексов	72
<i>Васильева Ю.С., Семикашев В.В.</i> Оценка последствий вхождения Республики Коми и Архангельской области в ценовую зону оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ).....	79
<i>Еришов М.В.</i> Направления развития энергетики предприятий химической промышленности в прогрессивном бизнес-укладе.....	88
<i>Пермяков М.А.</i> Факторы энергоэффективности многоукладных бизнес-структур.....	92

## Секция 2

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ**

<i>Горшенин А.Ю., Грицай А.С., Денисова Л.А.</i> Предварительная обработка данных в задаче краткосрочного прогнозирования электропотребления.....	96
<i>Исаев А.С.</i> Прогнозирование графика электрической нагрузки в условиях нестационарности.....	104
<i>Петров А.Р., Грачева Е.И.</i> Алгоритмы и модели оценки основных технических характеристик контактных систем низковольтных электрических аппаратов.....	114
<i>Лепешкин А.Р., Федин М.А., Кувалдин А.Б., Кондрашов С.С., Сулейманов Ф.Р., Данченко А.В.</i> Исследование распределений плотности тока в двухслойной и трехслойной проводящих средах при разных режимах индукционного нагрева защитных покрытий стальных деталей с учетом оплавления покрытий и двух точек Кюри..	124

*Федин М.А., Лепёшкин А.Р. Федина С.А., Василенко А.И., Дудочкин Е.Г., Кошкин Д.П., Демидов Ю.А., Чэнь Б.*  
Разработка и описание математической модели и программы для расчета индукционно-резистивного нагрева промышленных трубопроводов..... 133

*Федин М.А., Кондрашов С.С., Василенко А.И., Зотов М.Л., Северин К.В., Кошкин Д.П., Демидов Ю.А.*  
Разработка метода увеличения длины обогреваемого плеча индукционно-резистивной системы нагрева с использованием градированной изоляции..... 139

*Блохин А.В., Грицай А.С.*  
Прогнозирование потребления электроэнергии городского ресурсоснабжающего предприятия..... 144

*Староверов Б.А., Хамитов Р.Н.*  
Создание подсистемы прогнозирования для системы коммерческого учета электроэнергии на основе ансамбля нейронных сетей..... 149

*Мальши М.Е., Матюнина Ю.В.*  
Планирование графика базовой нагрузки при управлении спросом..... 155

*Измайлов Ю.А., Кошарная Ю.В.*  
Управление нагрузкой предприятия как способ снижения затрат на электроэнергию..... 162

### Секция 3

## **РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРГАНИЗАЦИЙ И УЧРЕЖДЕНИЙ**

*Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В., Гусев Д.А.*  
Разработка физической модели распределительной электрической сети с тиристорными регуляторами напряжения и мощности..... 169

<i>Лансберг А.А., Виноградов А.В.</i> Обзор математической модели электрической сети 6–10/0,4 кВ..	175
<i>Пудовинников Р.Н., Вахнина В.В.</i> Модифицированная модель линии электропередачи.....	185
<i>Гагарин С.А.</i> Причины неправильной работы устройств релейной защиты на Ростовской АЭС. Остаточная намагниченность трансформаторов тока.....	194
<i>Стариков А.В., Костюков В.Д.</i> Анализ работоспособности электромагнитного подшипника при снижении напряжения питания и рациональном смещении центра магнитной системы.....	202
<i>Вахнина В.В., Марков Е.В.</i> Разработка программы графического определения дефектов силовых масляных трансформаторов на основе метода треугольника Дюваля.....	209
<i>Дюдяков А.А, Янченко С.А.</i> Алгоритм управления гибридным фильтром, устойчивый к искажениям напряжения сети.....	217
<i>Денисова А.Р., Семенова О.Д.</i> Исследование влияния высших гармоник напряжения и тока на электрооборудование электроэнергетических систем..	227
<i>Петрова Р.М., Грачева Е.И., Абдуллин Л.И.</i> Параметры надежности кабельных линий систем внутривзаводского электроснабжения.....	235
<i>Романов Л.Р., Крюков О.В.</i> Разработка усовершенствованных алгоритмов токовых за- щит для повышения надежности электрических сетей...	243
<i>Кронгауз Д.Э.</i> Особенности релейной и технологической защит электрооборудования.....	254

