

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

На правах рукописи

КОШЕЛЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ



**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМ
ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Специальность 5.2.3. – Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата экономических наук

Научный руководитель:
доктор экономических наук,
профессор Голов Р.С.

МОСКВА – 2023

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Современное состояние и прикладные аспекты развития энергосбережения в промышленности	14
1.1. Анализ современного состояния энергосбережения в сфере промышленности	14
1.2. Понятие, сущность и классификация энергоэффективных технологий	30
1.3. Основные принципы системного управления энергоэффективностью в условиях цифровизации производства	47
Выводы по первой главе	62
Глава 2. Методические основы формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии	65
2.1. Разработка концепции интегрированной системы энергосбережения.	65
2.2. Формирование комплекса подготовительных мероприятий при построении интегрированной системы энергосбережения	79
2.3. Разработка системы планов комплексного повышения энергоэффективности высокотехнологичного предприятия	89
2.4. Проектирование архитектуры интегрированной системы энергосбережения на основе технологий цифровой трансформации	99
Выводы по второй главе	116
Глава 3. Оценка эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии	118
3.1. Основные эффекты от реализации интегрированной системы энергосбережения и источники их образования	118

3.2. Развитие методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии.....	134
3.3. Алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии с применением механизма энергетического сервиса	149
Выводы по третьей главе	168
Заключение	170
Список литературы	172
Приложение 1. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для визуализации данных об энергопотреблении, получаемых от узлов учета	201
Приложение 2. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации учета и мониторинга потребления энергоресурсов	202
Приложение 3. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации самодиагностики приборов учета	203
Приложение 4. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для анализа баланса энергопотребления	204
Приложение 5. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для мониторинга потребления энергоресурсов	205
Приложение 6. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для консолидации сводных данных об энергосбережении	206
Приложение 7. Результаты оценки эффективности проекта по формированию интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии.....	207

Введение

Актуальность исследования. В условиях системного экономического кризиса и агрессивной санкционной политики со стороны стран Запада одной из важнейших задач, решение которой необходимо для сохранения темпов развития российской промышленности, выступает высвобождение уже имеющихся у высокотехнологичных предприятий ресурсов за счет повышения внутренних процессов их функционирования. Одним из подходов к решению данной задачи является повышение энергетической эффективности предприятий за счет реализации системного подхода к энергосбережению. Это обусловлено изначально высоким уровнем энергоемкости большинства отечественных предприятий, нерациональной организацией их энергетической системы и низкими темпами внедрения энергосберегающих мероприятий. Указанные проблемы приводят к образованию значительных избыточных расходов на закупку топливно-энергетических ресурсов, следствием чего является снижение экономической эффективности таких предприятий.

Уникальность энергосбережения в данном случае состоит в том, что его реализация позволяет высвободить существенные объемы финансовых ресурсов при условии сохранения действующей организационной и технологической структуры производства без необходимости его кардинальной трансформации. Соответственно, системное внедрение энергосберегающих мероприятий и технологий не требует вложения значительных по масштабам инвестиций и может быть реализовано, а высвобождаемые за счет его реализации финансовые ресурсы способны стать одним из основных источников для дальнейшего технологического и экономического развития предприятий в условиях имеющихся у них серьезных ограничений по доступным ресурсам.

Одним из основных условий успешности реализации энергосбережения на высокотехнологичных предприятиях выступает применение к решению этой задачи системного подхода, обеспечивающего внедрение энергоэффективных

технологий во всех его технологических и организационных подсистемах. Таким образом, достигается максимальный уровень энергетической эффективности предприятия, способствующий образованию долгосрочных экономических эффектов. Оптимальным сценарием практического воплощения системного подхода к снижению энергоемкости выступает формирование интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии.

Важным технологическим драйвером при создании подобной системы является использование в этом процессе цифровых технологий Четвертой промышленной революции, распространение которых в промышленности в настоящее время представляет собой одно из магистральных направлений технологического развития высокотехнологичных предприятий. Их внедрение способствует достижению высокого уровня интеллектуальной автоматизации процессов повышения энергетической эффективности за счет применения таких технологий как искусственный интеллект, киберфизические системы, машинный анализ Больших данных, цифровые двойники и др.

Разработка подобных систем является одним из наиболее комплексных подходов к организации энергосбережения на предприятии, но требует наличия у организаторов наличия широкого спектра энергоэффективных и цифровых компетенций, обеспечивающих как глубокое понимание теоретических основ их построения, так и навыки применения практических методов, подходов и инструментов, применяемых при их формировании. В то же время, построение подобных систем представляет собой один из важных путей повышения экономической эффективности высокотехнологичных предприятий в условиях глубокого экономического кризиса, положительно влияя на уровень экономической стабильности российской промышленности.

Рассмотренные выше факторы обусловили актуальность проведенного исследования с точки зрения развития теории построения интегрированных систем энергосбережения и их практического внедрения на высокотехнологичных предприятиях в качестве одного из организационно-технологических механизмов повышения их экономической эффективности.

Степень разработанности научной проблемы. Основными научными теоретическими и методологическими работами в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в промышленности выступают труды отечественных ученых Авдеевой В.Н., Башмакова И.А., Бушуева В.В., Гагарина В.Г., Гашо Е.Г., Данилова Н.И., Дли М.И., Змиевой К.А., Карпова В.Н., Колесниковой О.В., Копцева Л.А., Прокофьева Д.А., Пушкаревой М.Б., Смирнова В.Г., Табунщикова Ю.А., Теплышева В.Ю., Хорошилова Н.В., Шнайдера Д.А., Шумихиной Е.М., Щелокова Я.М. а также ряда зарубежных ученых, в число которых входят Агилар Р., Аравена К., Гелен Д.Ж., Дюран Е., Лоуренс А., Норман Д.Б., Толландер П., Уоллен М., Уоррел Е., Фатхи М., Хаммонд Г.П., Чен К. и др.

Вопросы, связанные с цифровой трансформацией промышленности и созданием интегрированных систем на предприятиях раскрыты в трудах таких российских ученых как Акбердина В.В., Бабкин А.В., Бодрунов С.Д., Вартамян А.А., Гилева Т.А., Голов Р.С., Истомина Е.А., Карлик А.Е., Клевцова М.Г., Ковальчук Ю.А., Козлов А.В., Костыгова Л.А., Лола И.С., Морозов М.А., Намиот Д.Е., Нижегородцев Р.М., Покусаева О.Н., Плотников В.А., Положенцева Ю.С., Степнов И.М., Тарасов И.В., Ташенова Л.В. Из числа зарубежных ученых свой вклад в развитие данной области внесли Бароне Г., Джоши Х., Мамад М., Мартинез Т., Мишра Х., Николаидис Н., Сараванан Г., Сингх Р., Суман Р., Такар К., Торрегросса П., Фиделе М., Халим А., Чимино А., Шваб К. и др.

Исследования перечисленных выше ученых внесли значительный вклад в теорию и методологию развития таких направлений как повышение энергетической эффективности промышленности, цифровая трансформация предприятий, формирование систем управления производством. В то же время, нуждаются в исследовании и проработке такие вопросы как: проектирование и формирование интегрированных систем энергосбережения на высокотехнологичных предприятиях на базе взаимосвязанного комплекса цифровых технологий; использование при внедрении интегрированной системы энергосбережения механизма энергетического сервиса; разработка методических основ оценки экономической эффективности внедрения интегрированных систем энергосбережения.

Целью исследования выступает разработка теоретико-методических положений, обеспечивающих создание интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии с использованием взаимосвязанного комплекса организационных мер и цифровых технологий.

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели автором были определены и решены следующие **задачи**:

- предложить новую классификацию энергоэффективных технологий в промышленности, основанную на системном подходе к энергосбережению на предприятии;
- спроектировать структуру, состав задач и механизмы взаимодействия в интегрированной системе энергосбережения промышленного предприятия;
- развить методические подходы к оценке экономической эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения, позволяющие оценить различные виды эффектов, возникающих вследствие внедрения системы на высокотехнологичном промышленном предприятии;
- предложить алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном предприятии на основе интегрированной системы энергосбережения.

Объектом диссертационного исследования выступает высокотехнологичное промышленное предприятие, функционирующее в условиях цифровой экономики.

Предметом диссертационного исследования является комплекс организационно-экономических отношений, формирующихся на высокотехнологичном промышленном предприятии в рамках построения и функционирования интегрированной системы энергосбережения, базирующейся на совокупности взаимосвязанных цифровых технологий и систем интеллектуальной автоматизации процессов энергопотребления и энергосбережения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Содержание диссертационного исследования соответствует специальности 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика: п. 2.11. Формирование механизмов устойчивого развития экономики промышленных отраслей, комплексов, предприятий; п. 2.14 Проблемы повышения энергетической эффективности и использования альтернативных источников энергии.

Научная гипотеза диссертационного исследования базируется на предположении, что стабильное и долгосрочное повышение энергетической эффективности высокотехнологичного промышленного предприятия должно основываться на формировании интегрированной системы энергосбережения, базирующейся на перспективных цифровых технологиях и интегрирующейся в общую цифровую инфраструктуру предприятия.

Теоретическую и методологическую основу исследования составляют труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам энергосбережения в промышленности, интеллектуальной автоматизации и цифровой трансформации предприятий, общей теории систем, комплексной интеллектуальной автоматизации промышленного производства, лучшие теоретические и методологические разработки в сфере исследования систем управления, энергетического менеджмента, управления процессами инновационного развития предприятий, теории стратегического управления.

В процессе проведения исследования автором применялся диалектический подход, методы системного анализа, анализа и синтеза сложных систем, экономического анализа, графической интерпретации и визуализации, экспертных оценок, дедукции и индукции.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования обусловлена проведенным автором анализом действующих нормативных правовых актов, научной литературы, авторитетных отраслевых информационных источников, объективной статистической отчетности. Автором корректно использовались достоверные методы и инструменты научных исследований, а сделанные им научные разработки в качестве базовой основы имеют комплекс уже существующих в

промышленности цифровых и энергосберегающих технологий и систем, что обеспечивает реализуемость и воспроизводимость интегрированной системы энергосбережения на реальном промышленном предприятии.

В процессе проведения диссертационного исследования автором были использованы данные из общедоступных источников, в число которых вошли нормативные правовые акты, определяющий государственную политику в области развития высокотехнологичных отраслей промышленности, энергосбережения и повышения энергетической эффективности, развития механизмов цифровой трансформации экономики и промышленности, данные Министерства энергетики РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства экономики РФ, Министерства науки и высшего образования РФ, официальные данные Федеральной службы государственной статистики РФ, статистическая отчетность и обзорно-аналитические материалы крупных российских и зарубежных статистических агентств, аналитические данные российских и зарубежных консалтинговых агентств, отраслевые стандарты и методические документы, научные статьи и монографии российских и зарубежных ученых, материалы, размещенные на интернет-ресурсах научного и отраслевого профиля.

Научная новизна исследования состоит в разработке нового подхода к повышению энергоэффективности высокотехнологичного предприятия, обеспечивающего интеграцию с автоматизированными и неавтоматизированными службами предприятия, включая механизм энергосервиса.

Наиболее значимые **научные результаты** исследования, полученные лично автором и выносимые на защиту, заключаются в следующем:

1. Предложена новая классификация энергоэффективных технологий в промышленности, отличающаяся широким спектром используемых классификационных признаков, отражающих их отраслевые, пространственные, экономические, инженерно-технические и иные параметры и позволяющая точно идентифицировать и оценить каждую из рассматриваемых для внедрения технологий с точки зрения ее соответствия как техническим, так и экономическим приоритетам специалистов предприятия, ответственных за энергосбережение.

2. Спроектированы структура, состав задач и механизмы взаимодействия в интегрированной системе энергосбережения на промышленном предприятии, сформированной на основе интеграции Единого центра управления и киберфизической подсистемы, включающей в себя комплекс программно-аппаратных решений и цифровых технологий: Подсистему автоматизированного коммерческого и технологического учета топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), Подсистему сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР, Подсистему автоматизированного диспетчерского контроля и управления, Подсистему анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования, Интеллектуальную подсистему и Цифровой двойник. Реализация подобной структуры позволяет максимально задействовать в процессах управления энергосбережением наиболее перспективные цифровые технологии, а также обеспечить экспертную и аналитическую поддержку этих процессов со стороны развитых алгоритмов искусственного интеллекта.

3. Развита методические подходы, позволяющие идентифицировать и оценить экономический, технологический и социальный эффекты от внедрения интегрированной системы энергосбережения на основе детальной оценки отдельных статей затрат на ее формирование и эксплуатацию.

4. Предложен алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии с применением механизма энергетического сервиса, включающий в себя совокупность подготовительных мероприятий, организацию Единого центра управления, формирование киберфизической подсистемы и комплекс мероприятий по интеграции между ее подсистемами.

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в развитии автором теоретических основ энергосбережения с их адаптацией к современным концепциям цифровой трансформации производства, выработке новых подходов к организации систем управления в промышленности, разработке принципов формирования модели системного управления энергоэффективностью, классификации энергоэффективных технологий и классификации задач реализации интегрированной системы энергосбережения, формировании

сценариев экосистемной взаимосвязи между различными цифровыми технологиями в общей цифровой инфраструктуре предприятия, выявлении и идентификации эффектов от внедрения интегрированной системы энергосбережения и источников их образования.

Практическая значимость исследования заключается в получении автором результатов, обладающих практической ценностью для высокотехнологичных предприятий, ориентированных на повышение энергоэффективности и цифровую трансформацию собственных процессов, в числе которых можно назвать следующие: разработан прикладной комплекс подготовительных мероприятий, реализуемый при построении системы; разработана единая система планов, в основе которой лежит стратегия повышения энергоэффективности предприятия; разработано структурное построение интегрированной системы энергосбережения, базирующееся на интеграции ее ключевых подсистем в рамках киберфизической подсистемы; выявлены и систематизированы отдельные эффекты от внедрения системы и источники их образования; развиты методические подходы, позволяющие идентифицировать и оценить экономический, технологический и социальный эффекты от внедрения системы; предложен алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии с применением механизма энергетического сервиса.

Апробация результатов исследования. Отдельные положения диссертационного исследования внедрены в образовательный процесс в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в рамках разработки методического обеспечения для дисциплин «Современный стратегический анализ», «Экономика предприятия», «Планирование на предприятии», «Инновационные энергоэффективные технологии», «Информационно-аналитические технологии энергетического менеджмента».

Полученные автором научные результаты были представлены на международных научных конференциях, к числу которых относятся: 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (г. Москва, 20-24 ноября 2017 г.); XLIV Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские

чтения» (г. Москва, 12-20 апреля 2018 г.); 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (г. Москва, 23-27 ноября 2020 г.); 20-я Международная конференции «Авиация и космонавтика» (г. Москва, 22-26 ноября 2021 г.).

Публикации. Основные теоретические и прикладные результаты диссертационной работы были опубликованы автором лично и в соавторстве. Всего было опубликовано 16 работ, в том числе 2 статьи в издании, входящем в международную реферативную базу Scopus, 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Общий объем опубликованных работ составил 7,03 п.л., доля автора – 6,078 п.л.

В соответствии с п. 11 Положения о присуждении ученых степеней ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, результаты диссертационного исследования были ранее опубликованы автором в рецензируемых научных изданиях (результаты исследования, представленные на стр. 32-33, были опубликованы в статье, указанной под номером [111] Списка литературы; результаты исследования, представленные на стр. 36-44, были опубликованы в статье, указанной под номером [105] Списка литературы).

Объем и структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и семи приложений и включает в себя 31 рисунок и 6 таблиц. Объем диссертации составляет 210 страниц машинописного текста, список использованной литературы содержит 196 наименований.

Во введении автором обосновывается актуальность диссертационной работы, определяются научная гипотеза, объект, предмет, цель и задачи исследования, его научная новизна, обосновывается теоретическая и практическая значимость, приводятся выносимые на защиту основные научные результаты, а также данные об апробации и публикациях полученных автором результатов.

В первой главе «Современное состояние и прикладные аспекты развития энергосбережения в промышленности» рассмотрены вопросы, связанные с анализом современного состояния энергосбережения в промышленности, разработкой классификации энергоэффективных технологий в промышленности с последующим анализом их видов, формированием основных принципов

системного управления энергетической эффективностью в условиях цифрового производства на высокотехнологичном предприятии.

Во второй главе «Методические основы формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии» отражены вопросы, связанные с разработкой цели и задач реализации интегрированной системы энергосбережения, формированием комплекса подготовительных мероприятий, предшествующих ее построению, разработкой системы планов и структуры стратегии комплексного повышения энергоэффективности предприятия, проектированием организационной структуры интегрированной системы энергосбережения.

В третьей главе «Оценка эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии» рассмотрены вопросы, связанные с идентификацией и систематизацией основных эффектов от реализации интегрированной системы энергосбережения и источников их образования, развитием методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения, разработкой алгоритма управления энергоэффективностью высокотехнологичном предприятии.

В заключении автором обобщаются результаты, полученные в рамках проведенного диссертационного исследования.

Глава 1. Современное состояние и прикладные аспекты развития энергосбережения в промышленности

1.1. Анализ современного состояния энергосбережения в сфере промышленности

В современном этапе развития мировой энергетики истощение ограниченных экономических ресурсов становится все более проблематичным, и это вызывает срочную необходимость для руководства Российской Федерации и участников рынка определить и освободить доступные ресурсы. Среди этих проблем особое внимание следует уделить социальным и экономическим кризисам, обусловленным ростом цен на энергоносители, инфляцией, истощением природных ресурсов и другими факторами. Большинство этих проблем непосредственно связано с использованием разнообразных видов ресурсов: энергетических, материальных, финансовых и интеллектуальных.

Одним из факторов стабильного и гармоничного развития экономической системы является эффективное управление энергетическими ресурсами, в процессе которого они используются с максимальной пользой, способствуя приросту национального благосостояния государства. Напротив, неэкономное и бесконтрольное потребление энергетических ресурсов в социальной и экономической деятельности ведет неминуемо к их истощению и перерасходу и как следствие экономическому кризису.

Одним из основных индикаторов развития энергетического сектора и государства является энергоэффективность измеряемая на макроуровне (энергоёмкость ВВП)¹. В развитии государства энергетическая безопасность выступает одним из важнейших аспектов. В её основе лежит разработка и практическое применение различных энергосберегающих технологий и как

¹ Бобылев С.Н. Энергоэффективность и устойчивое развитие / С.Н. Бобылев, А.А. Аверченков, С.В. Соловьева, П.А. Кирюшин— М.: Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2010. 148 с.

следствие повышение энергетической эффективности, применение технологий выступают ключевым фактором экономического роста как страны, так и отдельных предприятий.

Анализ статистического ежегодника мировой энергетики за 2019 год показал, что по уровню энергоёмкости ВВП в мире Россия занимает второе место. Почти половина мирового энергопотенциала приходится на Россию (рис. 1.1).

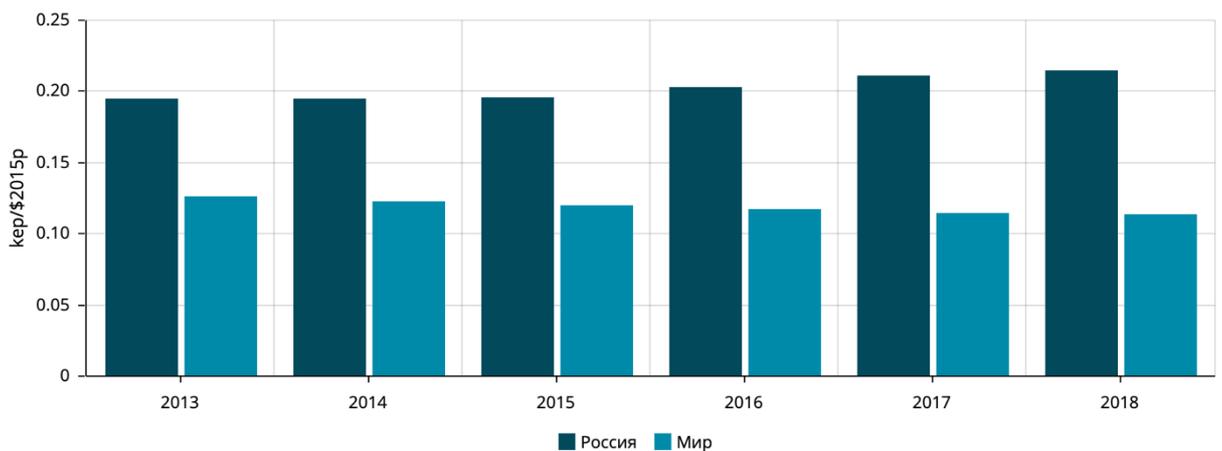


Рис. 1.1. Динамика энергоёмкости ВВП по паритету покупательной способности (ППП) России и мира в период 2013-2018 гг. (ед. измерения: килограмм нефтяного эквивалента/1000 долл. США в ценах 2015-го года (кгп/\$2015р)) (источник: построено автором по данным ²)

По паритету покупательской способности энергоёмкость ВВП России с 2013 по 2018 гг. выросла с 0,195 до 0,215 килограмм нефтяного эквивалента/1000 долл. США в ценах 2015-го года (кгп/\$2015р). В большей мере такой рост обусловлен тарифной политикой и структурой экономики.

В Европейских странах годовой показатель сокращения энергоёмкости варьируется от 1,8 до 1,9 %. Европа является регионом с самым низким показателем энергоёмкости. Не смотря на такую положительную динамику за 2018 г. Европейский регион показал рекордное снижение энергоёмкости в 3,1% (рис. 1.2).

² Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).

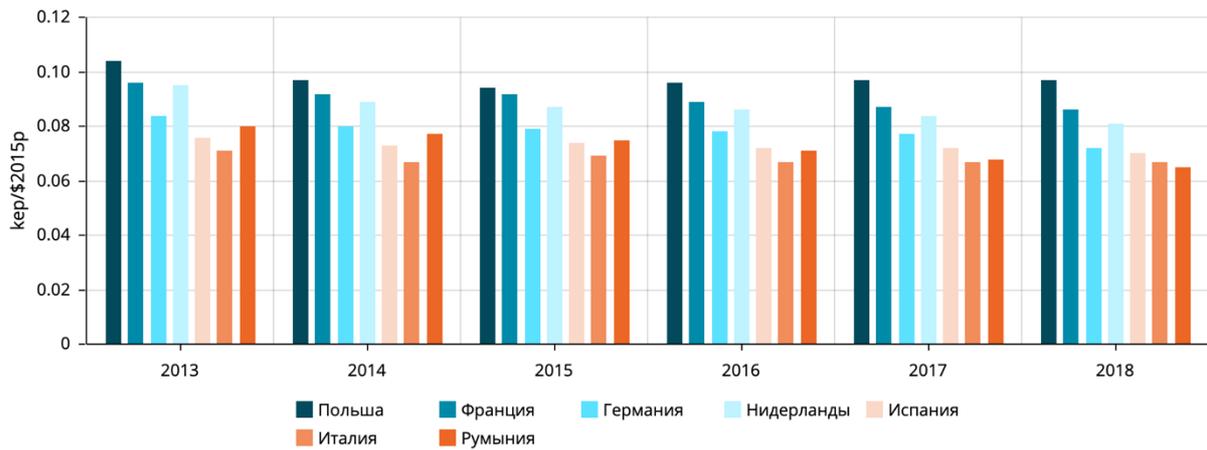


Рис. 1.2. Динамика энергоёмкости ВВП по паритету покупательной способности (ППП) Европы в период 2013-2018 гг. (ед. измерения: килограмм нефтяного эквивалента/1000 долл. США в ценах 2015-го года (кгп/\$2015р)) (источник: построено автором по данным ³)

Сравнение России и Европы по уровню энергоёмкости не в полной мере отражает полную картину высокой энергоёмкости Российской экономики. Следует необходимым сравнить Россию и Китай как лидеров по общему конечному потреблению энергоресурсов (рис. 1.3). В 2013 году в Китае начала действовать политическая программа в области энергоэффективности, ориентированная на энергоёмкие отрасли экономики. Благодаря чему энергоёмкость Китая в период 2013-2018 гг. уменьшилась 0,169 до 0,131 кгп/\$2015р. Китай по сравнению с Россией потребляет энергии на 2,364 Мтое больше и с каждым годом этот показатель увеличивается. В то же время Россия, потребляющая в 3,5 раза меньше энергии, имеет энергоёмкость выше в 1,5 раза. Такая большая разница в статистических данных обусловлена разными подходами в энергетической политике государства. За последние два десятилетия в Китае наблюдается высокий спрос на услуги по внедрению и разработке энергоэффективных технологий с целью достижения целевых показателей по снижению энергоёмкости различных отраслей промышленности.

³ Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).

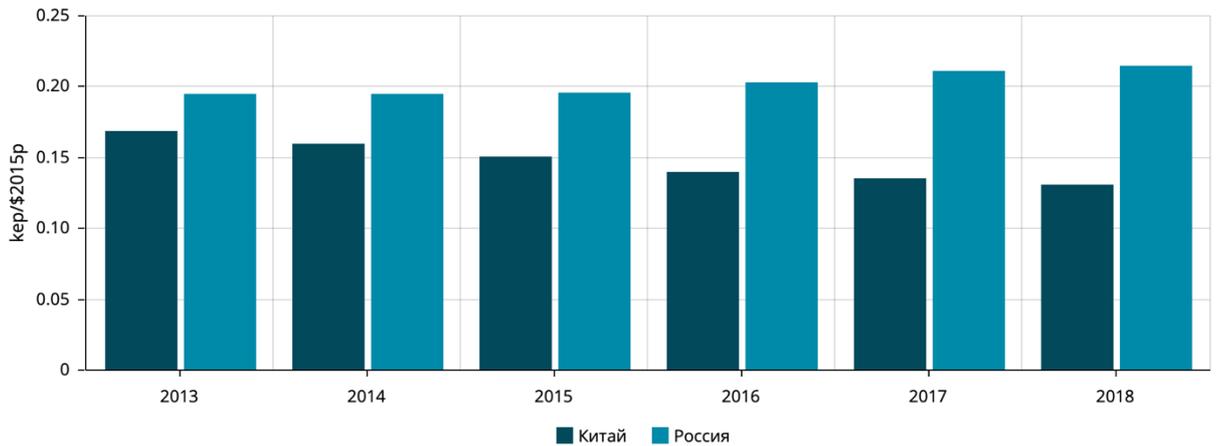


Рис. 1.3. Динамика энергоемкости ВВП по паритету покупательной способности (ППП) России и Китая в период 2013-2018 гг. (ед. измерения: килограмм нефтяного эквивалента/1000 долл. США в ценах 2015-го года (кг/\$2015р)) (источник: построено автором по данным ⁴)

Автор рассматривает статистические данные государственных программ по повышению энергоэффективности экономики. Первой разработана и внедрена в 2010 г. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Основными задачами которой являлись:

- «Обеспечить снижение энергоемкости ВВП на 40 процентов к концу реализации программы;
- обеспечение за счет реализации мероприятий программы годовой экономии первичной энергии в объеме не менее 195 млн. тонн условного топлива к концу реализации программы» ⁵.

На момент утверждения государственной программы (2010 г.) энергоемкость Российской экономики составляла по данным статистического ежегодника мировой энергетики 0,207 кг/\$2015р. Опираясь на основную цель программы энергоемкость ВВП к 2020 году должна составлять ~ 0,127 кг/\$2015р. По

⁴ Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).

⁵ Государственная программа энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. №2446-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://base.garant.ru/58049418/> (дата обращения: 19.05.2022).

фактическим данным 2018 года энергоёмкость России составляет 0,215 кеп/\$2015р. Это на 3,7% больше чем на момент внедрения государственной программы. При анализе диаграммы (рис. 1.4) в период действия программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», наблюдается тенденция снижения энергоёмкости. С 2010 по 2014 гг. энергоёмкость Российской экономики уменьшилась на 6%.

В середине 2014 г. программа была заменена на Государственную программу «Энергоэффективность и развитие энергетики». В период 2014 – 2018 гг. наблюдается увеличение энергоёмкости экономики. Активному росту уровня энергоёмкости послужило сокращение инвестиций в проекты по повышению энергоэффективности. В 2014 г. из предусмотренной субсидии в 19,8 млрд. руб. на развитие и внедрение энергоэффективных технологий на период 2015-2017 гг., было сокращено на 90% и выделено 2 млрд. руб.

За последние 20 лет большинство развитых и развивающихся стран, не обладающих значительными запасами ТЭР, активнее уделяют внимание развитию энергосберегающих технологий. Такой подход способствует быстрому прогрессу этих стран в области снижения энергоёмкости, повышения энергоэффективности и энергосбережения.

Эксперты в области энергоэффективности в ежегодном издании ACEEE (Международная система показателей энергоэффективности) анализируют и оценивают политику по энергоэффективности 25 основных потребителей энергии в мире базирующуюся на 36 показателях. В конечном рейтинге по присвоению баллов Россия занимает 21-е место ⁶.

Специалисты Международного Энергетического Агентства прогнозируют ежегодный глобальный экономический рост в диапазоне от 1,9% до 2,7%, что приведет к увеличению мирового ВВП в 1,9-2,5 раза к 2050 году по сравнению с уровнем 2015 года.

⁶ Castro-Alvarez F. The 2018 International Energy Efficiency Scorecard / F. Castro-Alvarez, Sh. Vaidyanathan, H. Bastian // Washington: American Council for an Energy-Efficient Economy, 2018. 139 p.

В отличие от мировой практики, фактическая энергоёмкость ВВП России с 2015 по 2018 годы увеличилась и превысила уровень энергоёмкости развитых стран вдвое ⁷ (рис. 1.4).

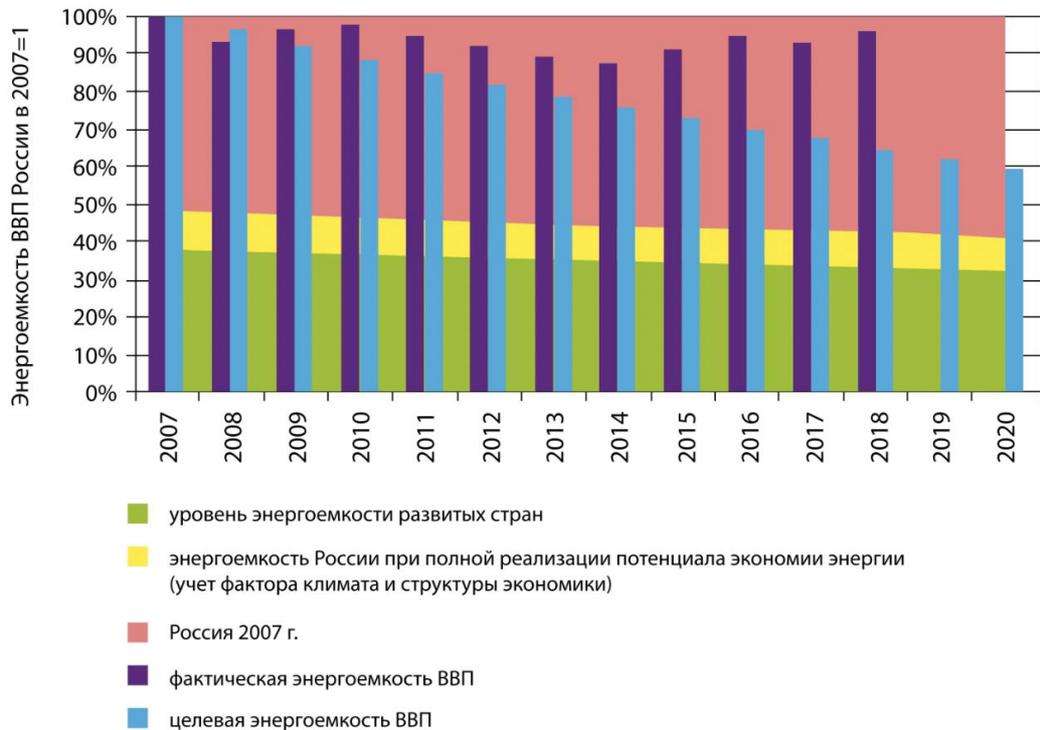


Рис. 1.4. Фактические и целевые значения энергоёмкости ВВП России (ед. измерения: в %) (источник: ⁸)

Следует отметить, что одной из составляющих высокого уровня энергоёмкости ВВП России является неблагоприятные погодные условия, которые обязывают предприятия промышленности использовать тепловую энергию не только в технологических процессах, а также в процессах отопления и вентиляции промышленных объектов. Количество используемой тепловой энергии на прямую зависит от климатических изменений. Как видно из рисунка 1.4 в 2015г. сравнительно мягкий зимний период замедлил рост потребления топливно-энергетических ресурсов, а в холодные 2016 – 2017 гг., на против, способствовала

⁷ Прогноз развития мировой экономики с 2015 по 2050 года / PwC. – 2015 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gtmarket.ru/news/2015/02/11/7089?ysclid=l4cxmwy9n650448075> (дата обращения: 15.04.2021).

⁸ Башмаков И. А. Что происходит с энергоёмкостью ВВП России? [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_28.pdf (дата обращения: 14.02.2020).

его росту ⁹. Автором проведен анализ энергопотребления основных секторов экономики России для более четкого отражения ежегодного роста потребления энергоресурсов (рис. 1.5).

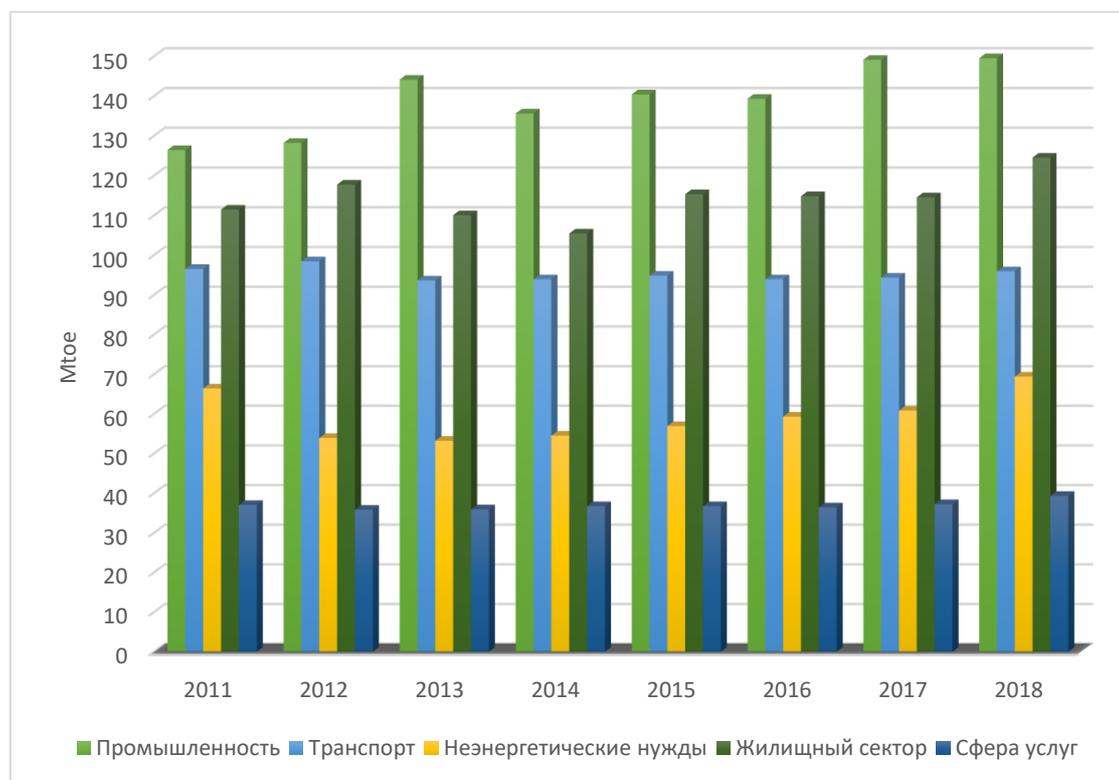


Рис. 1.5. Динамика потребления энергии по основным секторам экономики за период с 2011 по 2018 гг. (ед. измерения: миллион тонн нефтяного эквивалента) (источник: построено автором по данным ¹⁰)

По результатам проведенного анализа, было выявлено, что в период с 2011 по 2018 гг. потребление энергии в промышленности увеличилось с 126,4 до 149,5 млн т.у.т. данный сектор экономики традиционно является наиболее энергоемким сектором Российской экономики. Потребности в энергии увеличились и в жилищном секторе, с 2011 по 2018 гг. потребление выросло на 20,1 млн т.у.т. и составило 124,5 млн. т.у.т..

⁹ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

¹⁰ Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).

Для определения объемов потребления энергетических ресурсов внутри промышленного сектора России, автором был проведен анализ статистических данных (Рис. 1.6).



Рис. 1.6. Объем потребления энергетических ресурсов по секторам промышленной отрасли России с 2015 по 2018 гг. (ед. измерения: в %) (источник: построено автором по данным ¹¹)

Из диаграммы (рис. 1.6) видно, что наибольшая доля потребления ТЭР приходится на добывающую и обрабатывающую промышленности, которые составляют 32% и 27% соответственно от общего потребления всех энергоресурсов в промышленной отрасли России в период с 2015 по 2018 годы. Metallургическая промышленность занимает третье место с долей потребления в размере 19%, что также свидетельствует о её высокой энергоёмкости.

Перед тем, как перейти к выявлению возможных подходов и конкретных действий для решения проблемы высокого энергопотребления, важно определить

¹¹ Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).

понятия «энергоэффективности» и «энергосбережения». На данный момент в научном сообществе отсутствует однозначное определение данных терминов.

В Федеральном законе Российской Федерации № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года по исследуемым понятиям даются следующие трактовки их определений:

- «энергосбережение - реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг)»;
- «энергетическая эффективность - характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю»¹².

И. А. Башмаков определяет «энергетическую эффективность как характеристику, отражающую отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Энергосбережение рассматривается им как реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от

¹² Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009. № 261 - ФЗ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://duma.consultant.ru> (дата обращения: 20.07.2021).

их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг)»^{13,14}.

А. В. Чемезов, Е. Р. Яхина, Н. А. Шамарова рассматривают «энергетическую эффективность как реализацию комплекса мероприятий экономического, организационного, технического, технологического, правового и экологического характера, направленного на увеличение полезного эффекта, приходящегося на единицу потребляемого топливно-энергетического ресурса»¹⁵.

В.В. Ефремов, Г.З. Маркман определяют «энергоэффективность как технически возможное и экономически оправданное качество использования энергоресурсов и энергии при существующем уровне развития техники и технологий»¹⁶.

П.П. Безруких определяет «энергосбережение как реализацию правовых, организационных, научных, производственно-технологических и экономических мер, направленных на энергоэффективное производство и использование ТЭР»¹⁷.

Согласно мнению ученых Р.С. Голова и А.В. Мыльника, энергосбережение не ограничивается отдельными выбранными мероприятиями, а представляет собой системную внедрение с четко определенной структурой и прописанными алгоритмами реализации энергосберегающих технологий¹⁸.

¹³ Башмаков И. А. Повышение энергоэффективности - главный энергетический ресурс / И. А. Башмаков [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/Study.ppt> (дата обращения: 12.06.2020).

¹⁴ Башмаков И. А. Что происходит с энергоемкостью ВВП России? С. 5 [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_28.pdf (дата обращения: 14.02.2020).

¹⁵ Чемезов А.В. К вопросу определения понятия "энергоэффективность" / А. В. Чемезов, Е. Р. Яхина, Н. А. Шамарова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 10(105). – С. 261.

¹⁶ Ефремов В.В., Маркман Г.З. «Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности // Известия Томского политехнического университета. - Томск: ТПУ, 2007. - № 4. - Т. 311. С. 148.

¹⁷ Безруких П.П. Проблемный переход на новый уровень: позиции науки, законодателей и руководителей государства и ведомств пока не совпадают [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vce34.ru/press-center/103>.

¹⁸ Голова Р.С., Мыльник А.В. Концептуальные основы реализации комплекса энергетического менеджмента в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Научные труды Вольного экономического общества России. 2013. Т. 174. С. 100-105.

На основании исследования научных информационных источников, касающихся рассматриваемой проблемы, считается возможным сформулировать определение энергосбережению, опираясь на опыт экспертов Голова Р. С. и Мыльника А. В.: энергосбережение – это то количество топливно-энергетических ресурсов, на которое может быть сокращен их расход посредством системного внедрения и разработки четко выверенной структуры энергосберегающих мероприятий.

По данным Министерства экономического развития Российской Федерации общее конечное потребление всех энергоресурсов на территории страны за 2018 г. составило 879,1 млн. т.т.¹⁹ По экспертной оценке, профессора Башмакова И. А. потенциал энергоёмкости Российской экономики составляет 50% от общего потребления всех энергоресурсов на территории страны за год²⁰. В следствии вышеизложенного представляется возможным вычислить потенциал энергосбережения посредством деления общего конечного энергопотребления. Совокупный потенциал энергосбережения российской экономики составляет 440 млн. т.у.т. (рис. 1.7).

¹⁹ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

²⁰ Башмаков И. А. Повышение энергоэффективности - главный энергетический ресурс / И. А. Башмаков [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/Study.ppt> (дата обращения: 12.06.2020).

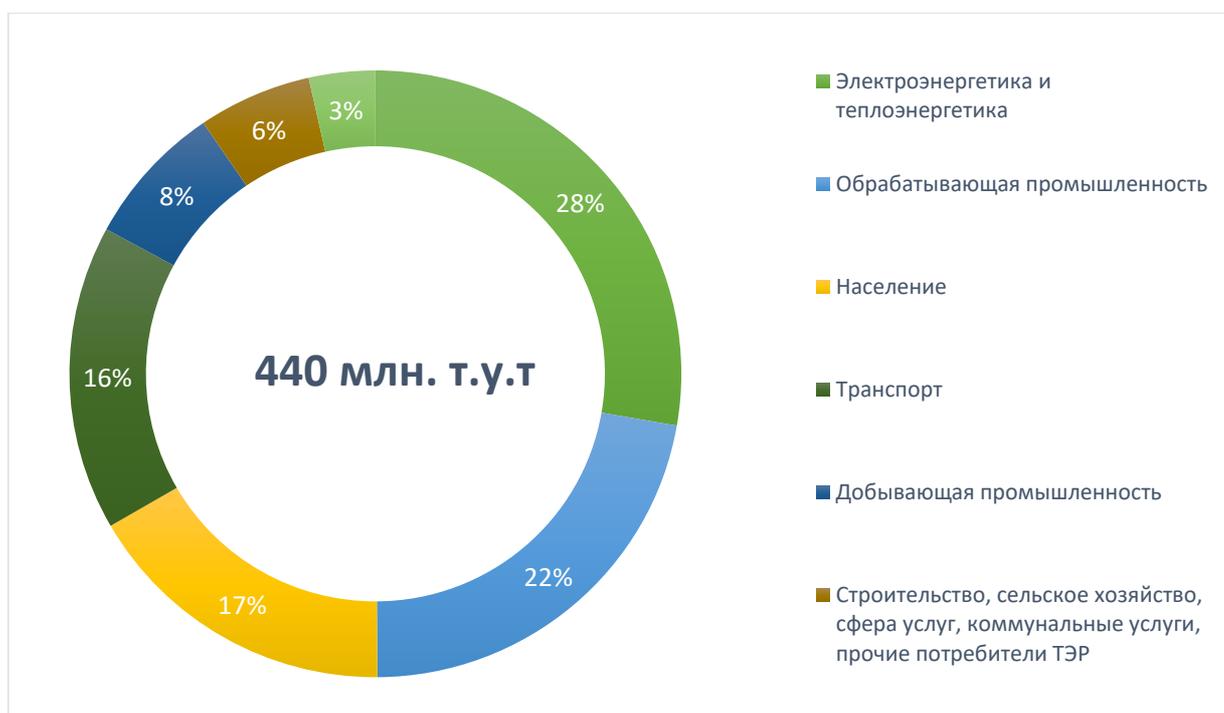


Рис. 1.7. Потенциал энергосбережения российской экономики 2018 г. (ед. измерения: в %) (источник: построено автором по данным ²¹)

Электроэнергетика и теплоэнергетика имеют наибольший потенциал энергосбережения 121,9 млн. т.у.т. или 28% от общего числа. Вторым сектором по потенциалу энергосбережения выступает обрабатывающая промышленность и составляет 97,5 млн. т.у.т. или порядка 22%. Потенциал экономии в транспортной отрасли равен 71,5 млн. т.у.т. или около 16%. В 2018 г. на все субъекты Российской Федерации в целях реализации мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности было привлечено 188 млрд. руб. инвестиций. Из внебюджетных источников было выделено 128 млрд. руб.

Проанализируем распределение инвестиций в мероприятия по энергосбережению и повышению энергоэффективности в субъектах Российской Федерации (рис. 1.8).

²¹ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

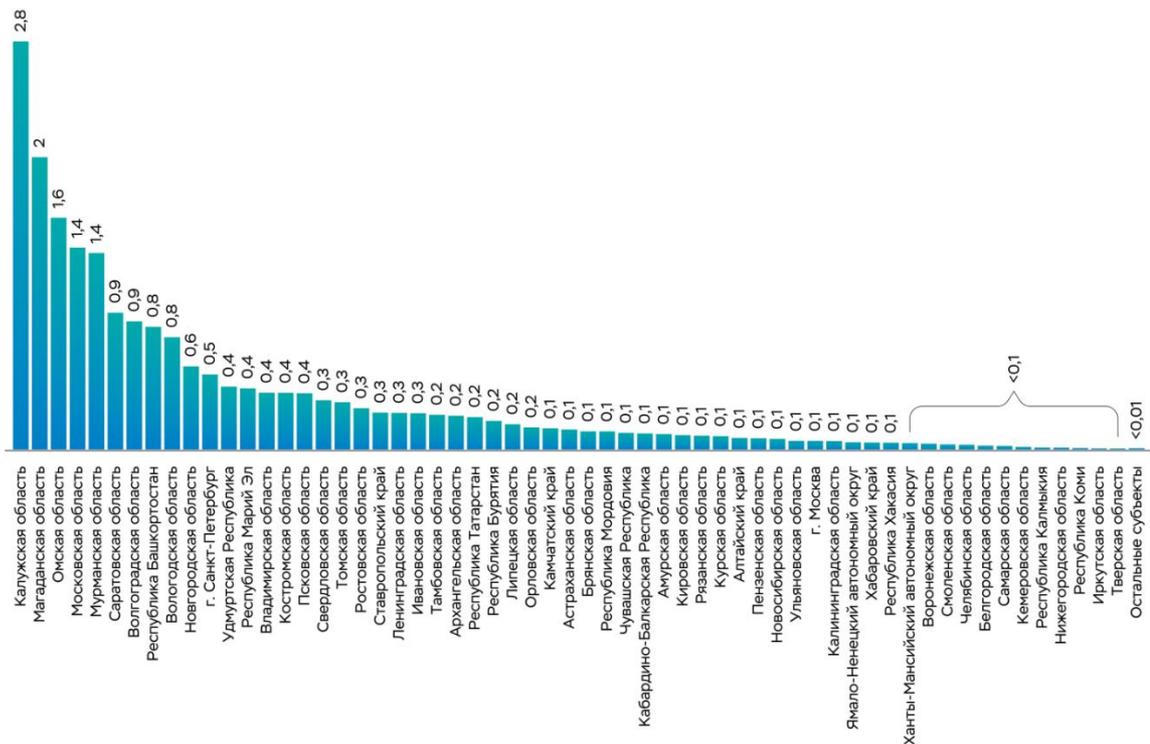


Рис. 1.8. Распределение инвестиций в мероприятия, направленные на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, по отношению к ВРП в субъектах Российской Федерации в 2018 г. (ед. измерения: в %) (источник: построено автором по данным ²²)

Из представленной диаграммы видно, что наибольшая доля привлеченных инвестиций (9,2%) сосредоточена в Калужской, Магаданской, Омской, Московской и Мурманской областях. В этих регионах ведется активная инвестиционная деятельность. Крупнейшие машиностроительные предприятия России, такие как "Уральский завод тяжелого машиностроения", "Ростельмаш", "Ижорские заводы", "Авиастар" и другие, расположены в Удмуртской и Мордовской республиках, Ростовской, Ульяновской и Нижегородской областях. В этих регионах общая доля инвестиций составляет 0,8% или примерно 2 млрд. руб.

По мнению автора, обобщившего опыт ведущих российских и зарубежных ученых в данной области основными способами снижения энергоемкости и повышения энергоэффективности секторов экономики, могут выступать:

1. Стабильные финансовые, организационные и мотивационные

²² Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

поддержки со стороны государства ^{23,24};

2. Инновационные решения при разработке и внедрении энергосберегающих технологий ^{25,26};
3. Энергосервисные контракты ^{27,28};
4. Инвестиционные программы ²⁹;
5. Системно подготовленные кадры, обладающие компетенциями в области энергосбережения ^{30,31}.

Далее в диссертационном исследовании рассмотрены вопросы распределения фактической доли экономии энергии с помощью применения энергосервисных контрактов.