<i>Кулешова Г.С., Михеев Д.В., Кулешов А.О.</i> Алгоритм определения интегральных параметров фильтрокомпенсирующих устройств на основе индуктивно-емкостных элементов.....	262
<i>Немчинов Н.А., Михеев Д.В.</i> Моделирование резонансного токоограничивающего устройства на базе катушки-конденсатора.....	268
<i>Галимова А.В., Белогловский А.А., Белоусов С.В., Лебедева Н.А.</i> К вопросу об уточнении критерия лавинно-стримерных переходов в воздухе.....	276
<i>Бухтилова М.А., Белогловский А.А., Тимофеев Е.М., Тарасова Т.П.</i> Применение методов математической оптимизации для ограничения воздействия электрических полей на персонал объектов электроэнергетики.....	282
<i>Захаров Ю.Ю., Михеев Д.В.</i> Анализ первичных параметров воздушной коаксиальной линии при передаче электроэнергии повышенной частоты...	289
<i>Латушкина В.К., Рашевская М.А.</i> Определение оптимальных конструктивных параметров систем наружного освещения завода.....	298
<i>Сериков В.А., Сычев Ю.А., Костин В.Н.</i> Анализ несинусоидальных режимов работы типовых промышленных систем электроснабжения горно-обогачительных предприятий.....	306
<i>Balametov A.B., Abdullayeva G.K., Agakhanova K.A.</i> Regression dependencies for operational modeling of regimes OHL taking into account atmospheric factors.....	319

Секция 4  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

*Кожемякин В.Е.*

К оценке надежности системы генерации малой ГЭС  
с учетом гидрологического режима реки..... 328

*Шалухо А.В., Литужин И.А., Шувалова Ю.Н., Алексеева Р.Е.*

Разработка системы управления энергоустановкой  
на основе водородных топливных элементов..... 338

*Подшивалов Е.С., Сергеев П.С., Крюков О.В.*

Выбор основных параметров и определение логической  
схемы работы гибридных накопителей электроэнергии.... 345

*Хорьков С. А., Бизяев А.Д., Чукавин Ю.Б.*

Разработка автоматизированного рабочего места  
энергоцентра на базе ПАЭС-2500  
с помощью операторных панелей..... 352

*Чижов А.С., Вихров М.Е.*

Трехфазный источник бесперебойного питания,  
его особенности и схемы реализации..... 359

*Алешин Д.А., Ульянов Д.А., Шалухо А.В.*

Система активной балансировки аккумуляторных  
батареи с многокоординатной передачей энергии..... 365

*Сорогин А.С., Хамитов Р.Н.*

Жидкостное охлаждение фотоэлектрических модулей  
при эксплуатации в весенне-летнее время года..... 375

*Алешин П.А., Серебряков А.В., Серебряков Н.А.*

Разработка структурной схемы дизель-генераторной  
установки переменной скорости вращения на основе  
многообмоточного синхронного генератора..... 383



*Ростовский В.В., Серебряков А.В.*  
Разработка алгоритмов работы и диагностирования  
автономного генераторного комплекса  
на базе многообмоточного синхронного генератора..... 390

*Афанасьев К.М., Титова Г.Р.*  
Активно-адаптивные сети в применении  
к системам распределенной генерации малой мощности 398

#### Секция 5

### **ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЦЕНОЛОГИЯ**

*Луценко Д.В.*  
Программная реализация методики  
структурно-параметрического прогнозирования  
ресурсопотребления организационных систем..... 404

*Гнатюк В.И., Олейник В.С., Жукова М.С.*  
Анализ номенклатуры программного обеспечения  
организационной системы..... 422

*Гнатюк В.И., Олейник В.С., Жукова М.С.*  
Расчетно-параметрический комплекс  
организационной системы..... 434

*Хорьков С. А., Маврикиди Ф.И.*  
Причинность ценозов и систем..... 442

*Гурина Р.В., Лизяева В.В.*  
Ценологическая самоорганизация образовательных систем.. 451

*Ковалёв А.А., Шушарина Н.Н., Зайцев А.А.*  
Нормирование двигательной активности человека  
на основе теории рангового анализа..... 460

*Лепехо Д.В.*  
Однопараметрический цифровой двойник  
организационно-технической системы по электропотреблению.... 466

*С. А. Хорьков, horkov\_07@mail.ru, УдГУ, г. Ижевск,  
А.Д. Бизяев, ar.bizyaev.1999@gmail.com,  
ООО «Инвестэнерготранс», Ижевск,  
Ю.Б. Чукавин, chukavinur@ietrans.ru, УдГУ, Ижевск*

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
РАБОЧЕГО МЕСТА ЭНЕРГОЦЕНТРА  
НА БАЗЕ ПАЭС-2500 С ПОМОЩЬЮ  
ОПЕРАТОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Автономные источники электрической энергии на базе ПАЭС-2500 получили широкое распространение в нефтегазодобывающей отрасли. Они разработаны давно, их системы управления реализованы на старой элементной базе. С целью повышения эффективности источников их дорабатывают на основе современных микроконтроллеров. Модернизированные ПАЭС-2500 имеют улучшенные технические и эксплуатационные характеристики [1].

Для увеличения установленной мощности несколько автономных источников электрической энергии объединяют в одном энергоцентре. Такой энергоцентр, построенный на базе модернизированных ПАЭС-2500, должен иметь современную систему контроля и управления. С этой целью создают многофункциональное автоматизированное рабочее место (АРМ) энергоцентра.

Опыт разработки такого АРМ приведен в настоящей статье. Традиционно АРМ занимает верхний уровень в трехуровневой автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП). Нижний или полевой уровень представляет собой уровень агрегатов, средний уровень или уровень контроля и управления включает программируемые логические контроллеры (ПЛК) и/или операторные панели, верхний уровень или уровень диспетчеризации представляет собой SCADA-систему, он тесно связан со вторым уровнем и включает собственно АРМы. На данном этапе разработки АСУ ТП энергоцентра имеется два нижних уровня, поэтому АРМ связано со средним уровнем контроля и управления, который является в этом случае верхним уровнем.

Для контроля за технологическими параметрами и работой систем и агрегатов электростанции на базе ПАЭС-2500 на ней устанавливают следующие контрольно-измерительные приборы и датчики: амперметры и вольтметры; тахометры и их датчики; указатели давления масла, топлива и температуры масла и их датчики; указатели температуры газа за турбиной двигателя с термопарами; частотомеры; киловаттметры; манометры; счетчики электроэнергии; фазометры и другие приборы.

Поскольку энергоцентр включает несколько источников электрической энергии, то количество контролируемых параметров, а, следовательно, и каналов передачи информации, кратно возрастает. Оператор энергоцентра должен не только наблюдать за работой источников, но и иметь возможность воздействовать на объекты контроля, т.е. управлять ими. В этом случае число каналов передачи информации значительно увеличивается.

В немодернизированных ПАЭС-2500 в системе управления отсутствуют микроконтроллеры и возможность для передачи информации на пульт энергоцентра ограничена. На рисунке 1 показана структура передачи информации от такого источника.

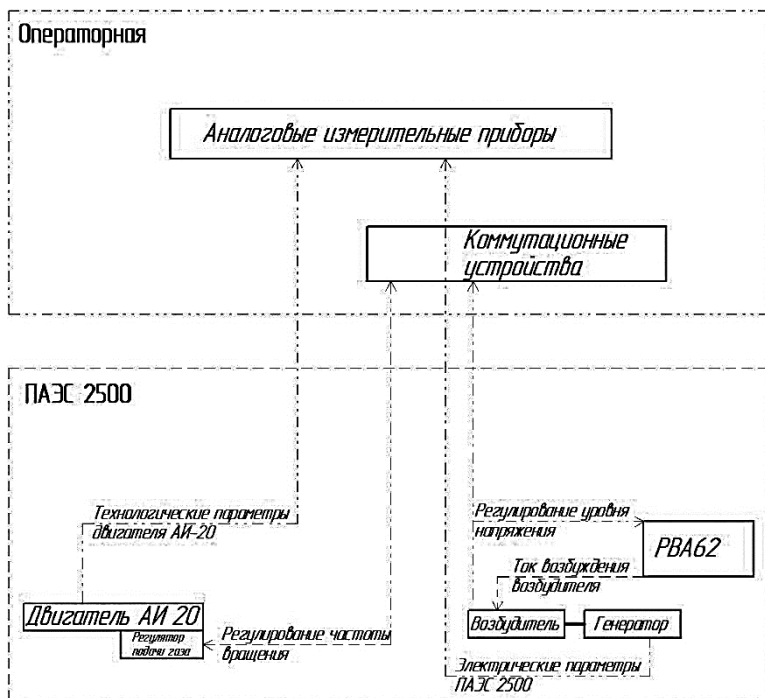


Рис. 1. Структура передачи информации от немодернизированной ПАЭС-2500

Для передачи технологических параметров необходима прокладка кабельных линий непосредственно от датчиков до пульта диспетчера-оператора, с большими затратами на кабельную продукцию. Такой способ передачи информации имеет значительные погрешности при ограниченном наборе передаваемых параметров, при этом аналоговые приборы не позволяют реализовать архивацию параметров и ведение журналов событий. К недостаткам можно также отнести отсутствие возможности анализа переходных

процессов и аварийных ситуаций, отсутствие синхронизации источника энергии с работой другого вспомогательного оборудования энергоцентра. В совокупности данные недостатки значительно усложняют работу оперативного персонала и ведут к увеличению числа аварийных ситуаций.