За рассматриваемый период с 2016 по 2018 гг. было заключено 777 энергосервисных контрактов. За 2018 г. суммарная стоимость их составила 44137 млн. руб. это на 35715 млн. руб. больше чем за 2016г. Основная часть энергосервисных контрактов приходится на объекты социальной сферы: учреждения здравоохранения, общеобразовательные учреждения и дошкольные общеобразовательные учреждения и составляют 59% (427 контрактов). Вторым по количеству контрактов занимают услуги по уличному освещению 21% (150

²³ Артемьев В.С. Решение проблем снижения энергоемкости Российской экономики / В. С. Артемьев, В. А. Алексеев, А. А. Васильев // Символ науки: международный научный журнал. 2015. № 10-1. С. 11-14.

²⁴ Можаяев Е. Е. Снижение энергоемкости экономики России: состояние, тенденции, перспективы / Е. Е. Можаяев, Н. С. Сафронов, А. А. Абрамов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 3-1. С. 222-224.

²⁵ Ляпунцова Е. В. Приоритетные инструменты снижения энергоемкости национальной промышленности / Е. В. Ляпунцова, Н. Р. Гукасова // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1-2 (34). С. 8.

²⁶ Шинкевич А. И., Барсегян Н. В. Пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации // Русский инженер. 2019. № 4 (65). С. 48-51.

²⁷ Теплышев В. Ю. Концептуальные основы развития системы энергетического сервиса в контексте модернизации энергетической системы России / В. Ю. Теплышев // Научные труды Вольного экономического общества России. 2013. Т. 174. С. 195-206.

²⁸ Теслюк Л. М. Повышение энергетической эффективности в Свердловской области как фактор социально-экономического развития региона / Л. М. Теслюк, Н. В. Дукмасова, А. Ю. Бояринов // Дискуссия. 2020. № 4(101). С. 52-62.

²⁹ Сурнина Н.М. Механизмы инфраструктурного энергетического обеспечения регионального развития / Н. М. Сурнина, Е. А. Шишкина, Н. В. Новикова, А. Г. Дьячков. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2019. 172 с.

³⁰ Теплышев В. Ю. Подготовка кадров для энергоэффективной экономики: опыт кафедры "энергетический сервис и управление энергосбережением" / В. Ю. Теплышев // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2017.

³¹ Голов Р. С. Подготовка энергоменеджеров для управления электрическими сетями / Р. С. Голов, В. Ю. Теплышев, А. В. Мыльник // Электрические станции. – 2017. – № 10(1035).

контрактов). Многоквартирные дома, котельные и объекты электросетевого хозяйства 4% (30 контрактов)³² (рис. 1.8).

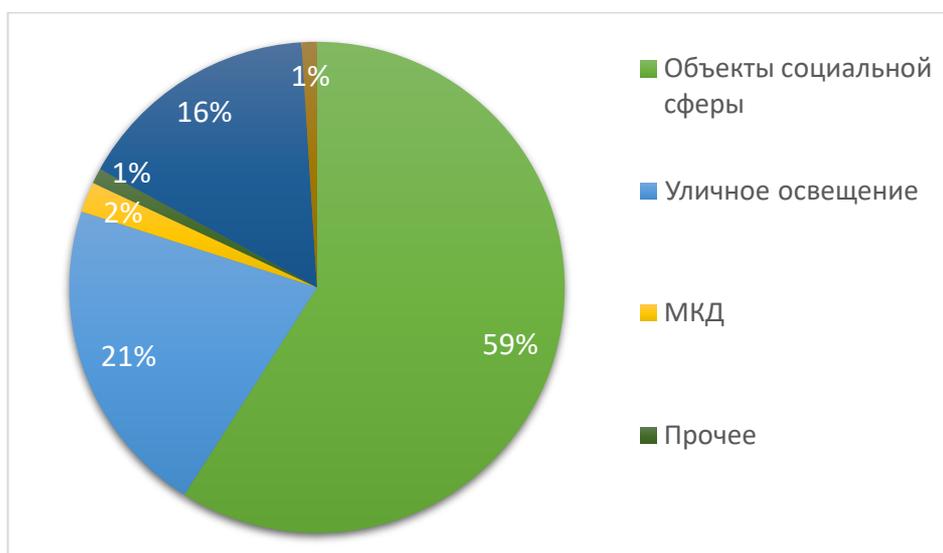


Рис. 1.9. Распределение энергосервисных контрактов по объектам реализации мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (ед. измерения: в %) (источник: построено автором по данным³³)

Достаточно активно механизм энергетического сервиса применялся в области экономии газа и тепловой энергии. При реализации энергосберегающих мероприятий в целях экономии электроэнергии одним из наиболее востребованных мероприятий стала модернизация уличного освещения посредством установки светодиодных ламп (рис. 1.9).

³² Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

³³ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

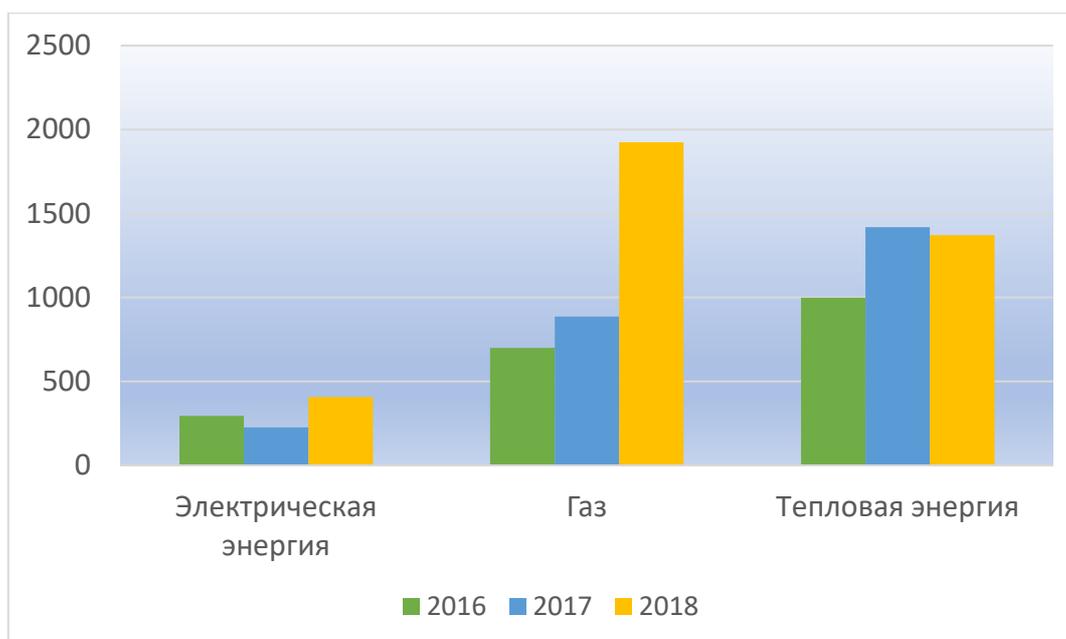


Рис. 1.10. Распределение энергосервисных контрактов по объектам реализации мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (ед. измерения: в шт.) (источник: построено автором по данным ³⁴)

По данным Министерства экономического развития. В результате внедрения энергосервисных договоров в 2018 году были достигнуты следующие экономические показатели: сокращение потребления тепловой энергии на 1,37 млн. Гкал, снижение потребления электрической энергии на 407,4 млн. кВт ч. и сэкономлено 1,92 млн. м³ природного газа ³⁵.

На основе проведенного анализа, состояния энергосбережения промышленности России, автором был выявлен низкий уровень эффективности использования топливно-энергетических ресурсов промышленными предприятиями. Реализация различных государственных программ, направленных на повышение энергоэффективности, внедрение энергосервисных договоров,

³⁴ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

³⁵ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).

внедрение энергосберегающих технологий не существенно влияют на снижение энергоемкости Российской экономики. В этой связи для повышения эффективности и конкурентоспособности российской промышленности особую важность приобретает системное внедрение современных энергоэффективных технологий, понятие, сущность и классификация которых будет рассмотрена в следующем параграфе.

1.2. Понятие, сущность и классификация энергоэффективных технологий

Системное повышение уровня энергоэффективности на промышленных предприятиях основывается на практическом внедрении мероприятий по энергосбережению, основанных на применении энергоэффективных технологий. Технологическая составляющая является ключевым элементом деятельности в области энергосбережения, точное и своевременное использование энергоэффективных технологий в рамках энергетического «переворужения» предприятия определяет возможность достижения энергетического эффекта, его количественную величину и соответствующий экономический эффект, получаемый в результате.

Этимологически термин «технология» образуется от сочетания двух слов древнегреческого языка (τέχνη – умение, мастерство; λόγος – смысл, слово), буквально означая осмысленное применение неких логически обусловленных знаний на практике. Впервые данный термин был введен немецким ученым Иоганном Бекманом в 1772 г. И. Бекман известен в немецкой науке как активный просветитель и популяризатор науки и различных ремесел, посвятивший немалую часть жизни обучению студентов не только теории, но и практике ремесленного дела. Термин «технология» был введен им в целях обособления определенных совокупностей простейших операций с тем, чтобы упростить процесс обучения

студентов и дифференцировать в их понимании отдельные этапы создания продукции в ремесленных мастерских.

Учитывая универсальность данного термина, свое применение в последующие столетия он нашел практически во всех областях человеческой деятельности, отражая, в большинстве случаев, определенную последовательность действий, необходимую для завершения определенного локального этапа или всей работы. При этом, в западной языковой системе греческое написание «τέχνη» уступило место созвучному латинскому варианту «techne», обладавшему тем же смысловым значением. В современной экономической науке исследования термина «технология» проводились, преимущественно, в контексте его применения к промышленной сфере, в которой он обозначал некую последовательность взаимосвязанных базовых неделимых операций, основанную на фундаменте прикладных *знаний* из конкретной области производства (аспект, относящийся к λόγος) и направленную на *достижение определенного результата* (аспект, отражающий τέχνη как активную функцию практического применения имеющихся знаний) в соответствии с заранее заданными техническими критериями. Таким образом, в самом простом понимании технология представляет собой осмысленное применение имеющихся знаний при создании или преобразовании чего-либо.

В сфере энергосбережения энергоэффективные технологии занимают центральное место, составляя основной каркас всей деятельности по повышению энергоэффективности. При этом, аспект, связанный с λόγος, в случае энергоэффективной технологии отражает уровень познания и понимания специалистом как самих основ энергосбережения, так и сущности, структуры, энергетических и технологических параметров объекта, на котором реализуются энергосберегающие мероприятия. В свою очередь, аспект τέχνη определяет практические навыки и компетенции, которые используются специалистом при внедрении энергосберегающих мероприятий и напрямую влияют на их итоговую эффективность.

В современной методологии энергосбережения, в научной и методической литературе, часто используются равнозначные термины: «энергосберегающая технология» и «энергоэффективная технология». Рассмотрим отдельные определения данных понятий, выраженные в нормативно-правовых актах и научных работах отечественных и иностранных ученых. «Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53905-2010 «Энергосбережение. Термины и определения» является основным актом в сфере стандартизации энергосбережения, согласно положениям которого, «энергосберегающая технология: новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов»^{36,37}. М.А. Щеголихина в своем исследовании приводит более лаконичное определение: «Энергосберегающие технологии – технологии, направленные на экономичное использование энергии, создаваемой различными источниками»³⁸. В.В. Поляков, В.И. Косарев и Б.И. Волостнов считают, что: «К энергосберегающим технологиям относятся новые или усовершенствованные технологические процессы, характеризующиеся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов»³⁹.

Из проведенного анализа указанных определений становится ясно, что авторы предпочитают использовать краткие формулировки, которые не всегда отражают полную сложность технологий и механизмов, лежащих в основе этих эффектов, которые, в свою очередь, являются главной целью при внедрении подобных решений. Помимо этого, вышеперечисленные определения

³⁶ ГОСТ-Р 53905-2010 «Энергосбережение. Термины и определения». Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.11.2010 № 350-ст 2018 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200083323?ysclid=l4er4lk4w786926405> (дата обращения: 19.04.2022).

³⁷ Кошелев, А. С. Системный подход к внедрению энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 1. С. 44-51.

³⁸ Щеголихина М.А. Энергосберегающие технологии - технологии будущего // Прогрессивные технологии и процессы - Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции. 2015. С. 193.

³⁹ Волостнов Б.И. Энергосберегающие технологии и проблемы их реализации (зарубежный опыт) / Б.И. Волостнов, В.В. Поляков, В.И. Косарев. // Журнал «Информационные ресурсы России». 2010. № 2. С. 7.

рассматриваемого понятия разрабатываются авторами независимо от конкретных областей, в которых применяются энергоэффективные технологии. Учитывая эти факторы, автор разработал собственное определение данного термина применительно к промышленности, согласно которому, *энергоэффективная технология – это экономически и технически обоснованная технология, разработанная с целью эффективного использования топливно-энергетических ресурсов в производственном процессе изделия с возможностью увеличения технологической эффективности оборудования, а также экономической целесообразности ее внедрения.* Из данного определения следует возможным выделить, сущность и значимость энергоэффективной технологии как с технологической, так и экономической точек зрения. «В первую очередь, следует уделить внимание аспекту энергоэффективной технологии, а именно воздействию на энергоемкость производственной системы, в которую она внедряется. В устойчиво функционирующем предприятии каждой производственной операции присуще определенное значение энергоемкости»⁴⁰. Этот показатель отражает количество энергоресурсов и энергии, затрачиваемые для выполнения производственной операции, учитывая технические значения энергоемкости соответствующего оборудования. Совокупной энергоемкостью производства единицы готовой продукции является сумма энергоемкостей всех этапов производственного цикла. Повышение энергоэффективности предприятия предполагает снижение энергоемкости производства без ущерба темпу работы оборудования и количества выпускаемой продукции. Энергоэффективная технология, внедряемая в производственную систему, должна обеспечивать сохранение или снижению установленных показателей энергоемкости на стабильно функционирующем предприятии.

Следующим важным аспектом, отраженным в данном определении, является экономическая целесообразность реализуемой энергоэффективной технологии.

⁴⁰ Кошелев, А. С. Системный подход к внедрению энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 1. С. 44-51.

Простыми словами, это разница между результатами, получаемыми при внедрении этой технологии (обычно выраженными в экономическом плане через количество сэкономленных энергоресурсов), и различными затратами по внедрению технологии. Окупаемость энергоэффективной технологии рассчитывается индивидуально, учитывая ее масштаб влияние на производственную систему предприятия, затраты на ее приобретение (разработку) и внедрение, а также потенциальные выгоды от ее использования в средне- и долгосрочной перспективе. Так же, внедряемая энергоэффективная технология должна обладать такими качествами как масштабируемость и модульность, означающие ее последовательное внедрение в различных подразделениях предприятия.

Таким образом, при рассмотрении внутренней сущности энергоэффективной технологии в качестве основного элемента энергосбережения на предприятии следует отметить несколько ключевых факторов. В первую очередь, данная технология должна быть гибкой (внедрение в технологическую архитектуру предприятия, технически развитой и иметь приемлемый срок окупаемости. Внесение значительных изменений в архитектуру неизбежно сопряжено с определенными рисками, которые могут привести к снижению технологической эффективности. Эти риски проявляются в сложностях, связанных с установкой нового оборудования и перенастройкой существующего, а также в сокращении объемов производства и эффективности работы производственного оборудования. Оптимальная энергоэффективная технология заключается в легкой адаптивности и улучшении эффективности текущей производственной конфигурации, что позволяет реализовывать ее без существенных технических изменений оборудования и энергосистемы предприятия. Такой подход позволяет достичь максимальной экономической эффективности внедряемой технологии, поскольку он существенно снижает сопутствующие затраты на ее внедрение, достигаемые за счет отсутствия необходимости приобретения нового оборудования или кардинальной модернизации энергосистемы предприятия.

В рамках системного подхода к внедрению энергосберегающих технологий предусмотрен ряд предварительных мероприятий, среди которых первоначальным

выступает энергетический аудит. Энергетический аудит представляет собой комплексное обследование энергосистемы предприятия с целью выявления неэффективного использования топливно-энергетических ресурсов, неэффективного оборудования, изношенные участки инженерной сети и других факторов, которые приводят к высоким показателям энергоемкости предприятия. Энергетический аудит проводится специалистами энергосервисных компаний, которые обладают квалифицированными инженерно-техническими специалистами, необходимым оборудованием для контроля и измерений, а также являются членами отраслевых саморегулируемых организаций. Энергоаудит включает в себя два этапа: документальный аудит и приборный аудит. Перед основным этапом работы специалисты проводящие энергоаудит на встрече с руководством предприятия определяют общие цели и масштабы исследования. Документальный аудит включает получение специалистами полной технической документации оборудования и систем энергохозяйственной структуры предприятия, а также документации, отражающей потребление топливно-энергетических ресурсов предприятием за расчетный период (3-4 года). Анализируя данную информацию, специалисты рассчитывают экономические показатели, отражающие фактический уровень энергоэффективности предприятия.

Приборный аудит является следующим этапом в рамках энергетического аудита. На этом этапе специалисты выезжают на предприятие, чтобы провести обследование его ограждающих конструкций и инженерных систем с применением специализированного оборудования. При проведении приборного аудита выполняются следующие мероприятия: оценка теплоизолирующих свойств и обнаружение "мостиков холода" в ограждающих конструкциях с использованием тепловизионного сканирования, проверка качества подачи электроэнергии к потребляющим приборам предприятия, обследование систем центрального отопления, горячего водоснабжения, выявление дефектных участков в инженерных сетях зданий, а также проведение других соответствующих процедур. После завершения приборного аудита команда специалистов составляет отчет,

включающий набор рекомендуемых энергоэффективных технологий и различных мероприятий учитывающие отраслевые особенности предприятия.

В рамках системного подхода к энергосбережению важным этапом является установка приборов технологического и коммерческого учета потребляемых энергоресурсов. Разработка системы учета топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является необходимым условием для эффективного управления энергопотреблением и энергосбережением на предприятии. Для этого специалистам и руководству предприятия необходимы объективные данные о текущем и прошлом уровнях потребления различных видов ТЭР, на основе которых можно провести анализ эффективности энергосистемы предприятия. Следовательно, установка приборов учета энергии и энергоресурсов является предварительным шагом перед внедрением энергосберегающих технологий и мероприятий. Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения для визуализации данных об энергопотреблении, получаемых от узлов учета, приводится в Приложении 1.

«Классификация энергоэффективных технологий является важным методическим инструментом при системном внедрении энергосберегающих мероприятий в промышленности. Данная классификация позволяет выбрать и систематизировать различные технологии в соответствии с основными классификационными признаками или критериями.

В рамках диссертационного исследования автором была разработана собственная классификация энергоэффективных технологий, которая учитывает отдельные классификационные признаки (таблица. 1.1).

Таблица 1.1

**Классификация энергоэффективных технологий в промышленности
(источник: составлено автором)**

№ п/п	Классификационный признак	Виды энергоэффективных технологий
1.	Отраслевая принадлежность	Профильные отраслевые технологии Межотраслевые (универсальные) технологии

2.	Масштаб внедрения технологии	Технологии микроуровня (уровень участка, сборочной линии, локального комплекса оборудования)
		Технологии мезоуровня (уровень цеха, корпуса предприятия)
		Технологии макроуровня (уровень всего предприятия)
3.	Тип инженерной системы для внедрения технологии	Технологии для систем отопления
		Технологии для систем ГВС и ХВС
		Технологии для систем электроснабжения
		Технологии для систем вентиляции и кондиционирования
4.	Наличие инновационного потенциала	Инновационные технологии
		Технологии без инновационного потенциала
5.	Использование технологий возобновляемых источников энергии	Технологии, базирующиеся на использовании возобновляемых источников энергии
		Технологии, ориентированные на использование не возобновляемых источников энергии
6.	Уровень затратности технологий	Малозатратные технологии
		Средне-затратные технологии
		Высокозатратные технологии

Рассмотрим более подробно различные типы технологий, направленные на повышение энергоэффективности, исходя из классификационных признаков, представленных в классификации (таблица 1.1). При выборе технологий для внедрения энергосбережения на предприятии очень важно учитывать уровень специфики отрасли. энергоэффективных технологий в соответствии с классификационными признаками, представленными в таблице 1.1 классификации»⁴¹. Следует отметить, что уровень специфики отрасли является важным фактором при выборе технологий для внедрения на предприятии. В зависимости от поставленных задач специалисты по энергосбережению могут

⁴¹ Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.

использовать специализированные технологии, адаптированные для конкретной отрасли.

Профильные отраслевые технологии представляют собой решения, специально разработанные для полной интеграции в производственно-технологические процессы конкретной отрасли и взаимодействия с сложным оборудованием этой отрасли. «В основе большинства таких технологий лежит сложная оптимизация самих процессов и оборудования, при их разработке требуется значительный научно-исследовательский труд опытных ученых, обладающих глубокими знаниями в области организации внутренних технологических процессов отрасли»⁴². Основываясь на опыте и понимании основ отраслевого производства, эксперты способны определить потенциальные возможности для улучшения энергоэффективности производства и вывести скрытые технологические факторы.

Технологии с высокой степенью универсальности, такие как межотраслевые технологии, могут успешно применяться в различных отраслях промышленности. Такая характеристика достигается за счет коммутации с большой разновидностью энергосистем предприятий и промышленного оборудования. Одним из примеров такой технологии выступает частотный привод, устанавливаемый в насосной группе котельного оборудования, позволяющий сократить потребление энергии на ~ 15%. Среди преимуществ межотраслевых энергоэффективных технологий можно выделить следующие: широкий спектр технологических и ценовых решений, что позволяет специалистам ЭСКО создавать оптимальные конфигурации (масштабируемые на разных уровнях), учитывая выявленные проблемы в энергосистеме предприятия.

С точки зрения масштаба внедрения, технологии можно разделить на три уровня: 1. Микроуровень, 2. Мезоуровень, 3. Макроуровень. Технологии первого уровня отвечают за повышение энергоэффективности определенных сборочных,

⁴² Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.

производственных зон и конкретного оборудования. Использование таких технологий актуально тогда, когда на предприятии имеются устаревшее оборудование и производственные линии с высоким энергопотреблением, что негативно влияет на общий энергобаланс предприятия. В этом случае целевая энергоэффективная модернизация такого оборудования может привести к значительному снижению энергопотребления производственного процесса.

Применение энергоэффективных технологий второго уровня (мезоуровень) предполагает внедрение технологий в цехах или отдельных зданиях предприятия с целью достижения значительных показателей уровня энергоэффективности на предприятия в целом. Рассматриваемый уровень предоставляет возможность внедрять технологии, направленные на улучшение энергоэффективности оборудования, находящегося внутри цеха, а также реализовывать энергосберегающие технологии в цехах или отдельных зданиях. В рамках масштаба цеха могут быть использованы следующие масштабируемые технологии: интеллектуальная автоматизация электропитания производственного оборудования. «Так же специалистами ЭСКО анализируется энергоемкость технологических операций процесса производства продукции в разрезе всего производственно-технологического цикла на уровне цеха, полученные результаты могут послужить основой для оптимизации производственного процесса»⁴³. Для повышения энергоэффективности в энергосистеме цеха широко используется автоматизированная система управления освещением, позволяющая сэкономить ~50% потребляемой электрической энергии.

Следующий уровень по масштабу внедрения энергосберегающих технологий является макроуровень, мероприятия данного уровня требуют проектного подхода учитывающего принятую энергосберегающую политику предприятия. Перед внедрением таких мероприятий, как уже отмечалось в диссертационном исследовании, требуется выполнение монтажных работ по установке приборов

⁴³ Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.

учета на всей энергосистеме предприятия с программной настройкой системы учета энергоресурсов. Такая система выступает в роли единой программно-аппаратной платформы, позволяющая осуществлять контроль и оперативное управление энергопотреблением и энергосбережением на предприятии. Она интегрирует в себе все данные о текущих энерготехнологических процессах, обеспечивая эффективное управление на уровне предприятия. Наличие такой системы на предприятии обеспечивает возможность оценки эффективности внедрения энергосберегающих технологий и мероприятий.

Комплексные технологические решения на макроуровне представляют собой масштабные подходы, которые включают в себя оптимизацию энергетических контуров и систем предприятия с целью снижения энергопотребления. «Среди примеров таких технологий на макроуровне выделяют следующие: внедрение интеллектуальных автоматизированных технологий и устройств класса Smart Grid в системы распределения электрической энергии, применение передовых систем мониторинга и аналитики для выявления и устранения энергетических потерь и неэффективных процессов. Перед выбором внедряемых энергоэффективных технологий макроуровня, которые обычно сопряжены с высокой финансовой стоимостью и сложностями внедрения, необходимо провести расчеты и оценить их экономическую эффективность. Такие расчеты предоставляют руководству предприятия необходимую информацию для принятия решений, включая данные о сроках окупаемости технологий и уровне их рентабельности»⁴⁴.