В качестве приемников технологических сигналов и источников управляющих воздействий возможно использовать операторные панели. Такая панель имеет название «Пульт оператора» или, с учетом английской аббревиатуры, НМІ-human-machineinterface, НМІ панель. Она представляет собой вычислительное устройство с дисплеем, реализованное в виде контроллера.

Обычно панель включает: сенсорный экран, устройства ввода/вывода, память, интерфейсы связи RS-232, RS-422, RS-485. Панель поставляют с предустановленной операционной системой и средой исполнения проектов. Этим операторная панель отличается от управляющего ПЛК, на который, как правило, необходимо устанавливать платные программные пакеты и приложения. Другими словами, НМІ панель – это доступное устройство человеко-машинного интерфейса для управления устройствами и процессами в составе АСУ ТП.

В нашем случае АРМ энергоцентра на базе модернизированных ПАЭС-2500 реализовано на базе НМІ панелей. Структура верхнего уровня передачи информации от ПАЭС-2500 к помещению операторной представлена на рис. 2.

От каждой ПАЭС-2500 передача информации [2] на НМІ панель осуществляют по протоколу Modbus TCP IP. Далее НМІ панель обрабатывает информацию и выводит её на экран. Одной станции ПАЭС-2500 соответствует одна панель НМІ.

НМІ панель отвечает также и за отправку удалённых команд оператора. Осуществлять команды можно как непосредственно на экране самой панели, так и через коммутационные устройства: различные кнопки, переключатели, тумблеры. Для обработки сигналов, поступающих с коммутационных устройств, применяют и технологические микроконтроллеры, установленные на ПАЭС-2500, с набором модулей ввода/вывода. ПЛК может включать различные аналоговые и/или дискретные конфигурации модулей.