Рассматривая энергоэффективные технологии в зависимости от целевых инженерных систем, в которых осуществляется их внедрение, они включают в себя технологии повышения энергоэффективности, реализуемые в системах отопления, системах вентиляции, системах ГВС и ХВС. При осуществлении мероприятий по энергосбережению в инженерных системах предприятия следует уделять внимание выявленным проблемам в ходе энергетического аудита, без этого внедрение

⁴⁴ Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.

энергоэффективных технологий не сможет привести к ожидаемому сокращению потребления энергоресурсов до тех пор, пока существующие проблемы не будут устранены.

Важным классификационным признаком выступает наличие у внедряемой энергоэффективной технологии инновационного потенциала. В зависимости от этого фактора, различают инновационные энергоэффективные технологии и технологии, базирующиеся на традиционных принципах и хорошо известных в науке и практике технических решениях. К инновационным технологиям относятся те решения, которые базируются на новых научных разработках и позволяют решать задачу энергосбережения с более высокой степенью эффективности, нежели уже имеющиеся на рынке технологии. При этом, с позиции технологической сущности, такие технологии могут быть представлены новыми материалами, электронными устройствами, программным обеспечением и программно-аппаратными комплексами, принципиальными схемами организации энергообеспечения и т.д.

Одной из наиболее известных и общеприменимых в последние годы инновационных энергоэффективных технологий стали источники освещения на базе светодиодов. Высокие энергоэкономические показатели данной технологии (экономия до 90% потребляемой электроэнергии по сравнению с традиционными лампами накаливания при обеспечении сходных показателей освещенности) сделали ее одним из ключевых трендов в сфере повышения энергоэффективности систем внутреннего и уличного освещения. В практике энергосбережения на промышленных предприятиях светодиодные источники освещения часто устанавливаются совместно с еще одной инновационной энергоэффективной технологией – системами автоматизации освещения, в основе которых лежит использование датчиков и сенсоров, фиксирующих присутствие в производственных помещениях людей, и релейной автоматики, отключающей питание ламп в том случае, если персонал покидает эти помещения.

Еще одной инновационной технологией, способствующей повышению энергоэффективности предприятия, являются теплообменники, устанавливаемые в

системах вентиляции и кондиционирования здания и выполняющие функцию рекуперации теплого или холодного воздуха. Данная технология одинаково эффективна и в зимнее, и в летнее время. К примеру, при работе вентиляционной системы в зимнее время, вместе с выводимыми из здания потоками воздуха, отводится также тепло, что приводит к необходимости дополнительной нагрузки на систему отопления и, как следствие, к повышению энергоемкости процессов отопления здания. Использование теплообменника позволяет задерживать тепловую энергию, передавая ее от исходящих из системы вентиляции потоков воздуха в каналы притока, по которым в здание поступает свежий воздух из наружной среды. Тем самым, снижается нагрузка на систему отопления, поскольку уже выработанная ей тепловая энергия возвращается во внутренний контур системы вентиляции. Аналогичный механизм рекуперации происходит в летний период времени с той разницей, что в этом случае речь идет о снижении нагрузки на систему кондиционирования, охлаждающую воздух в производственных помещениях предприятия.

К числу безусловных лидеров среди инновационных энергоэффективных технологий последних лет относятся различные системы и программно-аппаратные комплексы, основной задачей которых является автоматизация процессов энергопотребления и энергосбережения. Рост их популярности в прошедшие несколько лет в полной мере соответствует более глобальным тенденциям, связанным с повсеместным внедрением в промышленности технологий Четвертой промышленной революции. Подобные системы направлены, прежде всего, на сквозную цифровизацию производственных процессов предприятия посредством повсеместного внедрения инфраструктуры Промышленного интернета вещей – подключаемых к оборудованию и энергетическим установкам датчиков, сенсоров, контроллеров с их последующим объединением в охватывающие все технологические процессы предприятия интеллектуальные сети. Подробнее сущность процессов цифровизации энергосбережения будет раскрыта в следующем разделе.

К энергоэффективным технологиям без инновационного потенциала относится подавляющая часть уже хорошо известных в мировой и российской практике решений. Большинство подобных технологий, как правило, фокусируется на оптимизации и модернизации инженерных и энергетических сетей предприятия. Примерами таких технологий в системах горячего и холодного водоснабжения может служить замена устаревших труб на современные полимерные трубы, установка запорной арматуры и шаровых кранов, внедрение на производстве безводных и маловодных технологий для экономии воды.

Использование энергоэффективных технологий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) рассматривается как следующий классификационным признаком. Среди вариантов таких источников можно отметить геотермальную энергию, энергию приливов, биомассу, солнечную энергию, энергию ветра и другие аналогичные ресурсы. Использование ВИЭ в методологии и технологии относится к сфере альтернативной энергетики, которая в последние десятилетия активно развивается по множеству основных причин. Одной из причин этого активного развития является постепенное истощение запасов углеводородных ископаемых, которые активно добываются на большинстве доступных месторождений и стало частым в связи с ростом потребности в энергоресурсах в свете развития промышленности и транспортной отрасли. «Еще одной важной причиной является негативное воздействие электростанций, использующих традиционные виды топлива (в основном, угольное), на окружающую среду, включая их вредный вклад в глобальное потепление. В отличие от широко распространенных способов генерации энергии по всему миру, использование альтернативных энергетических технологий практически не влечет экологических рисков и угроз, что сделало их ключевым направлением развития так называемой «зеленой экономики»⁴⁵. С учетом этих факторов, ведущие промышленные компании по всему миру стремятся максимально использовать потенциал и

⁴⁵ Голов Р.С., Сорокин А.Е., Метечко Л.Б., Мыльник А.В. Экологическая инноватика – современный подход к решению глобальной проблемы человечества (часть 1) // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 6. С. 27-33.

технологии альтернативной энергетики при проектировании и модернизации собственных систем энергоснабжения для производства»⁴⁶.

Ограничениями применения альтернативных энергетических технологий в промышленности выступают климатические и географические условия, в которых находятся предприятия. Примеры: для производства биогаза из биомассы, полученной из органических отходов, требуется значительное количество исходного сырья, обычно получаемого с крупных животноводческих ферм. Поэтому биогазовые установки строятся неподалеку от таких ферм, чтобы минимизировать затраты на транспортировку сырья; ветрогенераторные установки, которые функционируют на ветряных парках, размещаются на открытых равнинных участках и возвышенностях, где отсутствуют существенные преграды для свободного движения воздушных потоков. Из-за вышеупомянутых особенностей и ограничений, доля альтернативных энергетических технологий относительно невелика в общем спектре современных технологий энергосбережения. Однако ученые и разработчики непрерывно совершенствуют технологии энергосбережения на основе возобновляемых источников энергии, стремясь уменьшить влияние косвенных природных факторов на их эффективность. Например, в последние годы были достигнуты значительные успехи в области фотовольтаики, где были разработаны солнечные батареи и коллекторы, обладающие высокой энергоэффективностью даже в регионах с преобладающей пасмурной погодой⁴⁷.

Шестым классификационным признаком является уровень затратности технологии, в соответствии с которым различают малозатратные, среднезатратные и высокозатратные технологии. К числу малозатратных технологий энергосбережения относится, прежде всего, обучение рабочих и персонала предприятия основам энергосберегающего поведения на рабочем месте. Подобное

⁴⁶ Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.

⁴⁷ Ратнер С В. Фотовольтаика на мировой энергетической арене: динамика и региональные особенности развития / С. В. Ратнер // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. Т. 11. № 33(318). С. 57-68.

обучение может проводиться как специалистами, ответственными за энергосбережение на предприятии, так и представителями сторонних образовательных и специализированных энергосберегающих компаний. Как показывает практика, так называемый человеческий фактор часто становится причинами избыточной энергоемкости производства. В качестве примера можно указать такие негативные привычки рабочих, как оставление работающего оборудования на время длительных перерывов, подключение к электросети цеха личного электрооборудования, небрежное отношение к силовому оборудованию и неисполнение функций по его техническому обслуживанию и планово-предупредительному ремонту и т.д. Распространенность среди многочисленного персонала предприятия этих и других негативных привычек в конечном итоге приводит к значительному повышению избыточной энергоемкости самого производства, сказываясь на конкурентоспособности производимой продукции и экономической эффективности предприятия.

Также к числу малозатратных энергоэффективных технологий относится модернизация и автоматизация системы освещения путем замены расположенных в цехах и корпусах предприятия устаревших ламп источникам светодиодного освещения с дополнительной установкой необходимой автоматики. В рамках экономии тепловой энергии может быть проведена покраска стен в светлые цвета, что способствует меньшему поглощению стенами цехов и помещений тепловой энергии. При этом, за радиаторами отопления целесообразна установка отражающих экранов. К малозатратным энергоэффективным технологиям экономии воды относится установка в санузлах и душевых предприятия смесителей с инфракрасными датчиками. Наибольшее число современных энергоэффективных технологий относится к классу средне-затратных. К ним относятся мероприятия по модернизации оборудования предприятия, инженерных и энергетических систем зданий и цехов, установка приборов учета. Также к числу средне-затратных может быть отнесена закупка отдельных единиц оборудования для замены наиболее энергоемкой устаревшей производственной техники в цехах предприятия.

Высокозатратные мероприятия, как правило, связаны с реализацией комплексных программ энергосбережения, предполагающих целостную энергоэффективную трансформацию производства. Такие программы нацелены на всестороннее повышение энергоэффективности предприятия, в основе которого лежит системная модернизация большинства его инженерных сетей, закупка нового энергоэффективного оборудования в рамках целых производственно-технологических процессов, внедрение на всем предприятии инфраструктуры Smart Grid и Промышленного интернета вещей с последующим развертыванием цифровых служб и сервисов для управления энергосбережением. Учитывая высокую стоимость реализации подобных программ, их практическое внедрение, как правило, осуществляется крупными корпорациями для своих передовых производств, а также государством в рамках развития стратегически важных для экономики и обороноспособности предприятий. В этих случаях их внедрение связано не только с долгосрочными экономическими эффектами, но и с повышением стабильности и отказоустойчивости производства, возрастающих благодаря увеличению надежности, гибкости и управляемости энергетической инфраструктуры и отдельного оборудования в условиях интеллектуальной автоматизации энергоснабжения.

По мнению автора, современные тенденции развития энергосбережения в высокотехнологичных отраслях промышленности свидетельствуют о возрастающей роли цифровизации как одного из основных из ключевых драйверов повышения энергоэффективности. Уверенный переход мировой промышленности к технологиям Четвертой промышленной революции уже в настоящее время открывает совершенно новые сценарии интеллектуальной автоматизации различных процессов предприятия, включая его энергообеспечение и энергосбережение. Более того, высокая универсальность самих технологий цифровизации и их проникновение практически во все подсистемы современных высокотехнологичных производств позволяют интегрировать весь комплекс энергосберегающих технологий и оборудования в единую процессно-технологическую экосистему предприятия. Более подробно основы и принципы

системного управления энергоэффективностью в условиях цифрового производства будут рассмотрены в следующем разделе диссертации.

1.3. Основные принципы системного управления энергоэффективностью в условиях цифровизации производства

Современный этап развития инновационной промышленности характеризуется все большим влиянием на ее процессы технологий цифровизации производства, разработка и внедрение которых, по мнению большинства ученых, ознаменовали собой наступление Четвертой промышленной революции, известной так же как Индустрия 4.0. Буквально за считанные годы ее технологии были внедрены во многих отраслях экономики, включая промышленность, и позволили, при этом, кардинально повысить эффективность функционирования тысяч компаний и предприятий по всему миру^{48,49}. В основу ее технологического базиса были заложены новейшие разработки в области искусственного интеллекта, интеллектуальной автоматизации и роботизации промышленного производства, Промышленного интернета вещей, аддитивного производства и ряда других технологических направлений. Достигнутое в результате этой работы существенное изменение технологического ландшафта предприятий и значительно возросший по своим возможностям машинный интеллект потребовали глубокого переосмысления самих основ человеко-машинного взаимодействия и значимости человека как интеллектуального центра принятия решений в структуре производственной деятельности. Вместе с тем, экспоненциальный рост

⁴⁸ Голов Р.С., Мыльник А.В. Теоретические основы интеллектуально-технологического развития промышленных предприятий в контексте парадигмы «Индустрия 5.0» // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 1. С. 10-14.

⁴⁹ Голов Р.С., Мыльник В.В., Паламарчук А.Г. «Индустрия 5.0» как основа развития высокотехнологичной промышленности // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 6. С. 8-11.

эффективности прошедших системную цифровизацию предприятий позволяет говорить о необратимости происходящих процессов и крайне малой вероятности возврата к устаревшим моделям организации производства.

Безусловной важностью технологии цифровизации производства обладают для предприятий, осуществляющих выпуск инновационной продукции ⁵⁰. Производство подобной продукции предполагает достаточно высокие требования к самой производственной организации, включая наличие у нее высокоточного современного оборудования, систем комплексной сквозной автоматизации производства, прозрачность и высокая степень управляемости внутренних процессов, минимизация влияния на процессы производства так называемого «человеческого фактора», широкий спектр инструментов по контролю качества и т.д. Учитывая перечисленные требования, Индустрия 4.0 позволяет достичь полной цифровой трансформации производства, в результате которой на базе комплекса разрозненного оборудования формируется единая экосистема, в которой большая часть промышленной техники объединена в общую сеть устройств и может управляться как человеческим персоналом, так и системой искусственного интеллекта. При этом, благодаря постоянному накоплению данных о реализации различных процессов в разных подразделениях предприятия, та же система искусственного интеллекта способна, на основе анализа этих данных, выявлять скрытые возможности для оптимизации и повышения эффективности производства.

Цифровая трансформация, проводимая в контексте Четвертой промышленной революции, способна стать важным драйвером при решении задачи системного энергосбережения на предприятии. Для раскрытия широкого спектра технологических драйверов цифровой трансформации президентом всемирного экономического форума в Давосе Клаусом Швабом были распределены тренды на три блока ⁵¹:

⁵⁰ Голов Р.С., Мыльник А.В. Перспективы формирования национальной инновационной системы в условиях модернизации экономики // Экономика и управление в машиностроении. 2010. № 6. С. 14-21.

⁵¹ Шваб К. Технологии четвертой промышленной революции. М.: Эксмо, 2018. 320 с.

- Цифровой блок;
- Физический блок;
- Биологический блок.

Учитывая описанную выше задачу, следует рассмотреть каждый блок в контексте цифровых технологий, применяемых в промышленном секторе. Цифровой блок предусматривает соединение вещей физического мира с виртуальным. Основными цифровыми технологиями выступают:

- автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов, способная проводить мониторинг и управлять системой посредством интеллектуальных датчиков, считывать количество и качество потребляемых энергоресурсов;
- облачные вычисления и хранение данных;
- кибербезопасность;
- моделирование и прогнозирование процессов энергопотребления и энергосбережения предприятия;
- интерфейсы человеко-машинного взаимодействия.

Аддитивное производство, передовая робототехника и создание новых материалов относятся к технологиям физического блока и имеют широкий спектр применения в промышленности. Активное развитие технологии 3D – печати при производстве считывающих датчиков, средств сетевого подключения, позволяют упростить и удешевить производство цифровых технологий. Тем самым, цифровые технологии становятся более доступными для внедрения в промышленное производство.

В настоящее время технологии трехмерной печати находят свое применение в производстве литейных моделей, прототипов для тестирования, механизмов, на предприятиях промышленности. Применение 3D-принтера в производственном цикле предприятия позволяет сократить производственную линию и повысить ее технологическую эффективность. Технология создания новых материалов - один из основных драйверов в решении задачи повышения энергоэффективности. Материалы становятся более адаптивными, легкими и прочными. В настоящее

время внедряются технологии применения «умных металлов» в системах отопления: такие материалы способны к адаптации в тяжелых эксплуатационных условиях посредством самовосстановления или самоочищения.

Помимо технологий трехмерной печати, на предприятиях отрасли машиностроения при производстве продукции все чаще используются интеллектуальные промышленные роботы (ИПР). Данная технология зародилась в конце 20 века, и имеет три поколения развития. Под первым поколением понимаются роботы однолинейного назначения, как правило имеющие один манипулятор и ограниченный функционал. Роботы первого поколения чаще находили свое предназначение на конвейерных участках машиностроительных производств заменяя монотонный труд работников производственной линии. В связи с развитием промышленности в целом, отрасль начала требовать от робототехники новых функций и возможностей. Так появились адаптивные роботы. Основным отличием второго поколения от первого является способность таких роботов считывать и анализировать внешнюю среду, а также принимать решения опираясь на заранее прописанные алгоритмы. На крупных предприятиях машиностроения активно применяются инновационные роботизированные решения: китайский автопроизводитель GAC Motor и компания АВВ поставили рекорд по времени сборки кузова автомобиля робототехническим комплексом. Производству требуется 46 секунд для полной сборки и проварки кузова автомобиля. Переход на новый технологический устрой и развитие искусственного интеллекта коренным образом повлияли на развитие робототехники вследствие чего были созданы роботы третьего поколения. На данный момент роботы с искусственным интеллектом обладают следующими возможностями: самостоятельное преодоление препятствий и передвижение в пространстве с возможностью переноски предметов, визуальное распознавание и запоминание людей, а также возможности обращения к ним. Ученые Мыльник В.В. и Мыльник А.В. сформулировали собственное определение роботов третьего поколения. «Роботами третьего поколения называются универсальные компьютерные системы, способные обучаться в процессе активного взаимодействия с

окружающей средой и предназначенные для имитации разнообразных операций, совершаемых человеком в процессе умственного и физического труда»⁵². При таком сценарии развития технологий в контексте Индустрии 4.0 современная робототехника становится зависимой от уровня развития технологий искусственного интеллекта.

Предпосылки зарождения искусственного интеллекта прослеживаются с 17 века, где учеными были разработаны первые вычислительные машины - арифмометры. Уже в то время английские математики рассуждали на тему создания аналитической машины, работающей на основе нейронных сетей способной разрабатывать алгебраические формулы, рисовать картины и писать музыку. Разработка нейронных сетей началась с создания первого в мире нейрокомпьютера под названием «Марк 1» компанией IBM. Американский нейропсихолог Уоррен Мак – Каллок предположил, что данная сеть может обучаться и распознавать образы⁵³. Реализация технологии искусственного интеллекта в большинстве случаев происходит посредством создания нейронных сетей, поскольку нейросеть наиболее детально моделирует структуру нейронов в человеческом мозгу и, по мнению большого числа исследователей, в будущем, при условии ее правильного обучения, будет способна заменить и превзойти возможности человеческого интеллекта при решении значительного числа профессиональных задач. Ученые, изучающие кибернетику и механизмы машинного интеллекта, уже сегодня работают над созданием универсального искусственного интеллекта и возлагают большие надежды на современные методы машинного обучения. Основными алгоритмами машинного обучения выступают: метод опорных векторов; сингулярное разложение; алгоритмы кластеризации; дерево принятия решений; логистическая регрессия.

⁵² Мыльник В.В., Мыльник А.В. Роботизация промышленного производства на базе искусственного интеллекта // Организатор производства. 2014. № 3 (62). С. 6.

⁵³ McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bull. Math. Biophys. 5. 1943. Pp. 115–133.

Предприятия машиностроения при внедрении цифровых технологий в организацию производства используют технологии облачного сервиса. Облачные технологии позволяют оптимизировать и упростить ряд организационно-производственных задач. Принцип работы облачных технологий заключается в том, что, посредством аренды виртуального сервера, потребителю дается возможность использовать вычислительные мощности (оперативная память, процессорное время, программное обеспечение, дисковое пространство) как при решении административных задач, так и для внедрения упрощенной схемы производственного цикла предприятия. В сфере организации высокотехнологичного производства распространенной моделью облачных технологий является IaaS (Infrastructure as a Service – Инфраструктура как сервис), данная модель позволяет сократить расходы на закупку и обслуживание компьютерной техники, посредством удаленного подключения ресурсно-затратных ЧПУ систем, фрезеровальных, обрабатывающих станков к облачной операционной системе с возможностью настройки, управления и контроля их работы. При внедрении облачных технологий в процессы администрирования технических и программных систем предприятия используется модель SaaS, примером данной модели выступают различные облачные хранилища такие как Яндекс. Диск, Google Диск и др., среди программного обеспечения это Yclients, 1С: Бухгалтерия. Возможности облачных хранилищ ограничены и заключаются в обмене файлами среди тех лиц, кому разрешен доступ к данной информации. Напротив, облачное программное обеспечение имеет более расширенный инструментарий, потребители имеют возможность управлять программным обеспечением, вносить данные, запрашивать статистику. Облачные технологии дают возможность предприятиям скоординировать работу административного корпуса, наладить организацию собственного производства и сэкономить денежные средства на закупке и обслуживании компьютерного оборудования.

Цифровизация производственных компаний приводит к следующим положительным эффектам: сокращается продолжительность производственного цикла, наблюдается снижение эксплуатационных расходов и повышение

энергоэффективности, рост качества производимой продукции, уменьшение длительности и количества простоев оборудования.

С другой стороны, производство становится зависимым от используемых цифровых технологий. Автоматизация и роботизация производства требуют от энергетического хозяйства предприятия бесперебойной подачи электроэнергии, воды и обеспечение производственных помещений вентиляцией и кондиционированием. В противном случае, от перегрева страдают не только цифровые системы, но и, главным образом, оборудование – станки, обрабатывающие центры, сборочные линии и другое оборудование. Стремление к обеспечению межмашинного взаимодействия без участия человека, повлекло создание промышленного интернета вещей или IIoT (Industrial Internet of Things). Промышленный интернет вещей — это многоуровневая система принцип действия которой заключается в системном взаимодействии датчиков, исполнительных механизмов, контроллеров, человеко-машинных интерфейсов и собранной информации. Данная технология реализуется посредством выполнения следующих мероприятий:

- инсталляция измерительных и исполнительных устройств, подключенных к общей сети обмена данными всех производственных мощностей предприятия;
- цифровизация оборудования, инженерных и энергетических систем предприятия;
- формирование автоматизированной системы обработки и передачи данных;
- организация рабочих мест и производственного оборудования в единую информационную сеть; внедрение системы принятия и реализации решений посредством интеллектуальной подсистемы.

Таким образом, цель интернета вещей – повысить скорость выполнения типовых процессов и реагирования на нештатные ситуации. К примеру, там, где у людей ушло бы полчаса на выявление аварии и отключение оборудования, сами машины, благодаря общению посредством IIoT, способны выполнить те же

операции за считанные секунды, тем самым предельно снизив потенциальный ущерб.

По оценкам J'son & Partners Consulting, внедрение IoT технологии в промышленном секторе мировой экономики приводит к следующим положительным эффектам⁵⁴:

- повышение энергоэффективности;
- сокращение сроков подготовки производства;
- снижение эксплуатационных расходов;
- сокращение продолжительности производственного цикла;
- рост качества производимой продукции;
- уменьшение времени простоя оборудования (регулирование нагрузки)

Описанные выше цифровые технологии вносят существенный вклад в развитие и надежность энергетического хозяйства предприятия. Тем самым, можно говорить о том, что цифровизация производственных процессов является одним из важнейших компонентов в повышении энергоэффективности предприятия. В рамках практической реализации «Промышленного интернета вещей» на современном этапе развития электроэнергетического хозяйства предприятий осуществляется применение таких технологий как Smart Grid и Smart meters. Реализация данных технологий возможна в энергосистеме предприятий с возможностью генерации энергии (рис. 1.11).

⁵⁴ Анализ рынка промышленных IoT-платформ (IoT-платформ) в мире и перспектив их развития в России / J'son & Partners Consulting. 2018 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/analiz-rynka-promyshlennyh-iot-platform-v-mire-i-perspektivy-v-rossii-platformy-promyshlennogo-interneta-veschey-iiot-20181012053850 (дата обращения: 19.04.2021).

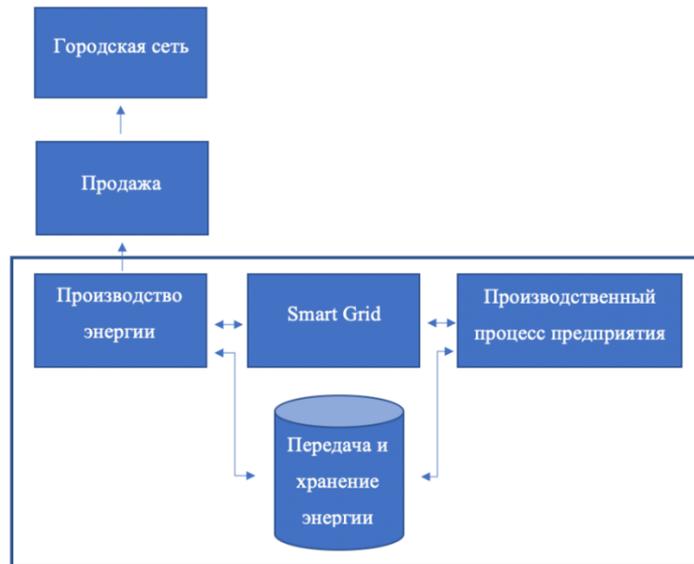


Рис. 1.11. Структура технологического комплекса Smart Grid в рамках предприятия (источник: построено автором)

Интеллектуальные сети «Smart Grid» — «это электрические сети, основным отличием которых является энергоэффективное и экономичное скоординированное управление энергосистемы при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими источниками и потребителями»⁵⁵. Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко определяют «Smart Grid» как сложную энергосистему, объединяющую поставщиков электроэнергии, энергообъекты и потребителей в единую «интеллектуальную» энергосеть⁵⁶.

Умный счетчик «Smart meters» — это электронное устройство, возможностью которого является считывание количества, качества потребленной энергии и передача полученных данных в режиме реального времени в систему мониторинга. На уровне предприятий такие энергоэффективные технологии особенно актуальны. Непрерывный производственный цикл требует постоянного

⁵⁵ Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.

⁵⁶ Гришин Д.С. Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей Smart Grid / Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синев [и др.] // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 1(21). С. 109-116.

контроля и поддержки работоспособности производственных систем. Внимание руководящего состава предприятий чаще всего направленно именно на поддержание производственной линии, а не на модернизацию изношенной и устаревшей инфраструктуры, вследствие чего периодически могут происходить сбои в работе электросетей и оборудования. Такой подход оправдывается тем, что экономическую выгоду от внедрения «умных сетей» руководство предприятий ощущает не сразу. В настоящее время внедрение технологий промышленного интернета вещей в энергетические хозяйства предприятий находится на начальном уровне.

При внедрении цифровых технологий в энергетическое хозяйство машиностроительного предприятия появляется возможность управлять его энергосистемой и энергетическими балансами. У управляющего состава появляются возможности анализа производимой и потребляемой энергии. Отделом главного энергетика или центром управления энергоэффективностью регулируются энергетические потоки в зависимости от их потребности при производстве продукции, а также у предприятия появляется возможность продажи избыточных объемов энергии и энергоресурсов в городскую сеть. Так как сетевая инфраструктура предприятия – это основная система энергообмена и энергоснабжения производственных процессов, то от ее надежности зависит весь производственный цикл. Применение цифровых технологий в управлении сетями позволяет повысить надежность и снизить количество аварийных ситуаций. Также это позволило бы управлять сетями, исходя из их текущего состояния, исключая необходимость проводить аварийно-ремонтные работы по мере их выхода из строя. Передача информации о состоянии сетей происходит посредством оптоволоконного и беспроводного каналов связи. Машиностроительные предприятия активно модернизируют производственные мощности. Например, ПАО «Уралмашзавод» в рамках реконструкции мощностей оснащает свои объекты системами удаленного контроля и диагностики с целью повышения надежности и снижения расходов на эксплуатацию.

Более активный переход на использование интеллектуальных технологий в энергетике принес бы очевидные выгоды как потребителям и производителям электроэнергии, так и отечественной экономике в целом^{57,58,59,60}.

Основным принципом концепции «Smart Grid» является оптимизация функционирования не отдельных элементов, а всего комплекса производственной системы в целом. Исходя из вышеизложенного, представляется возможным определение цифровизации производства как системного процесса, требующего разработки четкой предметной стратегии по достижению цели и задач повышения энергоэффективности. На основе рассмотренных выше положений автором сформирована следующая модель системной реализации управления энергоэффективностью на основе концепции «Smart Grid» (рис. 1.12).

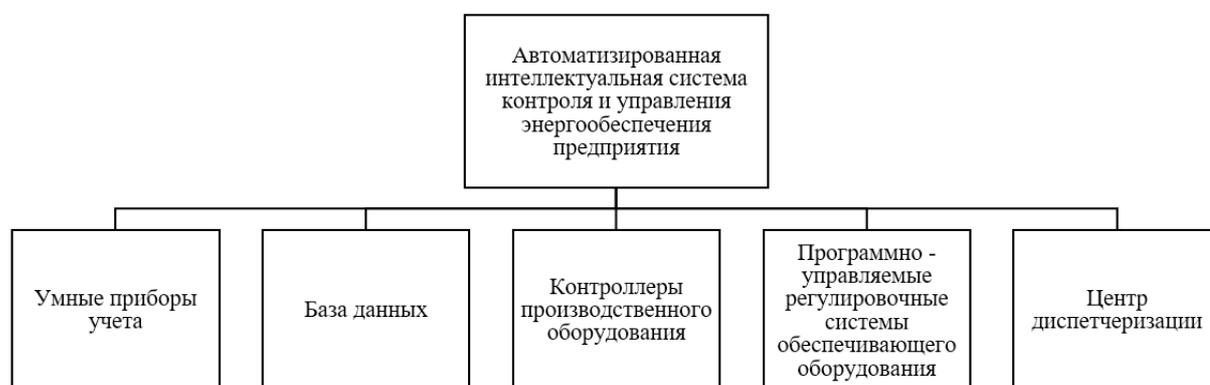


Рис. 1.12. Модель системной реализации управления энергоэффективностью предприятия на основе концепции «Smart Grid» (источник: построено автором)

⁵⁷ Перспективы развития «Интернета вещей» в России / PwC. –2017 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://media.rbcdn.ru/media/reports/PwC_Internet-of-Things_Rus.pdf (дата обращения: 07.11.2019).

⁵⁸ Перспективы энергетических технологий 214 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives_2014_ES_Russian.pdf (дата обращения: 18.08.2020).

⁵⁹ Голов Р.С., Сорокин А.Е., Метечко Л.Б., Мыльник А.В. Экологическая инноватика – современный подход к решению глобальной проблемы человечества (часть 2) // Журнал «Экономика и управление в машиностроении», № 2, 2017. С. 5-11.

⁶⁰ Голов Р.С., Теплышев В.Ю. Основные факторы и источники образования экономического эффекта при реализации мероприятий по энергосбережению в промышленности // Журнал «Экономика и управление в машиностроении», № 2, 2016. С. 33-36.

Основные этапы системной реализации управления энергоэффективностью предприятия на основе концепции «Smart Grid» заключаются в создании интеллектуальной базы данных для сбора, передачи и хранения информации о производстве и потреблении энергоресурсов. Следующим этапом выступает установка «умных» приборов учета (учет количества, качества потребляемых энергоресурсов). Для обеспечения управления системой далее следует инсталляция программно-управляемых регулировочных систем обеспечивающего оборудования, а также модернизация производственного оборудования посредством установки датчиков и модульных контроллеров. Для контроля и управления системой необходимо обеспечение высшего и среднего руководящего состава предприятия компьютерами, имеющими доступ к базе данных системы. Основополагающим звеном системы является грамотная разработка и адаптация автоматизированной интеллектуальной системы с возможностью контроля и управления энергообеспечением предприятия.

Внедрение цифровых технологий в производственную деятельность машиностроительных предприятий в контексте системного управления энергоэффективностью сопровождается выполнением ряда условий и критериев. Для проведения успешной реализации системного энергосбережения на предприятии необходимо осуществлять его развитие с учетом ряда принципов. По мнению автора, формирование модели системного энергосбережения базируется на пяти основных принципах (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Основные принципы формирования модели системного управления энергоэффективностью (источник: построено автором)

Рассмотрим более подробно принципы, отраженные на рис. 1.13:

1. **Принцип системности.** Перед тем как описывать условия и критерии системного принципа следует, проанализировать существующие определения самой системы. По мнению В. Н. Садовского «система – это совокупность элементов произвольной природы, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определённую целостность»⁶¹. В модели Г. Лейна и Дж. Дистефано система рассматривается как собрание связанных или соотносящихся между собой объектов таким образом, что вместе они действуют как целостная единица⁶². При анализе определений системы, автором сформулировано собственное определение в контексте формирования системы энергоэффективности: Система – это совокупность подсистем, состоящих из взаимосвязанных элементов, созданная для достижения заранее определенных целей, имеющая четкий свод правил, условий, позволяющих скоординировать и наладить взаимодействие входящих в нее элементов. Для системы присущи пять основных принципов (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Базовые принципы системы (источник: построено автором)

Под целостностью системы понимается то, что входящие в нее элементы выполняют определенные функции и находятся в некой взаимозависимости друг от друга. Иерархичность предполагает дифференциацию подсистем и элементов системы по отдельным уровням в соответствии с важностью выполняемых ими функций и общей роли в поддержании работоспособности всей системы. При таком подходе каждый элемент можно рассматривать как часть более крупной

⁶¹ Садовский В. Н. Система [Электронный ресурс] / В.Н. Садовский, А.Ю. Бабайцев и др. / Центр гуманитарных технологий – 2020 // Режим доступа: <https://gtmarket.ru/concepts/7091> (дата обращения: 10.01.2022).

⁶² Lane, H.W., Distefano, J.J. International Management Behavior.// Nelson, 1988. 391 p.

подсистемы. Структурность предполагает наличие четко обозначенной схемы связей и отношений всех элементов входящих в систему. Существует множество моделей структур. Среди самых распространенных выделяют следующие:

- Иерархичная модель, данной структуре присущи такие отличительные особенности как подчинение нижестоящего звена высшему;
- Сетевая модель, структура в которой каждый элемент системы может быть взаимосвязан между собой;
- Матричная модель, представляет собой структуру двойного подчинения.

Под адаптивностью понимается возможность оперативной и адекватной реакции системы на возникающие изменения во внутренней и внешней среде. Поддержание высокой эффективности работы системы в период таких изменений возможно только при наличии квалифицированных кадров, высокого уровня ресурсного обеспечения и четко структурированной работы всех участников. Принцип связности отражает значимую роль не только самих элементов и подсистем, но и связей между ними, благодаря которым производимое управляющее воздействие может оказывать влияние не только на целевые элементы, но и на элементы, связанные с ними.

2. Принцип целостности системы. Производственные предприятия при формировании и развитии интегрированных систем энергосбережения должны иметь единый управленческий орган. Например, таким органом может являться совет по безопасности энергетического обеспечения или отдел повышения энергоэффективности. К работе в таких центрах управления должны быть привлечены ответственные представители из числа сотрудников производственных цехов, энергетического отдела, аварийной службы, и представителя из стратегического отдела развития. В качестве надзорного органа может выступать отдел главного энергетика.

3. Принцип экономической целесообразности. Согласно этому принципу, привлечение финансовых и трудовых ресурсов возможно в том случае если разрабатываемые или внедряемые мероприятия экономически эффективны. При внедрении цифровых технологий в производственную или обеспечивающую

структуры предприятий, руководящий состав совместно с планово-аналитическим отделом производят расчёты эффективности отдельных цифровых технологий, определяя на основе уровень экономической целесообразности и на основе этих данных принимают решение об их внедрении.

4. Принцип прозрачности. При управлении и взаимодействии с системой энергоэффективности производства, участники должны быть обеспечены средствами коммуникации. Информация, собираемая узлами по нагрузочным показателям производственной линии, по потреблению энергии, воды, вентиляции и кондиционированию в режиме реального времени, должна быть доступна всем участникам системы. При использовании цифровых интеллектуальных систем по распределению энергии на производстве собранные показатели автоматически анализируются и происходит распределение энергетических ресурсов в зависимости от потребности производственной линии. Обязательным условием вышеописанной модели управления является доступность необходимой информации сотрудникам предприятия.

5. Принцип централизации. Принцип, согласно которому все участники системы подчиняются единому центру управления. Централизованное управление системой дает возможность в кратчайшие сроки выполнять поставленные задачи посредством координации действий различных структурных подразделений. В контексте системного подхода управления энергоэффективностью централизация основывается на достижении абсолютной согласованности направлений подготовки энергетических ресурсов и потреблением их производственными системами предприятия.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что динамичное развитие цифровых технологий в последние годы открывает качественно новые возможности для цифровизации деятельности в сфере энергосбережения на высокотехнологичных промышленных предприятиях. Применение подобных технологий при организации энергосбережения позволяет автоматизировать широкий спектр процедур и мероприятий, связанных с повышением энергетической эффективности. В частности, на примере технологии Smart Grid

автором было продемонстрировано, что создание подобных систем позволяет консолидировать в них широкий спектр цифровых технологий, обладая высоким уровнем гибкости и масштабируемости.

Создание интегрированных систем энергосбережения с применением цифровых технологий для повышения энергетической эффективности высокотехнологичных промышленных предприятий, по мнению автора, позволяет решить важную для развития отечественной промышленности народно-хозяйственную задачу. Выявленное в параграфе 1.1 наличие у России высокого потенциала энергосбережения вкупе с низкой энергетической эффективностью отечественных промышленных предприятий представляет собой объективный барьер на пути развития российской экономики, приводя к снижению экономической эффективности предприятий. В то же время, необходимость реализации значительного числа процедур, мероприятий и технологий, используемых при повышении энергоэффективности предприятия с охватом сотен технологических процессов и единиц оборудования, не позволяет решить эту задачу на основе внедрения единичных мероприятий и ограниченного числа технических решений. Перечисленные факторы обусловили актуальность проводимого диссертационного исследования для развития российских высокотехнологичных промышленных предприятий. Разработке методических основ формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном предприятии посвящена следующая глава диссертационного исследования.

Выводы по первой главе:

1. Проведенный автором сравнительный анализ динамики энергоемкости ВВП России и мира по паритету покупательской способности показал, что энергоемкость российской экономики практически в 2 раза превышает

среднемировое значение и демонстрирует тенденцию к дальнейшему росту на фоне стабильного снижения энергоемкости мировой экономики в целом. Сложившаяся ситуация приводит к повышению рисков в сфере энергетической безопасности России и негативно влияет на темпы развития большинства отраслей отечественной экономики.

2. На основе анализа энергоемкости и энергоэффективности российской экономики, автором установлен текущий уровень имеющегося у нее потенциала энергосбережения, который составляет порядка половины годового потребления всех типов энергии и энергоресурсов на территории России. Выявлено, что одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности выступает машиностроение вследствие использования машиностроительными предприятиями значительного количества единиц энергоемких станков, обрабатывающих центров и прочего оборудования.

3. С экономической точки зрения, наиболее эффективным подходом к системному энергосбережению на предприятиях машиностроения выступает энергетический сервис, реализация которого осуществляется специализированной энергосервисной компанией и не требует от предприятия вложения собственных средств в энергосберегающие мероприятия и технологии. Соответственно, наиболее значимый энергоэффект может быть получен достигнут на основе применения механизма энергосервисных контрактов и внедрения оптимального комплекса энергоэффективных технологий.

4. Автором было уточнено и дополнено определение термина "энергоэффективная технология" применительно к промышленности, что позволило отразить в нем специфику реализации таких технологий на промышленных предприятиях и учесть как основной, так и косвенные эффекты, образующиеся при их внедрении.

5. С учетом многообразия и существенных различий между существующими энергоэффективными технологиями, системная работа по их внедрению на предприятии должна базироваться на применении единой классификации подобных технологий, обеспечивающей возможности гибкого выбора конкретных

технологических решений на основе их соответствия заранее определенным классификационным признакам.

6. Разработанная автором классификация энергоэффективных технологий в промышленности обеспечивает ответственных за их внедрение специалистов предприятия необходимым инструментарием для проведения целенаправленного выбора конкретных технологических решений с учетом масштаба предприятия, существующих проблем в отдельных энергосистемах, объема доступных экономических ресурсов и другими параметрами.

7. Активно распространяющиеся в последние годы в мировой экономике и промышленности технологии Индустрии 4.0 оказывают свое влияние и на процессы энергопотребления и энергосбережения на промышленных предприятиях. В частности, одной из широко применяемых концепций интеллектуальной автоматизации энергосистем различного уровня стала концепция Smart Grid, предполагающая цифровую трансформацию электросетей любого масштаба, в том числе и функционирующих на уровне отдельных предприятий.

8. Мировые тенденции развития процессов цифровой трансформации экономики, а также активное развитие инновационной промышленности в контексте Четвертой промышленной революции свидетельствуют об объективной необходимости разработки интегрированной системы энергосбережения, активно использующей потенциал различных цифровых технологий, создаваемых в рамках Индустрии 4.0.

Глава 2. Методические основы формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии

2.1. Разработка концепции интегрированной системы энергосбережения

Проблемы ограниченности энергетических ресурсов и их нерационального использования сопровождают мировую промышленность с начала XX века. Высокую значимость энергосбережения подтверждают правительства развитых и развивающихся стран, разрабатывающие государственные энергосберегающие программы по поддержке промышленного сектора в рамках государственной политики в области энергетики и энергосбережения. В настоящее время проблема энергосбережения вновь стала актуальна при переходе промышленности на новый технологический уклад. Внедрение в производственную деятельность предприятий технологий Четвертой промышленной революции – это сложная и многокомпонентная задача. Ее решение требует формирования интегрированной системы энергосбережения. Под *интегрированной системой энергосбережения (ИСЭ)* понимается *автоматизированная организационно-технологическая система управления, включающая в себя взаимосвязанный комплекс энергосберегающего оборудования, цифровых технологий и программных продуктов, интегрируемая в действующее энергетическое хозяйство, а также в инженерные и энергетические коммуникации предприятия и обеспечивающая автоматизацию всего спектра функций управления энергетической эффективностью, а также постоянный мониторинг ее ключевых показателей в режиме реального времени.*

Анализируя предпосылки к развитию интегрированных систем энергосбережения, следует отметить, что интерес высшего руководства современных промышленных предприятий к энергосбережению обусловлен многими факторами. В числе таких факторов – повышение технологической эффективности производства и стабильности функционирования систем энергоснабжения цехов и подразделений предприятия, снижение затрат на

используемые в производстве топливно-энергетические ресурсы, а также снижение себестоимости конечной продукции. Как показал проведенный автором анализ, в настоящее время уровень энергетических затрат в себестоимости продукции по некоторым отраслям промышленности достигает до 45%, а, на фоне ежегодного роста цен на топливно-энергетические ресурсы, производимая продукция теряет свою конкурентоспособность на рынке ⁶³. Распространённые ошибки со стороны руководства в отношении повышения энергоэффективности предприятия связаны с бессистемным подходом к проведению энергосберегающих мероприятий. Традиционный подход к решению задач по модернизации энергетического хозяйства промышленного предприятия заключается в единичных мероприятиях по замене устаревшего и неисправного производственного оборудования на новое, более энергоэффективное. Такого рода «модернизация» крайне слабо влияет на динамику сводных показателей энергоэффективности на уровне всего предприятия, в результате чего уровень его энергопотребления по различным типам ТЭР остается на прежнем уровне. С учетом вышеперечисленных проблемах наиболее рациональным выступает комплексный подход, предполагающий построение постоянно действующей интегрированной системы энергосбережения.

Так как интегрированная система энергосбережения внедряется на базе энергетического хозяйства предприятия, следует рассмотреть его структуру и отдельные подсистемы (рис. 2.1). Под энергетическим хозяйством промышленного предприятия понимается совокупность энергетического оборудования, направленного на бесперебойное обеспечения энергией производственного процесса предприятия.

Следует отметить то, что структуры энергетического хозяйства различных предприятий отличаются друг от друга. Прежде всего, это связано с различиями в плане отрасли функционирования предприятия, уровня их технологического развития, масштаба и специфики деятельности предприятия. В соответствии с этим, для целей диссертационного исследования автором была сформирована

⁶³ Астафьев В.Е. Экономика электрического производства / В.Е. Астафьев. - М.: «Высшая школа», 2009. 126 с.

типовая структура управления энергетическим хозяйством промышленного предприятия (рис. 2.1).

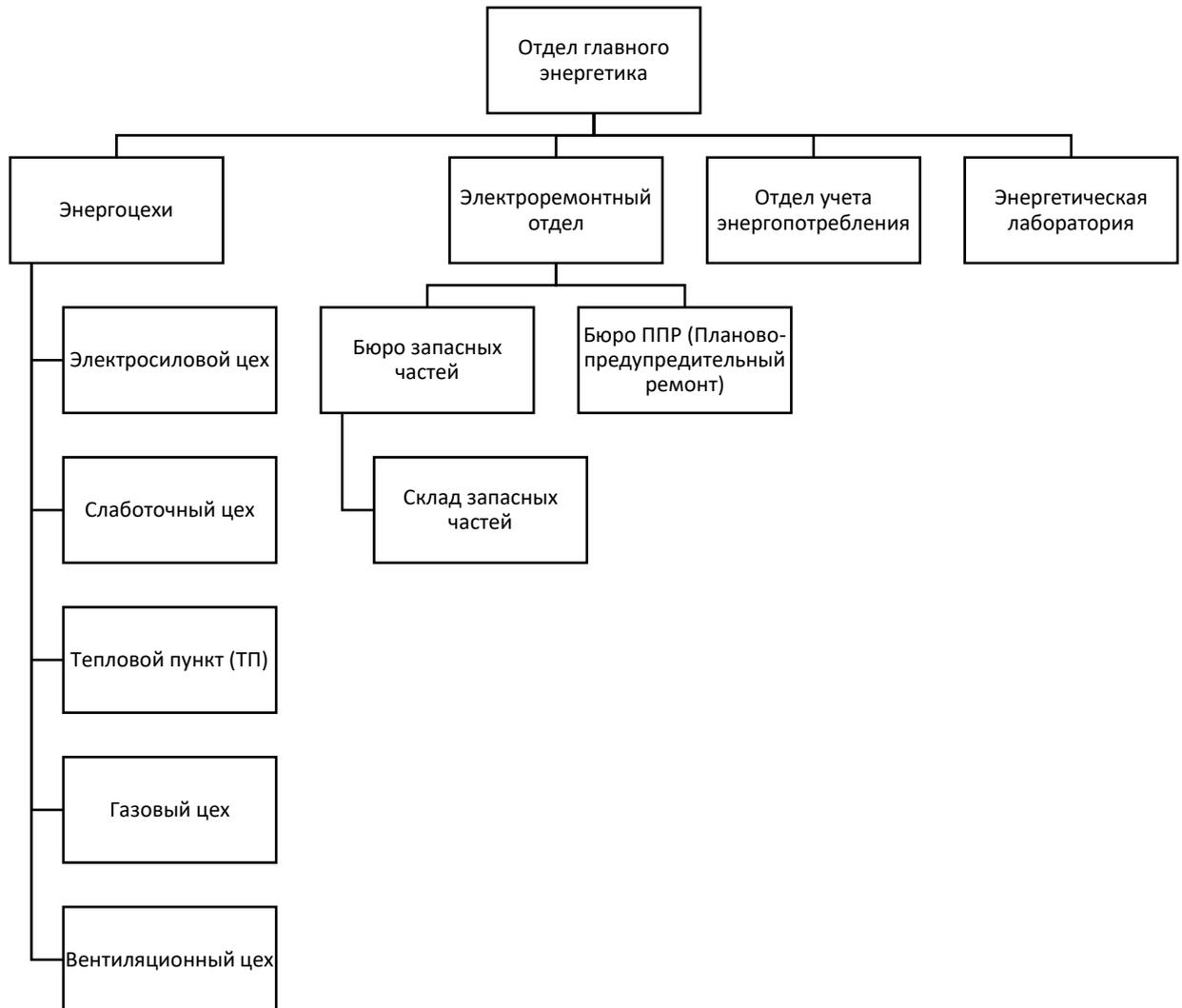


Рис. 2.1. Схема организационной структуры управления энергетическим хозяйством промышленного предприятия (источник: построено автором)

Рассмотрим более подробно отдельные подразделения энергетического хозяйства, отраженные на рис. 2.1. С точки зрения иерархии управления, оперативное руководство энергетическим хозяйством предприятия осуществляет *отдел главного энергетика*. В рамках системы управления предприятием он, как правило, находится в непосредственном подчинении технического директору. Во главе отдела находится главный энергетик, основными функциями которого являются организация качественного обеспечения энергетическими ресурсами

предприятия, анализ состояния энергетического оборудования, планирование и контроль расходов потребляемых энергетических ресурсов, а также разработка и контроль за внедрением энергосберегающих мероприятий.

Основными задачами подсистемы энергоцехов являются обеспечение производственных мощностей и помещений предприятия теплоэнергией, электроэнергией, водоснабжением, газификацией и вентиляцией.