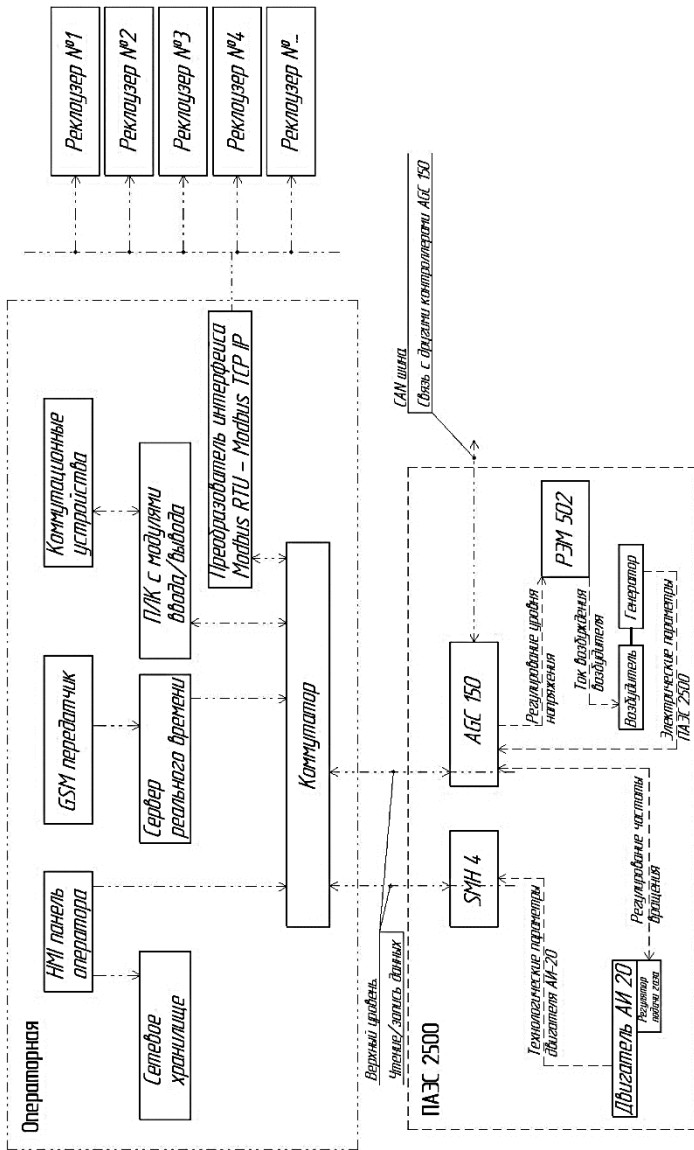


Рис. 2. Структура передачи информации от модернизированной ПАЭС 2500

Для дискретных команд в ПЛК отведены конкретные биты в одном из адресов. Поскольку в современных ПЛК используют 16-битные процессоры, это позволяет многократно увеличивать возможности передачи и обработки информации. В одном адресе может содержаться 16 бит, которые отображают состояние дискретного входа или выхода. Для каждого из дискретных или аналоговых сигналов необходимо проложить провод только от самих коммутационных устройств до модулей технологических ПЛК, далее информацию по протоколу Modbus TCP/IP передают уже по одному кабелю, в большинстве случаев это витая пара.

После преобразования различных коммутаций в битовые значения панель НМІ считывает эти адреса и биты из данных адресов. Далее, по заранее прописанным макросам, панель НМІ отправляет команды непосредственно контроллерам модернизированной ПАЭС-2500. В нашем случае НМІ панель является «мастером», и именно она инициализирует «чтение» и последующую «запись» информации на контроллеры станции.

Также НМІ панель, получая оцифрованные данные от контроллера, отвечающего за аналого-цифровое преобразование сигналов, выводит на экран технологические параметры от датчиков, установленных в станции. Кроме этого, панель так же ведёт архив, записывая данные в сетевое хранилище. Запись параметров в архив позволяет проводить анализ работы оборудования, строить тренды, проводить разбор аварийных ситуаций.

Одной из важных особенностей НМІ панелей является возможность записи различных предупредительных или аварийных событий. Эти записи позволяют персоналу минимизировать ошибки при эксплуатации оборудования и не допускать выхода технологических параметров за установленные пределы. Для подробного и синхронного ведения журнала событий необходимо, чтобы у НМІ панелей было одинаковое время. Для синхронизации времени различных панелей применяют специальные серверы времени, которые работают по протоколам SNTP, NTP и др.

Сервер времени получает значение времени по GSM-каналу от сторонних устройств и записывает его в каждую из НМІ панелей. Запись можно производить и на другие устройства локальной сети, которые используют тот же протокол времени. Такая синхронизация позволяет выстраивать достоверные хронологии переходных и аварийных процессов на оборудование.

АРМ энергоцентра на базе НМІ панелей может осуществлять контроль и управление другим электрическим оборудованием энергоцентра. Например, удобно реализовать управление реклоузерами, установленными на открытом распределительном устройстве, а также комплектными трансформаторными подстанциями при наличии в них технологических ПЛК.

Возможность отслеживания параметров и осуществление управления не только основным оборудованием станций, но и вспомогательным оборудованием позволяет персоналу оперативно оценивать состояние технологических процессов энергоцентра, минимизировать время восстановления после аварийных ситуаций и давать оперативные оценки нештатным ситуациям.

Разработка автоматизированного рабочего места энергоцентра на базе ПАЭС-2500 с помощью операторных панелей обеспечивает повышение качества эксплуатации оборудования, снижает количество аварийных ситуаций, а также позволяет проводить подробный анализ нештатных ситуаций.

## Литература

1. **Сальников С.В., Седов Р.А.** Модернизация системы управления газотурбинной электростанции ПАЭС-2500 // Газотурбинные технологии. 2015. № 129. С. 6.

2. **Бизяев А.Д., Хорьков С.А.** Модернизация систем управления передвижных газотурбинных электростанций // Сборник тезисов XII международной научно-практической конференции. Ижевск: Институт Компьютерных Исследований. С. 28–34.



*Учебное издание*

# ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2023

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

*Москва. 15 – 17 ноября 2023 г.*

Компьютерная верстка А.В. Худяковой

---

Подписано в печать	20.12.23.	Печать ризография	Формат 60x90 1/16
Печ. л. 29,75	Тираж 25 экз.	Изд. № 23н-143	Заказ №

---

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.  
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13.