Подсистема *электросилового цеха* отвечает за все электроснабжение предприятия. В состав цеха входит следующее оборудование: электросети, подстанции преобразования напряжения, мотор-генераторы.

Слаботочный цех осуществляет функции связи работник – работник, оборудование – работник. Он включает в себя систему передачи информации посредством слаботочных линий при помощи технологии UTP или оптоволоконного соединения. В структуру цеха входят: радиосистема связи, интернет-оборудование, система сигнализации, диспетчерская связь.

Функциями *теплового пункта (ТП)* являются приготовление технической воды для нужд системы отопления и производственного процесса, а также горячей воды для нужд персонала. ТП включает в себя линию тепловой сети, котельное оборудование (котлы, насосы, стрелки понижения давления).

Газовый цех обеспечивает технологические и технические процессы предприятия газовым топливом посредством передачи его по единой сети. При решении задач газификации используется следующее оборудование: газовая сеть, газораспределительные пункты, регуляторы давления и другие высокотехнологичные установки.

Задачами *вентиляционного цеха* на предприятии промышленного профиля является подача чистого воздуха и удаление отработанного из помещений. Помимо функции фильтрации воздушных масс, вентиляционное оборудование посредством подключения к системе ТП дает возможность отапливать объемные производственные помещения. В структуру цеха входят вытяжные и приточные системы, системы кондиционирования, осушительное и увлажнительное оборудование, фильтры глубокой и первичной очистки.

Подсистема электроремонтного отдела предприятия включает в себя бюро запасных частей и бюро планово-предупредительного ремонта. Задачами подсистем отдела являются:

- поддержание работоспособности энергетического оборудования;
- замена вышедшего из строя энергетического оборудования;
- оперативная поставка запасных частей;
- разработка плановых энергоремонтных мероприятий.

При рассмотрении структуры энергетического хозяйства предприятия, представляется возможным сформулировать его определение: это технологически взаимосвязанная система управления, функциями которой являются рациональное и бесперебойное обеспечение энергоресурсами промышленного предприятия.

Энергетическое хозяйство может выступать платформой для формирования интегрированной системы энергосбережения, охватывающей все технологические и производственные процессы промышленного предприятия, где для функционирования используются топливно-энергетические ресурсы. Использование данной системы позволит сократить затраты на ТЭР, снизить энергоемкость технологических и производственных процессов. Помимо повышения экономической эффективности предприятия, система подразумевает повышение и его технологической эффективности, это достигается за счет роста стабильности и отказоустойчивости его энергетических систем и сетей. Так же система способна повысить отказоустойчивость оборудования и снизить количество аварийных ситуаций и пиковых нагрузок.

На основании вышеизложенного представляется возможным определить цель формируемой интегрированной системы энергосбережения: повышение экономической и технологической эффективности предприятия с возможностью реализации процессов мониторинга энергопотребления, разработки, планирования и оценки эффективности внедряемых энергосберегающих технологий.

В рамках диссертационного исследования задачи, решение которых достигается путем реализации интегрированной системы энергосбережения структурированы автором по ряду классификационных признаков.

Классификация задач реализации интегрированной системы энергосбережения
(источник: построено автором)

№ п/п	Классификационный признак	Задача реализации интегрированной системы энергосбережения
1.	Организационные задачи	<p>Обеспечение системности и прозрачности при управлении энергосбережением в различных цехах и подразделениях предприятия.</p> <p>Повышение организационной эффективности ответственного персонала при управлении энергосберегающими и энергетическими процессами предприятия.</p> <p>Формирование единого центра управления энергосбережением, обеспечивающего возможности мониторинга в режиме реального времени и оперативной реализации управляющих воздействий на энергоэффективное оборудование.</p> <p>Сокращение временных и трудовых затрат персонала предприятия на проведение технического обслуживания энергоэффективного оборудования, энергетических систем и сетей предприятия.</p> <p>Повышение эффективности принятия управленческих решений в части оперативного управления энергосбережением со стороны руководства предприятия.</p> <p>Повышение эффективности координации между профильными подразделениями предприятия при текущем управлении энергосбережением и в случае нештатных ситуаций и сбоев в энергосистемах и оборудовании предприятия.</p>
2.	Экономические задачи	<p>Прогрессивное и устойчивое сокращение затрат предприятия на оплату потребляемых топливно-энергетических ресурсов за счет системного управления энергосбережением, охватывающего все предприятие.</p> <p>Сокращение затрат предприятия на оплату потребляемых топливно-энергетических ресурсов благодаря рационализации и оптимизации систем энергообеспечения оборудования.</p> <p>Обеспечение возможности беззатратного для предприятия внедрения интегрированной системы энергосбережения и энергоэффективного оборудования за счет реализации механизма энергетического сервиса.</p> <p>Сокращение затрат на обслуживание действующей на предприятии интегрированной системы энергосбережения и энергоэффективного оборудования за счет привлечения к выполнению данных функций специалистов энергосервисной компании.</p> <p>Сокращение временных и финансовых потерь от технических сбоев и аварий в энергосистемах и энергооборудовании за счет автоматизации процедур аварийного отключения энергообеспечения.</p>

№ п/п	Классификационный признак	Задача реализации интегрированной системы энергосбережения
		Повышение эффективности контроля за количественными и качественными показателями покупаемых ТЭР и, как следствие, сокращение расходов в случае недопоставок энергоресурсов со стороны поставщиков или их низкого качества.
		Повышение инвестиционной привлекательности предприятия с учетом ценных для инвесторов глобальных трендов, связанных с повышением энергетической эффективности промышленных структур.
3.	Технологические задачи	<p data-bbox="694 555 1490 689">Повышение стабильности функционирования производственной системы предприятия и отказоустойчивости оборудования и энергетических систем предприятия.</p> <p data-bbox="694 696 1490 797">Сокращение энергетических перегрузок оборудования предприятия за счет устранения пиковых нагрузок, рационализации и гармонизации энергопотребления.</p> <p data-bbox="694 804 1490 972">Повышение эффективности оперативного анализа текущей динамики энергообеспечения и энергосбережения на уровне всего предприятия благодаря консолидации соответствующих данных в едином центре управления и их обновлению в режиме реального времени.</p> <p data-bbox="694 978 1490 1113">Автоматизация значительного числа расчетно-аналитических функций, связанных с оценкой текущего уровня энергопотребления и энергосбережения, а также функций по формированию соответствующей отчетности.</p> <p data-bbox="694 1120 1490 1243">Повышение точности прогнозирования энергопотребления и энергоэффективности предприятия за счет использования алгоритмов искусственного интеллекта и машинного анализа Больших данных.</p> <p data-bbox="694 1249 1490 1310">Появление возможностей для гибкой автоматизации и цифровизации энергооборудования предприятия.</p>

В таблице 2.1 представлен перечень задач интегрированной системы энергосбережения, выполнение которых ведет к достижению общей цели реализуемой системы. В зависимости от структуры энергетического хозяйства предприятия, данный список задач может быть дополнен. Рассмотрим отдельные задачи, отраженные в приведенной классификации.

Построение интегрированной системы энергосбережения на базе существующего энергетического хозяйства предприятия, в первую очередь, предполагает решение **организационных задач**. Как было отмечено выше энергетическое хозяйство предприятия имеет сложную многоуровневую структуру управления. Следовательно, необходимой задачей реализуемой интегрированной системы энергосбережения становится обеспечение системности и прозрачности

при управлении энергосбережением в различных цехах и подразделениях предприятия.

Второй важной задачей, которую должна решать реализуемая интегрированная система энергосбережения, является повышение эффективности работы ответственного персонала при управлении энергосберегающими и энергетическими процессами предприятия. В контексте повышения энергоэффективности появляется возможность рассматривать персонал как один из важнейших ресурсов, способствующий организации целенаправленной работы по повышению энергоэффективности на уровне всего предприятия. Несмотря на активно внедряющиеся технологии искусственного интеллекта, способные контролировать и управлять производственным циклом и технологическими операциями предприятия, сотрудники энергетического отдела остаются значимой единицей по раскрытию всего потенциала энергосбережения. Потребление энергетических ресурсов в производственной и технологической нуждах не единственная статья потребления, предприятия так же расходуют большое количество энергии на функционирование вспомогательных объектов и хозяйственных помещений.

Третьей из организационных задач становится формирование единого центра управления энергосбережением, организация которого строится на базовых принципах создаваемой системы – структурированности и прозрачности. В отсутствие единого центра управления, функции мониторинга, оперативного принятия решений и удаленного управления энергообеспечивающем оборудованием, выполняет большой штат специалистов из разных подразделений отдела главного энергетика. При таком методе сбора информации, количество затраченного времени на анализ полученной информации и последующие управленческие решения, существенно увеличивается. Следовательно, создание единого центра управления энергосбережением в рамках реализации интегрированной системы энергосбережения позволит сформировать команду специалистов функциями которых будут: мониторинг состояния энергосистемы,

обработка полученной информации и принятия управленческих решений по отношению к энергоэффективному оборудованию.

Следующей задачей интегрированной системы энергосбережения является сокращение временных и трудовых затрат персонала предприятия на проведение технического обслуживания энергоэффективного оборудования, энергетических систем и сетей предприятия. В отсутствие четко налаженной структуры управления и мониторинга за состоянием оборудования, трудовые и временные затраты обслуживавшего персонала возрастают кратно масштабу предприятия и числу решаемых задач. Такой вид управления предполагает метод ситуативного подхода, что в условиях использования устаревшего (морально и технологически) энергетического оборудования изначально экономически неэффективно, так как при выходе его из строя, время на его ремонт или замену на аналогичное может затянуться. В условиях высоких нагрузок при производственной деятельности промышленного предприятия, энергетическое оборудование и энергетическая система в целом должны обслуживаться на основании регламента, созданного благодаря технологиям интегрированной системы энергосбережения.

Еще одной задачей организационного плана является повышение эффективности принятия управленческих решений в части оперативного управления энергосбережением со стороны руководства предприятия. В отсутствие единой интегрированной системы энергосбережения сбор актуальной информации о текущем уровне энергоэффективности предприятия требует проведения ручного сбора данных от приборов коммерческого и технологического учета ТЭР с последующим детальным расчетом отдельных показателей по всему предприятию, что занимает достаточно большой объем времени и предполагает необходимость привлечения к этой работе значительного числа специалистов. Соответственно, автоматизация данного процесса в рамках интегрированной системы энергосбережения позволяет существенно сократить временные и трудовые издержки, а требуемая информация может быть получена руководством предприятия в оперативном режиме при обращении к соответствующему разделу системы.

Также важной организационной задачей, стоящей перед реализуемой интегрированной системой энергосбережения является повышение эффективности координации между профильными подразделениями предприятия при текущем управлении энергосбережением и в случаях нештатных ситуаций и сбоев в энергосистемах и оборудовании предприятия. Отсутствие координации между подобными подразделениями в случае нештатных ситуаций в работе энергосистемы и оборудования влечет за собой большие временные и материальные потери. Данная задача предполагает создание упорядоченной иерархичной структуры, целью которой является распределение функций, разграничение и определение ответственных на всех уровнях энергосистемы предприятия.

Вторым классификационным признаком выступает решение **экономических задач**. В отсутствие программы по устойчивому сокращению затрат на оплату потребляемых топливно-энергетических ресурсов руководство предприятия сталкивается с необходимостью повышения стоимости конечного продукта, следствием чего является снижение его конкурентоспособности. В данном контексте интегрированная система энергосбережения позволяет обеспечить наиболее эффективное потребление топливно-энергетических ресурсов в производственной деятельности предприятия, в том числе, за счет системного управления энергосбережением на основе применения комплекса сквозных цифровых технологий.

Второй экономической задачей выступает сокращение затрат предприятия на оплату потребляемых топливно-энергетических ресурсов благодаря рационализации и оптимизации систем энергообеспечения оборудования. Посредством объединения различных энергосистем предприятия в рамках единой цифровой инфраструктуры и консолидации поступающих от них данных об энергопотреблении и энергосбережении в рамках единого центра управления, ответственные за энергосбережение специалисты обладают возможностью определять сегменты этих подсистем с избыточной энергоемкостью, выявлять утечки энергии и энергоресурсов и на основе этих данных проводить

целенаправленную работу по их устранению и технологической оптимизации режимов работы, конфигурации, программного и аппаратного обеспечения соответствующего оборудования.

В качестве третьей задачи выступает обеспечение возможности беззатратного для предприятия внедрения интегрированной системы энергосбережения и энергоэффективного оборудования за счет реализации механизма энергетического сервиса. Благодаря его использованию, все расходы по покупке энергоэффективного оборудования, его установке, организации самой интегрированной системы энергосбережения и прочие необходимые технологические мероприятия принимает на себя сотрудничающая с предприятием энергосервисная компания, вкладывающая в данный проект собственные и привлеченные инвестиционные ресурсы.

Еще одной экономической задачей является сокращение затрат на обслуживание действующей на предприятии интегрированной системы энергосбережения и энергоэффективного оборудования за счет привлечения к выполнению данных функций специалистов энергосервисной компании. Передача технического обслуживания энергоэффективного оборудования на аутсорсинг существенно сокращает временные и материальные затраты предприятия. Это достигается за счет возможности по перераспределению рабочего времени сотрудников, которые выполняли функции обслуживания как второстепенные обязанности. При внедрении интегрированной системы энергосбережения также могут быть достигнуты такие экономические эффекты как сокращение затрат на заработную плату обслуживающего персонала, закупку запасных частей и т.д. При передаче процессов по обслуживанию энергетического оборудования энергосервисной компании, специалисты из отдела главного энергетика фокусируются непосредственно на самом процессе управления энергосбережением.

Следующей экономической задачей, решаемой при реализации интегрированной системы энергосбережения, является сокращение временных и финансовых потерь от технических сбоев и аварий в энергосистемах и

энергооборудовании. Продолжительные по времени технические сбои и высокая частота аварий в энергосистеме предприятия наносят значительный финансовый ущерб, часто приводя к остановке производства, серьезным повреждениям оборудования и нарушениям в работе энергосистемы в целом. В случае подобных сбоев важным для сохранения энергетического оборудования остается скорость принятия решений по аварийному отключению подачи энергии. Зачастую, персонал предприятия, используя «ручные» методы аварийного отключения энергосистемы, затрачивая существенное количество времени на выполнение всех этапов аварийной остановки энергооборудования, что может приводить к ощутимым финансовым потерям. Организация интегрированной системы энергосбережения предполагает реализацию ряда контрольно-диспетчерских комплексов, направленных на автоматизацию процедур аварийного отключения энергоснабжения. Данные комплексы способны оперативно обесточить вышедшую из строя энергосистему предприятия посредством автоматического задействования механизмов частотной разгрузки, синхронных компенсаторов, быстродействующих релейных блокаторов и т.д.

Еще одной экономической задачей является повышение эффективности контроля за количественными и качественными показателями закупаемых ТЭР и, как следствие, сокращение расходов в случае недопоставок энергоресурсов со стороны поставщиков или низкого качества самих энергоресурсов. Данная задача решается посредством установки интегрируемых в цифровую инфраструктуру системы измерительных приборов учета на технологические вводы. Помимо текущего контроля за качеством и количеством приобретаемых ресурсов, у ответственных специалистов появляется возможность автоматизации процесса создания различных отчетов о потреблении ТЭР за предыдущие расчетные периоды, что позволяет провести перерасчет и, в случае недопоставки энергии и энергоресурсов потребовать от поставщиков возмещение денежных средств.

Помимо всего вышперечисленного, повышение энергетической эффективности в промышленной сфере – это, своего рода, глобальный тренд, обладающий высокой значимостью в глазах инвесторов. На практике в их

понимании он отражает стремление предприятия к непрерывному повышению собственной эффективности, а также к рационализации внутренних процессов. Соответственно, формирование на промышленном предприятии интегрированной системы энергосбережения способствует повышению его инвестиционной привлекательности и может стать важным преимуществом при получении дополнительной финансовой поддержки на модернизацию оборудования и развитие производственного процесса в целом.

В качестве третьего классификационного признака выступают **технологические задачи**, решение которых направлено на оценку и выбор оптимальных энергоэффективных технологий, внедрение высокотехнологичного оборудования на уровне всего предприятия и отдельных его подсистем.

Первоочередной задачей реализуемой интегрированной системы энергосбережения является повышение стабильности функционирования производственной и энергетической систем предприятия. В основе ее решения лежит использование ответственными за энергосбережение сотрудниками интеллектуально-вычислительного потенциала системы с последующим формированием динамической виртуальной модели всего предприятия позволяет им анализировать активные энергетические процессы во взаимосвязи с конкретным оборудованием в режиме реального времени. На основе получаемых данных они выявляют участки с высокими показателями технологических рисков, нестабильно работающим оборудованием и т.д. Благодаря этим данным, у специалистов появляется возможность оптимизировать режимы работы отдельного производственного оборудования, своевременно проводить его диагностику и планово-предупредительный ремонт и прочие мероприятия по его техническому обслуживанию, повышая, тем самым, уровень его отказоустойчивости. Вместе с тем, построение подобной модели позволяет также повысить стабильность функционирования энергетических систем предприятия, тесно взаимосвязанных с его производственной системой и, тем самым, обеспечить стабильное энергоснабжение оборудования.

Реализация на предприятии интегрированной системы энергосбережения способствует сокращению энергетических перегрузок оборудования за счет устранения пиковых нагрузок. При этом, технологии системы подразумевают создание программно-аппаратной синхронизации между производственным оборудованием и энергосистемой, что, в конечном счете, приводит к повышению технологической эффективности всего предприятия. Получение на основе ее применения развернутой информации о текущих параметрах различных типов энергетических нагрузок по оборудованию и производственно-технологическим процессам, позволяет оптимизировать конфигурацию отдельных участков энергосистемы предприятия с тем, чтобы гармонизировать нагрузку на уровнях производственных участков, линий, цехов и всего предприятия.

Решение задачи по повышению эффективности оперативного анализа текущей динамики энергообеспечения и энергосбережения предприятия в рамках реализуемой системы достигается на основе автоматизации функций диспетчерского контроля и управления, осуществляемых на основе непрерывного сбора данных на уровне установленных на предприятии приборов учета. Получаемые данные проходят многоступенчатые процедуры обработки, систематизации и интеллектуального анализа по различным показателям и критериям с их последующей консолидацией. Сбор данных, при этом, осуществляется в режиме реального времени с последующей передачей в соответствующую подсистему для их последующей обработки.

Следующая задача является логичным продолжением предыдущей и заключается в повышение точности прогнозирования энергопотребления и энергоэффективности предприятия посредством использования технологий искусственного интеллекта. Технологии искусственного интеллекта и машинного анализа Больших данных позволяют наиболее точно и объективно проанализировать текущее состояние энергосистемы. Помимо преимуществ по точности обработки информации, данные технологии требуют меньше времени на выполнение поставленных перед ними задач.

Кроме того, формирование интегрированной системы энергосбережения позволяет эффективно автоматизировать значительное число расчетно-аналитических функций, связанных с оценкой текущего уровня энергопотребления и энергосбережения, а также функций по формированию соответствующей отчетности. Подобный подход существенным образом сокращает трудоемкость и временные затраты на обработку крупных массивов данных энерготехнологического профиля, а также способствует повышению точности результатов расчетов, исключая влияние на них так называемого «человеческого фактора». Важным преимуществом выступает также автоматизация процесса формирования и заполнения актуальными данными различных форм отчетности, используемых предприятием как для внутреннего контроля, так и в рамках взаимодействия с поставщиками ТЭР (к примеру, в случае возникновения спорных ситуаций в части количества и качества поставленных ими предприятию топливно-энергетических ресурсов).

2.2. Формирование комплекса подготовительных мероприятий при построении интегрированной системы энергосбережения

Важным условием при построении ИСЭ на промышленном предприятии является формирование комплекса подготовительных мероприятий. Реализация данных мероприятий представляет собой необходимый этап при формировании системы, призванный определить текущие технические проблемы в энергосистеме предприятия, выявить на основе комплексного анализа проблемы и риски, препятствующие повышению энергетической эффективности предприятия, выработать необходимые мероприятия и выявить технологии, которые смогут обеспечить достижение установленного уровня энергосбережения. От решения указанных задач зависит как конфигурация системы, применяемые при ее построении технологии, так и объем и специфика энергосберегающих

мероприятий. Рассмотрим более подробно отдельные подготовительные мероприятия.

Первым техническим мероприятием выступает *энергетический аудит*. Под энергетическим аудитом понимается комплексное обследование энергосистемы предприятия с целью получения объективных данных о состоянии систем энергопотребления и объеме используемых энергетических ресурсов. Так как инструментарий энергетического аудита включает в себя высокотехнологичные приборы обследования, специфичное программное обеспечение и т.д., наиболее рациональным решением выступает проведение его с помощью специализированной энергосервисной компании. Энергетический аудит промышленного предприятия проводится в шесть этапов:

- 1) сбор информации об объекте энергетического обследования;
- 2) анализ системы теплопотребления и выработки тепловой энергии;
- 3) анализ системы водоснабжения;
- 4) анализ системы электроснабжения;
- 5) оценка энергоэффективности производственных мощностей предприятия;
- 6) разработка программы по повышению энергетической эффективности;
- 7) рекомендации по повышению энергетической эффективности предприятия.

Первый этап энергетического обследования заключается в документальном аудите. Проводится сбор имеющейся технической и юридической документации обследуемого объекта. На основе полученных данных определяется количество обследуемых зданий и сооружений, а также состав и численность сотрудников. Собранная информация (год постройки, износ, количество этажей, кубатура, общая площадь, состав наружных стен, тип окон и тип крыши) структурируется и приводится в табличный вид. Анализируются климатические характеристики местности, где расположен объект. Проводится сравнительный анализ нормативных и фактических среднемесячных температур наружного воздуха посредством информационных сервисов и журнала температур оператора котельной.

Следующим этапом выступает сбор сведений о приборном учете предприятия. Анализируются собранные паспорта приборов учета и сравниваются с приборами, установленными на ресурсных вводах предприятия.

Далее производится сбор сведений о финансовых затратах на покупку энергоносителей. Анализируются тарифы на энергоносители и структура финансовых затрат на их покупку за базовый год. На основе собранных данных составляется наглядная диаграмма и высчитывается основная доля потребления энергоресурсов.

Аудит системы газоснабжения на производственном предприятии начинается с проверки договора по газоснабжению. Проводится визуальный осмотр мембранного счетчика газа, проверяется пломбировка и сроки периодической поверки. Далее обследуются обвязки и оборудование котельной. Собирается паспортная характеристика котлового оборудования, анализируется температурный график системы отопления зданий. Рассчитывается КПД котлоагрегатов и проводится тепловизионное обследование. Проведенные замеры обмуровки котла позволяют определить его негерметичные места. Разрабатывается структура выработки тепловой энергии котельной предприятия на основании данных топливного баланса. Так же важным мероприятием аудита является инструментальное обследование. Оно заключается в комплексном теплотехническом обследовании наружных ограждающих конструкций с использованием измерительного оборудования: электронного измерителя плотности тепловых потоков и портативного компьютерного термографа.

На основе собранной информации о тепловых узлах, создается таблица системы теплоснабжения по объектам предприятия. Таблица является своего рода индикатором работы автоматики регулирования источника теплоснабжения. Далее аудиторами составляется динамика изменения потребления природного газа за последние 3 ~ года, просчитывается фактическая удельная тепловая характеристика на основании фактического объема потребления тепловой энергии на отопление исследуемого объекта по формуле:

$$q_{\phi} = \frac{Q \cdot 1.163 \cdot 10^6}{T_{o.n.} \cdot V \cdot 24 \cdot (t_{вн} - t_{ср.г.})}, \text{Вт} / \text{м}^3 \cdot ^{\circ} \text{С} \quad (2.1)$$

Расчеты позволяют определить разницу между фактической удельной отопительной характеристикой и расчетно-нормативной. Полученные данные позволят оценить потенциал энергосбережения в системе отопления предприятия.

Следующим этапом аудита выступает система водоснабжения. Как правило на производственном предприятии в качестве источника водоснабжения используются собственные артезианские скважины. Аудиторами сопоставляется динамика электропотребления погружной насосной группы и фактическое потребление воды за расчетный период. Для зданий производственных предприятий норма потребления холодной воды на одного работающего в смену составляет 14 л/чел.*сут. (согласно п. 11 Приложения 3 СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий» (СНиП 2.04.01-85))⁶⁴. Аудиторами рассчитывается нормативное потребление холодной воды и сопоставляется с фактическим.

Далее аудиторами собираются общие сведения о системе электроснабжения, проверяются договора электроснабжения, разрешенная максимальная мощность. Аудиту также подлежит система учета потребления электроэнергии, осматриваются счетчики активной энергии (пломбировка и срок периодической поверки). Проверяется состояние коммутационного оборудования; силовые вводы и распределительные щиты осматриваются тепловизионным прибором с целью определения перегруженности фаз (рис. 2.2).

⁶⁴ СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий: приняты и введены в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2011 г. N 626 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200091049?ysclid=l4eqzttm2a518385385> (дата обращения: 13.05.2022).

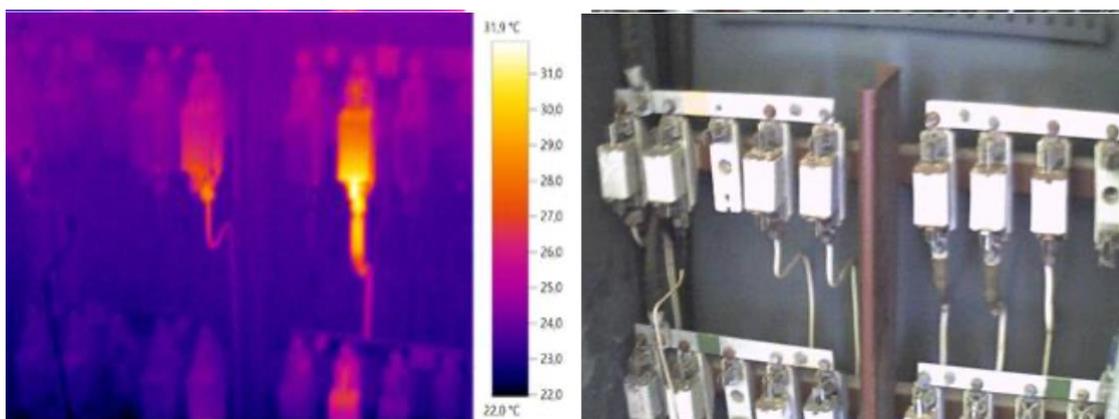


Рис. 2.2. Видимое и инфракрасное изображение электрощитовой (источник: построено автором)

Поэтапно специалистами анализируется состояние распределительной сети предприятия: в большинстве случаев электропроводка промышленных предприятий выполнена проводом с алюминиевой жилой, что не соответствует современным требованиям правил устройства электроустановок и СП 31-110-2003 (распределительные сети должны выполняться кабелями с медными жилами) ⁶⁵. Далее собирается информация по потреблению электроэнергии за последние 3 года и анализируется ее динамика. Следующим этапом осмотра электрооборудования промышленного предприятия выступает осмотр осветительных приборов и производственных мощностей. Подсчитывается количество осветительных приборов и их суммарная установленная мощность в кВт. Проводятся измерения освещенности с помощью прибора люксметр, сопоставляется актуальный уровень освещенности с нормативным и рассчитывается полезный коэффициент использования освещения. Под производственными мощностями понимаются технологическое оборудование и установки, потребляющие электроэнергию на производстве. При аудите собирается паспортная характеристика оборудования, фактическое потребление и число часов работы. По итогам обследования

⁶⁵ СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий: одобрены и рекомендованы к применению постановлением Госстроя России от 2 октября 2003 г. N 194 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035252?ysclid=l4er8mmmwq602198972> (дата обращения: 13.05.2022).

полученных данных, специалистами энергосервисной компании выделяются наиболее энергоемкие производственные линии и установки. Очередным этапом энергетического аудита выступает разработка программы по повышению энергетической эффективности. Программа подразумевает предложения по реализации энергосберегающих мероприятий с учетом степени износа системных узлов. Энергосберегающие мероприятия условно разделяются на две группы. Мероприятия, связанные с модернизацией и сервисным обслуживанием системы электроснабжения, отопления и вентиляции, выступают в роли первой группы. В качестве второй – мероприятия, связанные с усилением теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Необходимо отметить, что реализация мероприятий второй группы на объектах, где отсутствует системы автоматического регулирования расхода теплоты, не приведет к реальному энергосбережению. Утепление ограждающих конструкций должно сопровождаться снижением мощности установленных отопительных приборов, которого можно достичь уменьшением поверхности нагрева, снижением расхода теплоносителя или уменьшением его температуры.

Заключительным этапом энергетического обследования, являются предложенные рекомендации по повышению энергетической эффективности предприятия. Проводится анализ собранной информации по потреблению энергии, о состоянии энергосистемы и объектов производственных мощностей, исходя из чего предлагаются наиболее экономически эффективные мероприятия по повышению энергоэффективности промышленного предприятия.

Вторым техническим мероприятием при формировании комплекса выступает *энергомоделирование предприятия* посредством услуг энергосервисных компаний. Энергомоделирование представляет собой создание виртуальной 3D модели энергосистемы предприятия, наложенной посредством компьютерно-математических вычислений на смоделированный календарный год из ее жизненного цикла. В зависимости от объема реализуемых энергоэффективных технологий подходы к энергомоделированию могут различаться по масштабам. В условиях реализации интегрированной системы энергосбережения наиболее

эффективным подходом по мнению автора является приведение всех объектов предприятия в общую энергомодель. Энергомоделирование это проект, построение которого базируется на трех стадиях. В первую очередь специалистами энергосервисной компании собирается полная информация об объекте (характеристика объекта, потребление, выработка энергии и т.д.). На основе полученных данных создается трехмерная модель с геометрическими характеристиками всех объектов исследуемого предприятия. Для создания трехмерной модели предприятия ведущими программистами в области визуализации архитектурных объектов разработаны более 20 программ по 3D моделингу. В силу узко направленной специфики информационного моделирования зданий инженерами используются такие программы как «3D Компас» и «ArchiCAD». Данное программное обеспечение позволяет создавать трехмерные модели в изометрической проекции с возможностью наложения плагина времени года по заданным параметрам. Далее трехмерная модель дополняется техническими характеристиками объектов и задаются следующие с привязкой ко времени параметры помещений ⁶⁶:

- энергопотребление оборудования;
- мощность освещения;
- внутренние тепловые нагрузки;
- потребление воды;
- установленные значения температуры систем отопления;
- установленные значения температуры систем кондиционирования воздуха;
- воздухообмен в помещении;
- принадлежность к определенным системам поддержания внутреннего микроклимата.

Следующей задачей при построении базовой модели энергохозяйства, является оцифровка систем отопления, горячего водоснабжения, системы

⁶⁶ Иванов Д.С. Энергомоделирование [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://dmitryivanov.org/energomodelirovanie/> (дата обращения: 14.08.2021).

вентиляции, кондиционирования и электросети предприятия, с последующим наложением на 3D модель. Далее посредством программного комплекса IES Virtual Environment моделируется жизненный цикл предприятия с заданными температурными и техническими характеристиками. После построения базовой модели энергохозяйства предприятия специалистами создается энергоэффективная модель предприятия основой которой выступают предложенные энергоэффективные технологии. Далее проводится оценка на основе разницы между энергоэффективной и базовой моделями прогнозируемого уровня энергосбережения от применения конкретной комбинации технологий. Таким образом, применение энергомодели предприятия позволяет в виртуальном формате проводить точную симуляцию влияния на уровень энергоэффективности здания тех или иных наборов энергосберегающего оборудования и технологий.

Четвертым мероприятием выступает *проведение комплексной оценки готовности энергетических систем и инфраструктуры к цифровизации*. Данное мероприятие проводится на основе собранной ранее информации о техническом состоянии энергооборудования. Проводится оценка и выявляются риски аварий на основном энергетическом оборудовании предприятия. В рамках проведения комплексной оценки производится формирование оптимального перечня технологий автоматизации (в дополнение к имеющимся на предприятии с учетом технических требований к внедрению выбранных цифровых технологий) и цифровизации с проведением предварительной оценки их экономической эффективности.

Под пятым мероприятием подразумевается разработка технико-экономического обоснования проекта по созданию интегрированной системы энергосбережения. Под технико-экономическим обоснованием (ТЭО) понимают основополагающий комплект документов, в которых приведены финансовые расчеты, обуславливающие целесообразность создания проекта. ТЭО проекта с учетом специфики энергосбережения разделяется на девять основных разделов.

Таблица 2.2

Разделы технико-экономического обоснования (источник: построено автором)

№	Разделы технико-экономического обоснования
1.	Исходные данные и задача проекта
2.	Оценка потребления энергетических ресурсов предприятием и их тарифы
3.	Проектная документация
4.	Материальные факторы интегрированной системы энергосбережения
5.	Организационная структура
6.	Планирование сроков выполнения проекта
7.	Финансово-экономическая оценка проекта

Во вводном разделе обозначается основная цель разрабатываемого проекта, а также формулируются поэтапные задачи, решаемые посредством интегрированной системы энергосбережения.

Далее следует раздел по оценке потребления энергетических ресурсов предприятием и их тарифов, посвящённый анализу фактического потребления энергоресурсов и выявлению примерной последовательности полученной информации о изменении тарифов на оплату энергоресурсов за последние пять лет. Так же анализируются энергетические мощности поставщиков энергоресурсов с целью возможного увеличения мощностей или перехода на альтернативные виды энергии (в зависимости от предполагаемых энергетических технологий).

Раздел проектной документации включает в себя расчеты издержек на выполнение проектной работы по созданию технического проекта. В случаях, когда энергоэффективные технологии при внедрении в энергохозяйство предприятия требуют дополнительных площадей, разрабатывается проектный

план по размещению данных объектов. Помимо вышеперечисленных проектов, в зависимости от выбранных технологий затраты на проекты могут быть увеличены.

В рамках раздела – материальные факторы интегрированной системы энергосбережения – оценивается количественная потребность энергии для работоспособности энергосистемы в целом. В целях определения выгоды от внедряемых мероприятий специалистами рассчитывается среднемесячное потребление энергии энергохозяйством предприятия с учетом использования ИСЭ и сопоставляется с текущим среднемесячным потреблением.

Технико-экономическое обоснование проекта включает в себя раздел организационная структура. В данном разделе формируется организационная структура энергетического хозяйства предприятия с учетом использования интегрированной системы энергосбережения. Отдел главного энергетика трансформируется в следствие добавления единого центра управления ИСЭ. На основании сокращения отделов и бюро производится расчет освободившихся денежных средств.

В следующем разделе приводится примерный график осуществления проекта. По сути, планирование сроков выполнения проекта является частью коммерческого предложения. При планировании специалистами определяются сроки разработки проектной документации и направляются запросы по производственным предприятиям о сроках поставки энергоэффективного оборудования. На основании сведений о подготовленности платформы энергохозяйства предприятия к внедрению ИСЭ обозначаются сроки подготовки и установки технологий. Далее специалистами ЭСКО рассчитывается время на проведение пуско-наладочных работ с последующим инструктажем персонала предприятия, взаимодействующего с установленным оборудованием.

Конечным разделом технико-экономического обоснования проекта является финансово-экономическая оценка проекта. Данный раздел является предпосылкой принятия решения руководством предприятия по дальнейшему развитию проекта. Специалистами создается сводная таблица, состоящая из показателей: объем

финансовых инвестиций, годовая экономия энергетических ресурсов и средний срок окупаемости в месяцах.

Завершающим мероприятием при разработке комплекса выступает формирование команды по внедрению ИСЭ. В состав команды должны входить специалисты ЭСКО, руководители профильных подразделений предприятия (главный инженер и главный энергетик) и сотрудников данных подразделений. Основными задачами команды является контроль и поддержание работоспособности системы.

Рассмотренный перечень включает все мероприятия вплоть до разработки системы планов комплексного повышения энергоэффективности высокотехнологичного предприятия. Фактически, описанные выше мероприятия позволяют идентифицировать имеющиеся проблемы и определить те действия, которые впоследствии лягут в основу стратегии по комплексному повышению энергоэффективности высокотехнологичного предприятия.

2.3. Разработка системы планов комплексного повышения энергоэффективности высокотехнологичного предприятия

Планирование является одним из основных мероприятий при определении путей по энергоэффективной модернизации предприятия и содержит комплекс планов повышения энергетической эффективности предприятия на основе внедрения энергосберегающих технологий и технологических решений Индустрии 4.0. От качества проведенного планирования зависит правильность принятия управленческих решений руководством предприятия в отношении применения той или иной энергоэффективной технологии. В рамках разработки системы планов комплексного повышения энергоэффективности высокотехнологичного предприятия основные уровни планирования систематизированы автором в графической форме на следующей диаграмме (рис. 2.3).

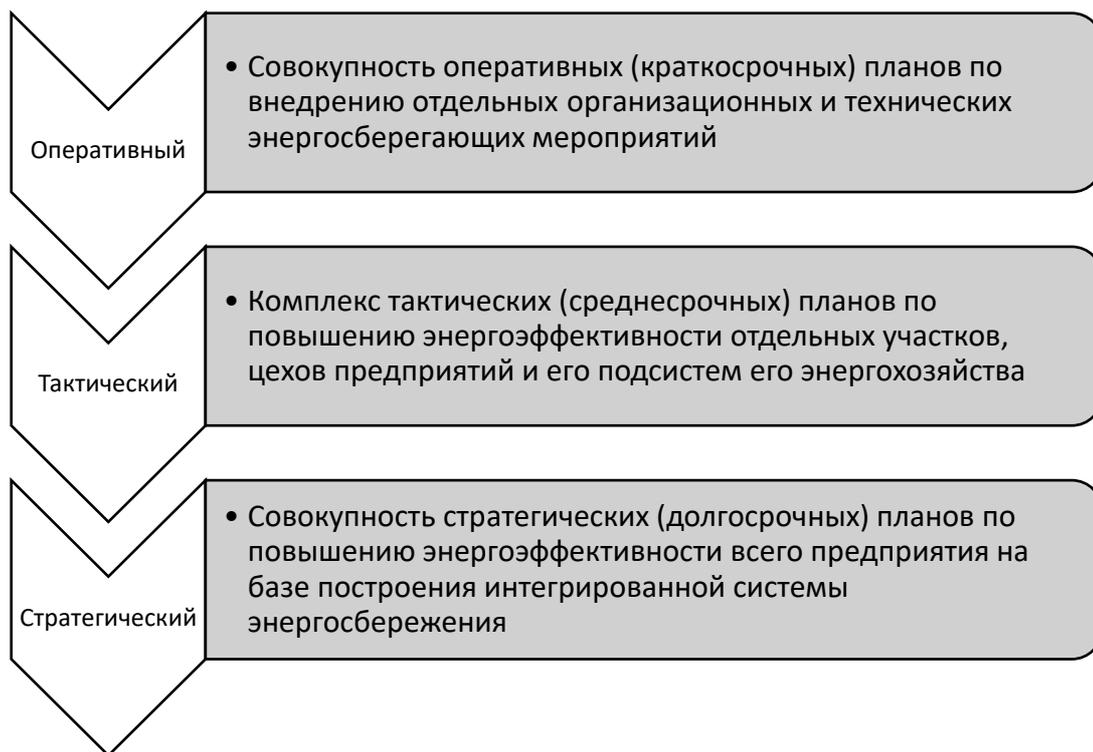


Рис. 2.3. Уровни планирования (источник: построено автором)

Как видно из данных, приведенных на рисунке 2.3, система планов включает в себя три уровня планирования:

- **оперативный уровень** (*краткосрочное планирование*) – оперативные планы, представляющие собой результат декомпозиции отдельных направлений тактических планов до уровня конкретных задач и мероприятий. К примеру, на тактическом уровне планирования стоит задача повышения энергоэффективности отдельного цеха, а на оперативном уровне она детализируется до конкретных мероприятий (проведение энергоаудита, внедрение отдельных технологий, контроль энергопотребления конкретного оборудования и т.д.). Горизонт планирования – до 1 года;
- **тактический уровень** (*среднесрочное планирование*) – система планов, которая отражает реализацию основных положений стратегии на среднесрочном временном промежутке. Применение тактических планов позволяет «разбить» отдельные «глобальные» пункты стратегии на цепочку

или совокупность конкретных мероприятий, что облегчает их практическое внедрение. Горизонт планирования – от 1 до 3 лет;

- стратегический уровень (*долгосрочное планирование*) – комплексная стратегия повышения энергоэффективности, единая для всего предприятия. В ее рамках проводится планирование всего комплекса действий, связанных с внедрением и дальнейшим совершенствованием энергосберегающих технологий. Горизонт планирования – от 3 до 10 лет.

Следует отметить, что на включение отнесение энергосберегающих мероприятий к одному из вышеперечисленных уровней планирования могут оказывать влияние сложность и трудоемкость их внедрения и сроки окупаемости.

В частных случаях мероприятия, предписанные среднесрочному планированию, могут переходить в долгосрочное и наоборот: такие изменения могут происходить в зависимости от масштабов внедряемой технологии, степени износа и суммарного объема энергетических потерь модернизируемого участка. Каждому уровню планирования присущи определённые наборы энергоэффективных мероприятий.

Среди типовых мероприятий на оперативном уровне преобладают разовые организационные и технические мероприятия по повышению энергетической эффективности предприятия. Под организационными мероприятиями понимаются следующие: проведение для персонала предприятия семинаров на тему повышение энергетической эффективности предприятия с целью повышения технических знаний в вопросах энергосбережения, назначение ответственного лица за контроль включения и выключения производственного и организационного оборудования, оптимизация графиков работы промышленного оборудования для устранения пиковых нагрузок на энергосистему предприятия, разработка системы поощрения сотрудников за действия, направленные на энергосбережение ресурсов предприятия и др. Технические мероприятия включают: проведение технического энергоаудита, устранение дефектов и разрывов на линиях электроцепи оборудования, разработка наиболее рационального плана освещения помещений предприятия, снятие декоративных ограждающих конструкций с радиаторов

отопления с целью увеличения площади охвата тепловыми потоками, проведение оптимизации температур в системе ГВС, разработка планов по исключению перегрева или переохлаждения производственных помещений, мероприятия по очистке отопительной системы посредством технологии водоподмеса с целью обновления технической жидкости и увеличения теплоотдачи системы.

На тактическом уровне так же, как и на оперативном мероприятия подразделяются на технические и организационные с горизонтом планирования от 1 до 3 лет. Одним из основных организационных мероприятий, относящихся к тактическому уровню планирования, является создание системы энергоменеджмента на предприятии. Типовыми техническими мероприятиями по энергосбережению в системе энергоснабжения выступают следующие: реконструкция трансформаторных подстанций, настройка равномерной загруженности фаз распределения, модернизация электросетей предприятия, замена наиболее энергоемкого промышленного оборудования предприятия, оснащение системы электроснабжения узлами автоматического сбора и передачи данных о потреблении электрической энергии, внедрение частотных регуляторов в насосную группу системы водоснабжения и т.д.

К традиционным энергосберегающим мероприятиям в системах освещения относится реконструкция системы освещения путем замены ламп накаливания на светодиодные. В рамках системы отопления модернизируются существующие индивидуальные тепловые пункты. Внедряются автоматизированные системы с функциями регулирования подачи подготовленной воды посредством запорных термостатических вентилей. В системах горячего водоснабжения проводится реконструкция теплоизоляционного материала трубопроводов с использованием современных изоляционных технологий и т.д.

Как было отмечено ранее, в рамках долгосрочного планирования проводится комплекс действий, связанный с внедрением и дальнейшим совершенствованием энергосберегающих технологий. Стратегический уровень предполагает использование системного подхода к энергосбережению в рамках всей энергосистемы предприятия. На данном уровне осуществляется взаимоувязка

мероприятий, относящихся к оперативному и тактическому уровням планирования в контексте внедрения интегрированной системы энергосбережения предприятия с применением цифровых технологий Индустрии 4.0. Кроме того, на стратегическом уровне реализуются наиболее длительные по срокам реализации мероприятия, как правило, связанные не столько с внедрением конкретных технологий, сколько с целостным развитием и совершенствованием аппаратных и программных систем, соответствующей цифровой инфраструктуры, глубокой технологической модернизацией энергосистемы предприятия и т.д.

По завершении систематизации мероприятий, относящихся к различным уровням планирования, следует сформировать структуру стратегии комплексного повышения энергоэффективности мероприятия. Данная стратегия, включая в себя мероприятия со всех трех уровней планирования, позволяет обеспечить из взаимосвязанную реализацию в рамках повышения энергетической эффективности предприятия. Она включает в себя десять блоков, каждый из которых содержит ряд мероприятий, направленных на достижение общей цели (рис. 2.4).

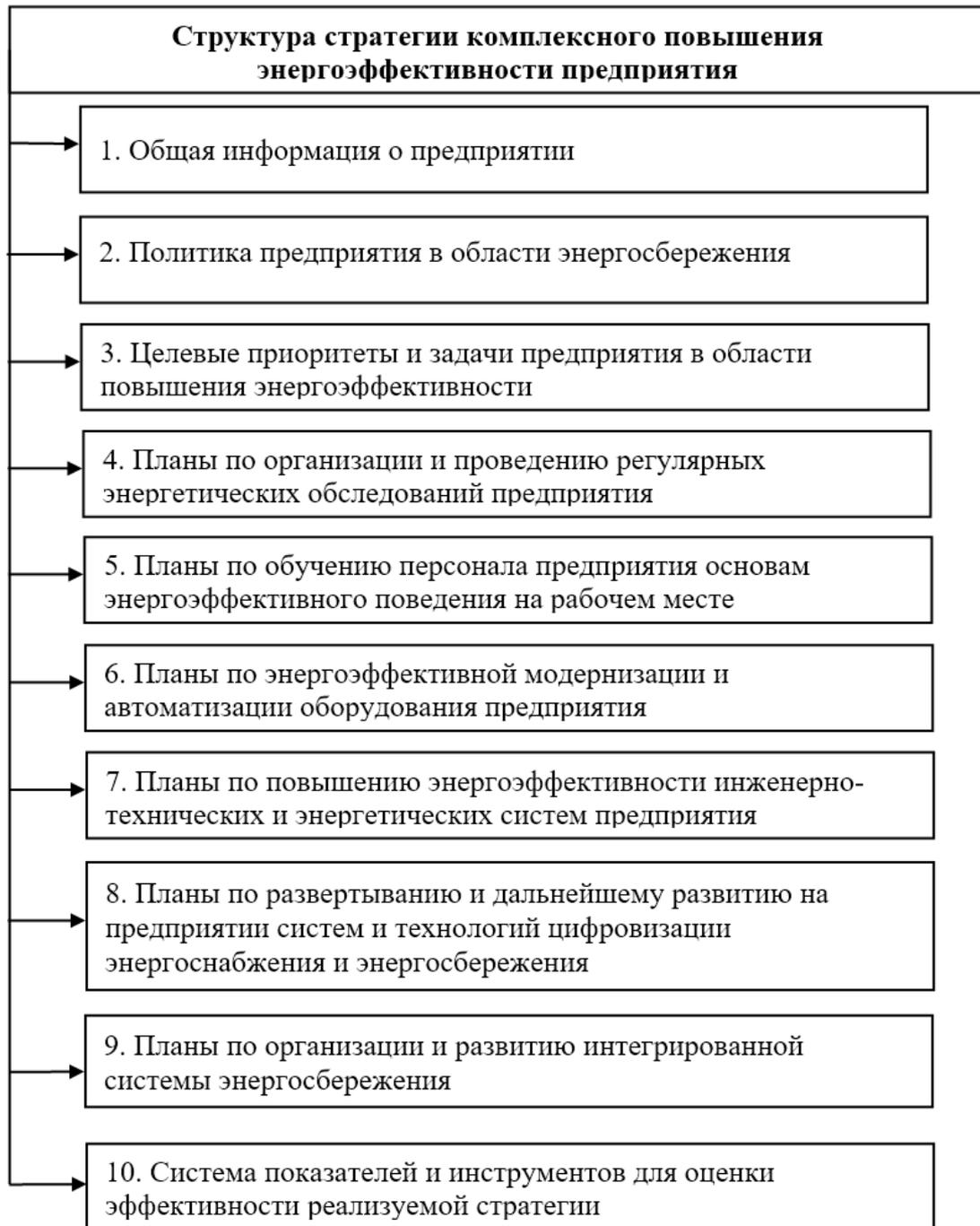


Рис. 2.4. Структурное построение стратегии комплексного повышения энергоэффективности предприятия (источник: построено автором)

Первым блоком разрабатываемой стратегии выступает *общая информация о предприятии*. Информация об объекте имеет важное значение при разработке любого вида стратегии, в контексте комплексного повышения энергоэффективности предприятия она является основополагающим звеном определяющим масштабы внедрения стратегии. Среди мероприятий относящихся к

данному блоку следует выделить следующие: сбор общей характеристики предприятия (местоположение, род деятельности, организационная форма, численность сотрудников, количество зданий, год постройки и их площадь); сбор технических характеристик предприятия (договора о поставке энергоресурсов на предприятие, планы по разводке энергосистемы (электричество, отопление, вентиляция, водоснабжение). Анализируются паспорта производящего энергию оборудования и сопоставляются с необходимым количеством энергоресурсов для функционирования высокотехнологичного предприятия.

Опираясь на общую информацию о предприятии, стратегия предполагает разработку и утверждение *политики предприятия в области энергосбережения*. Политика предприятия в области повышения энергоэффективности и энергосбережения является основополагающим документом для внедрения интегрированной системы энергосбережения. Документом закрепляются следующие положения: основная цель, задачи, область действия и срок функционирования. Важно отметить, что программой устанавливаются индикаторы энергетической эффективности, за реализацию которых отвечают установленные технические и организационные мероприятия, вкюпе составляющие ИСЭ.

Следующим блоком стратегии выступают целевые приоритеты и задачи предприятия в области повышения энергоэффективности. Целевые приоритеты и задачи по их решению разрабатываются в соответствии с главной миссией предприятия. Основными целями стратегии являются постоянное повышение энергоэффективности предприятия, рациональное использование энергетических ресурсов, а также технологическое совершенствование реализуемой ИСЭ путем внедрения инновационных технологий. Достижение поставленных целей может быть реализовано посредством выполнения следующих задач: выполнение мероприятий, предусмотренных вышеописанной программой, обеспечение прозрачного контроля и учета за потреблением энергоресурсов, повышение уровня энергоэффективной компетентности работников предприятия, влияющей на их

способности к рациональному и экономному использованию в производственном процессе различных типов энергетических ресурсов и т.д.

Целью планов по организации и проведению регулярных энергетических обследований предприятия выступает получение показателей о эффективности работы ИСЭ на предприятии. Порядок проведения энергетического обследования предприятия подразумевает периодичность обследования не реже одного раза в три года. Ввиду того, что такая периодичность не отражает полную картину эффективности реализуемых мероприятий в рамках интегрированной системы энергосбережения. Следовательно, реализацией данных планов выступает проведение полного энергоаудита предприятия раз в год посредством услуг ЭСКО. Такая частота проверок позволяет представить актуальную информацию о динамике повышения энергоэффективности предприятия.

Целью планов по обучению персонала предприятия основам энергоэффективного поведения на рабочем месте является вовлечение всех сотрудников предприятия в программу повышения энергоэффективности. Реализация данных планов должна проводиться в соответствии с заранее определенным графиком обучения персонала. Обязательным условием процесса обучения выступает ежеквартальная аттестация сотрудников по основам энергосберегающего поведения. Среди мероприятий, относящихся к данному блоку, выделяют проведение групповых лекционных занятий и семинаров, где основной повесткой является процесс энергосбережение и повышение энергоэффективности предприятия. Кроме того, целесообразным является проведение обучения непосредственно на рабочих местах сотрудников, в рамках которого они усваивают практические энергоэффективные компетенции.

Целью планов по энергоэффективной модернизации и автоматизации оборудования предприятия выступает организация системной работы по замене устаревшего промышленного оборудования предприятия с высоким уровнем энергоемкости. Реализация этих планов должна опираться на объективные данные предварительно проведенных энергетических обследований и результаты анализа топливно-энергетического баланса предприятия. Одним из важных критериев при

выборе нового оборудования выступает уровень его энергоэффективности, а также возможность его быстрой и адаптивной настройки в зависимости от интенсивности производственных циклов. Ввиду того, что закупка нового оборудования требует существенных вложений со стороны предприятия, в первую очередь замене и модернизации подлежит наиболее энергоемкое оборудование. Еще одной целью реализации планов из данного блока стратегии является автоматизация оборудования как необходимый этап для развертывания в последующем цифровых систем и технологий для управления энергоэффективностью предприятия. Важным преимуществом этого этапа является то, что модернизация и автоматизация оборудования будут способствовать не только росту энергоэффективности предприятия, но и повышению его технологической и экономической эффективности, росту объемов и качества выпускаемой продукции.

Следующим блоком структуры стратегии выступают планы по повышению энергоэффективности инженерно-технических и энергетических систем предприятия. Реализация планов из данного блока направлена на создание энергоэффективной и надежно функционирующей энергосистемы предприятия. Мероприятия, внедряемые в рамках данного блока, распространяются на следующие системы: электросети, теплотрассы, вентиляционные системы. К основным мероприятиям относятся работы по модернизации действующих технических соединений энергосистемы предприятия путем замены устаревших (технически и морально) участков на более технологичные и надежные. Такая модернизация позволяет не только повысить технологический уровень системы, влияющий на повышение энергоэффективности, но и коэффициент надежности при работе энергосистемы в целом. Перечисленные мероприятия формируют необходимую технологическую основу для последующего внедрения интегрированной системы энергосбережения.

Основой планов по развертыванию и дальнейшему развитию на предприятии систем и технологий цифровизации энергоснабжения и энергосбережения выступает разработка проекта по комплексной модернизации и дальнейшему развитию энергосистемы, реализуемая специалистами ЭСКО совместно с

представителями предприятия. На данном этапе разрабатываются проекты по созданию Единого центра управления энергоэффективностью и монтажу технологического оборудования во всех энергетических системах предприятия. Под технологическим оборудованием подразумеваются цифровые приборы контроля и учёта энергоресурсов, управляемые затворные клапаны, цифровые щиты по распределению токов и т.д. Среди функциональных особенностей оборудования следует выделить: перевод показателей в единый цифровой формат, возможность удаленного регулирования и т.д. Основной целью данного блока стратегии является формирование ИСЭ на основе реализации трех этапов:

- создание Единого центра управления;
- монтаж технологического оборудования;
- формирование канала сети между объектами оборудования и центром управления.

По сути, данный блок подразумевает цифровизацию энергосистемы предприятия через создание интегрированной системы энергосбережения.

Следующим блоком стратегии выступают планы по организации и развитию интегрированной системы энергосбережения. Главной целью планов данного блока является консолидация ранее внедренных цифровых технологий и аппаратного обеспечения в структуре формируемой интегрированной системы энергосбережения. Условно совокупность мероприятий, реализуемых в рамках данного блока, можно разделить на два уровня. Мероприятия первого уровня отвечают за создание обладающего внутренней совместимостью программного обеспечения, поддерживаемого всеми видами установленного технологического оборудования, проектирование и внедрение цифровой инфраструктуры системы, унификацию протоколов обмена информацией между оборудованием, установление оптимальных показателей состояния энергосистемы, выработку сценариев действий системы в различных плановых и нештатных ситуациях. Мероприятия второго уровня отвечают за формирование интеллектуального потенциала ИСЭ. К ним относятся разработка алгоритмов и прикладных программных пакетов искусственного интеллекта, создание баз данных,

разработки аналитических, управляющих подпрограмм, создание скриптов с целью определения и автоматизации последовательности действий при различных задачах, стоящих перед энергосистемой предприятия.

В качестве заключительного блока стратегии выступает разработка и внедрение системы показателей и инструментов для оценки эффективности ее реализации. Эти показатели помогают оценить результативность отдельных этапов стратегии по комплексному повышению энергоэффективности предприятия с целью ее дальнейшего совершенствования с учетом изменений во внутренней и внешней среде предприятия. Важным условием комплексности такой оценки выступает определение уровня достижения отдельных целей и решения задач стратегии по различным проекциям: энергосберегающей, технологической и экономических. С точки зрения организационных мероприятий в рамках оценки эффективности стратегии может применяться энергетический аудит функционалом которого является оценка эффективности функционирования энергосистемы, оценка персонала по соблюдению правил энергосбережения, финансовый анализ статьи расходов по оплате потребленной энергии.

По завершении формирования стратегии комплексного повышения энергоэффективности предприятия организаторами осуществляется проектирование архитектуры ИСЭ, сущность и основы реализации которого будут рассмотрены в следующем параграфе диссертационного исследования.

2.4. Проектирование архитектуры интегрированной системы энергосбережения на основе технологий цифровой трансформации

По завершении разработки системы планов комплексного повышения энергоэффективности участниками команды осуществляется проектирование архитектуры интегрированной системы энергосбережения. Целью реализации данного этапа выступает создание такой архитектуры ИСЭ, которая позволит с

минимальными издержками на ее создание максимально снизить уровень избыточного энергопотребления предприятия. При ее проектировании, по мнению автора, целесообразно учитывать те актуальные цифровые технологии и автоматизированное оборудование, которые получили активное развитие в условиях Четвертой промышленной революции. Их использование в ее архитектуре позволяет существенно повысить уровень автоматизации процессов за счет применения наиболее современных цифровых технологий и комплексных решений, включая технологии искусственного интеллекта. Кроме того, важной задачей в данном контексте выступает организация автоматизированного взаимодействия между отдельными подсистемами в общей архитектуре ИСЭ

Архитектура интегрированной системы энергосбережения представлена на схеме (рис. 2.5).

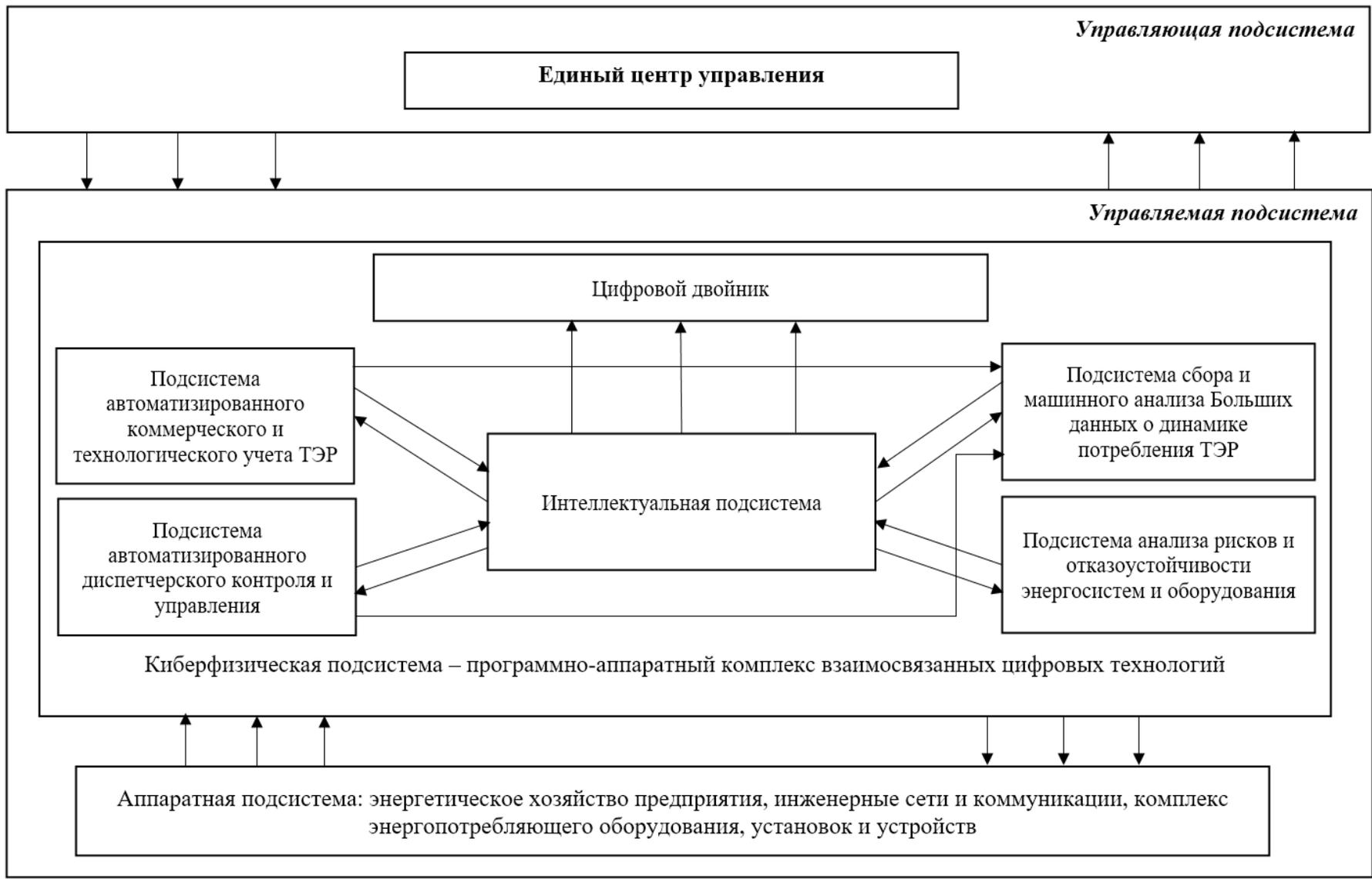


Рис. 2.5. Схема архитектуры интегрированной системы энергосбережения (источник: построено автором)

Рассмотрим спроектированную архитектуру интегрированной системы энергосбережения, представленную на рисунке 2.5. С точки зрения иерархии, управляющей подсистемой ИСЭ является *Единый центр управления (ЕЦУ)*, в работе которого участвуют главный энергетик, главный инженер, профильные специалисты предприятия (энергетического и инженерного профиля), а также специалисты ЭСКО, иными словами – представители той команды, которая осуществляла формирование данной системы.

В состав управляемой подсистемы входят две основные подсистемы. Первая – Киберфизическая подсистема – совокупность аппаратных средств, внедренных в энергетическом хозяйстве предприятия, а также на уровне его инженерных сетей и коммуникаций, различного оборудования и взаимосвязанных с этими аппаратными средствами программных продуктов и алгоритмов. Вторая - Аппаратная подсистема: энергетическое хозяйство предприятия, инженерные сети и коммуникации, комплекс энергопотребляющего оборудования, установок и устройств. В состав Киберфизической подсистемы входят следующие подсистемы:

- подсистема автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР;
- подсистема автоматизированного диспетчерского контроля и управления;
- подсистема сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР;
- подсистема анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования.

Центром коммуникации вышеперечисленных подсистем выступает Интеллектуальная подсистема, базирующаяся на комплексе технологий искусственного интеллекта.

Подсистема автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР объединяет в себе всю совокупность приборов учета различных ТЭР вместе с той программно-аппаратной инфраструктурой, которая соединяет их в единый массив (Промышленный интернет вещей, КСПД, прочие контроллеры, датчики,

сенсоры) и обеспечивает централизованный сбор показаний об энергопотреблении различных цехов и подразделений предприятия. Задача подсистемы – круглосуточный автоматизированный сбор показаний с приборов учета и передача этих данных в Интеллектуальную подсистему, а также в Подсистему сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР. Графическое изображение визуального интерфейса модуля подобной системы, используемого для автоматизации учета и мониторинга потребления энергоресурсов, приводится автором в Приложении 2. Техническое обеспечение данной подсистемы позволяет в режиме реального времени произвести сбор качественных и количественных показателей энергопотребления на предприятии.

Структура подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР включает в себя 2 уровня, последовательно связанных между собой. Нижний уровень состоит из первичных измерительных преобразователей (приборы учета), установленных на определенных участках проходящей энергии. Так как реализуемая ИСЭ внедряется в плоскости всего предприятия, область учета измерительных приборов должна охватывать все участки, где проходят потребляемые энергоресурсы. Узлы учета обеспечивают круглосуточное измерение следующих типов энергоресурсов: электрическая энергия, тепловая энергия, вода. Функционал приборов учета различается по типу измеряющихся энергоресурсов. В зависимости от модели приборы учета имеют различный функционал, они способны измерять напряжение, мощность, давление, температуру, качество и количество энергоресурсов. В настоящее время в базовые возможности приборов учета входит функция передачи информации на второй уровень, где производится преобразование в единый формат данных и дальнейшая их передача в интеллектуальную подсистему. Кроме того, современные технологии автоматизации энергосбережения позволяют проводить удаленную самодиагностику установленных приборов учета. Графическое изображение пользовательского интерфейса модуля

специализированного программного обеспечения для самодиагностики приборов учета приведен в Приложении 3.

На втором уровне находятся контроллеры сбора и передачи данных (КСПД).

По сути, подсистема автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР является одним из главных технологических звеньев для оценки энергетической ситуации на предприятии, так как собранные приборами учета и обработанные контролерами измерения передаются в интеллектуальную подсистему с целью дальнейшей обработки и анализа. Пример визуального интерфейса модуля специализированного программного обеспечения, используемого для анализа баланса энергопотребления, приводится в Приложении 4.

Подсистема автоматизированного диспетчерского контроля и управления – это информационно-управляющая подсистема, предоставляющая в распоряжение ответственных за энергосбережение специалистов предприятия наиболее эффективные технологии автоматизированного контроля и управления энергопотреблением. Данную подсистему можно отнести к системе класса SCADA. В число функций данной подсистемы входит две основные функции – это удаленный автоматизированный (на основе технологии искусственного интеллекта) диспетчерский контроль (снятие информации с датчиков и сенсоров, установленных на оборудовании) и управление (на основе различных установленных на оборудовании исполнительных механизмов типа клапанов, задвижек, вентилях и т.д.) энергооборудованием предприятия. Каждая функция подсистемы включает в себя ряд следующих подфункций. Функция удаленного автоматизированного диспетчерского контроля состоит из таких подфункций как: снятие информации с датчиков и сенсоров; передача и получение информации.

В функции управления системы выделяют следующие основные подфункции:

- управление и контроль за функционированием релейной защиты;

- управление клапанами;
- управление задвижками;
- управление вентилями;
- управление цифровыми коммутаторами.

Основываясь на вышеописанных функциях подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления в ИСЭ, следует рассмотреть её структуру (рис. 2.6).

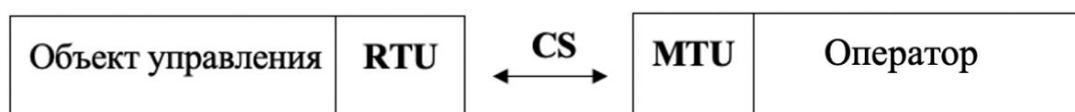


Рис. 2.6. Структурные компоненты системы SCADA (источник: ⁶⁷)

Как видно из схемы на рис. 2.6., система SCADA состоит из трех компонентов: RTU, CS, MTU.

Первым компонентом системы выступает Remote Terminal Unit (RTU) — это удаленный терминал, задачей которого является осуществление обработки задач в режиме реального времени. Удаленный терминал в системе SCADA реализуются посредством различных компонентов от датчиков, осуществляющих сбор информации с объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме реального времени. Следующим компонентом выступает Master Terminal Unit (MTU) в стандартной компоновке системы SCADA данный компонент является диспетчерским пунктом управления осуществляющий обработку поступающих данных и дальнейшее управления RTU компонентами, в режиме реального времени. Основной функцией MTU компонента в системе – это обеспечение

⁶⁷ Тарасов В. Б., Святкина М. Н. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы / Машиностроение и компьютерные технологии. 2011. №13. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-scada-sistemy-istoki-i-perspektivy> (дата обращения: 19.04.2021).

интерфейса между субъектом управления и объектом управления. Последним компонентом выступает Communication System (CS) - коммуникационная система. Данная система необходима для обеспечения связей между устройствами и дальнейшего управляющего воздействия на компоненты системы⁶⁸.

Основываясь на рассмотренных выше структурных компонентах системы, можно представить автоматизированную подсистему диспетчерского контроля и управления в виде трёхуровневой системы. Каждый уровень отвечает за выполнение определенных задач. На нижнем уровне располагаются различные датчики, технологических и исполнительных механизмов, относящиеся в системе к объекту управления. Спецификация подобного оборудования различна, из типовых компонентов можно выделить различные типы механизмов автоматического управления котловым оборудованием, вентиляционным оборудованием, удаленное управление вентилями труб, запорными клапанами и задвижками. Непрерывный мониторинг и функционал удаленного управления вышеописанным оборудованием позволяет диспетчерскому отделу корректировать потребление энергии на предприятии.

Средний уровень системы состоит из программируемых логических контроллеров. Типовым функционалом контроллеров выступает сбор информации с первого уровня, структуризация, обработка и передача её на верхний уровень (диспетчерский пункт). В настоящее время контроллеры производятся по высшему стандарту защиты IP 67, такая степень защищенности и возможность автоматизированного функционирования позволяет использовать их в агрессивной среде. Под агрессивной средой понимаются тяжело доступные участки с высокими перепадами температур, высокой влажностью, большим содержанием частиц пыли и т.д. Применение

⁶⁸ Тарасов В. Б., Святкина М. Н. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы / Машиностроение и компьютерные технологии. 2011. №13. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-scada-sistemy-istoki-i-perspektivy> (дата обращения: 19.04.2021).

программируемых логических контроллеров дает возможность автоматизировать ряд функций:

- управление задвижками;
- управление клапанами;
- управление насосным оборудованием;
- изменение рабочих режимов энергетического оборудования;
- оцифровка и автоматический анализ поступающих сигналов.

Так как подсистема SCADA нового поколения внедряется не как отдельная технология, а как один из механизмов ИСЭ на предприятии, следует необходимым разграничить понимания верхнего уровня управления системой.

В более ранних версиях подсистем SCADA на верхнем уровне располагались только автоматизированные рабочие места диспетчеров. В новой версии подсистемы на верхнем уровне располагается автоматизированная система управления, подконтрольная специалистам диспетчерского пункта. Следует отметить, что данная система не обособлена, а работает в прямой связи с Интеллектуальной подсистемой, получая от последней различные команды действий. Так же на данном уровне располагаются трансляторы передающие информацию в постоянном режиме о работе подсистемы в Интеллектуальную подсистему, а также в Подсистему сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР. Такая компоновка подсистемы позволяет повысить оперативность реагирования на различные нештатные ситуации и аварии, повысить эффективность диспетчерского контроля за счет оказания круглосуточной поддержки диспетчерам из состава сотрудников предприятия.

Подсистема сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР отвечает за сбор информации об объемах и различных показателях, потребляемых предприятием ТЭР, на основе которой осуществляется машинный анализ (на основе искусственного интеллекта) общего массива данных. Целью данного анализа выступает выявление различных (неявных для специалистов предприятия и ЭСКО) тенденций, важных скрытых закономерностей, проблем, которые могут быть использованы

руководством ИСЭ и предприятия для повышения его энергоэффективности, предотвращения скрытых утечек энергии, выявления потенциальных (и способных в будущем привести к авариям и отказу оборудования) нестабильностей и т.д. Подсистема получает информацию для анализа от Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР и Подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления и передает результаты в Интеллектуальную подсистему.

Основой подсистемы по сбору информации выступает информационная платформа PI System. Следует отметить, что данная платформа включает в себя большое количество специализированного программного обеспечения - PI-интерфейсы. Среди распространенных интерфейсов можно выделить:

- ReLDB;
- DDE;
- ModBus;
- OPC.

Учитывая специфику разрабатываемой ИСЭ наиболее рационально рассматривать универсальный механизм обмена данными OPC (OLE for Process Control). Ключевыми компонентами технологии являются сервера (OPC Server) и логгер (OPC Data Logger). В зависимости от объемов и типов измеряемых показателей разрабатывается план схема по разработке и внедрению серверов⁶⁹. OPC сервер нового поколения включает в себя многофункциональные персональные настройки, подходящие для большинства моделей считывающего оборудования установленного в энергосистеме предприятия. Что облегчает процесс настройки и подключения оборудования к серверу. Увеличенные производственные характеристики серверов позволяют опрашивать оборудование различного производства в режиме реального времени.

Следует отметить, что важным критерием эффективного

⁶⁹ Кондрашов С. Н. Автоматизация управления производственно-диспетчерской информацией на базе PI system / С. Н. Кондрашов, В. М. Солодченков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 2. С. 43-59.

функционирования ИСЭ является быстрота и надежность в передаче информации. В стандартной классификации сервера применяется базовая функция – маршрутизация, отвечающая за сбор и передачу информации. Недостатком данной функции является принцип действия, заключающийся в однопоточном канале передачи данных. При таком исполнении объемные массивы данных подлежащие передаче передаются с задержкой так как могут вставать в виртуальную очередь, что существенно снижает эффективность деятельности и задерживает работу системы в целом. Предлагается использовать динамическую маршрутизацию. Данная функция также отвечает за сбор информации о текущем состоянии системы от считывающих устройств и передает ее логгеру для дальнейшей обработки. Отличием является то, что в динамической маршрутизации информация передается по кратчайшему маршруту используя многопоточные каналы связи, такие как оптоволоконное соединение или функционал ИТ технологии.

Собранная информация при помощи серверного оборудования подлежит дальнейшей обработке посредством программы OPC Data Logger. Данная программа – это универсальное решение для сбора и сортировки больших объемов данных. Как видно из рисунка 2.7 логгер выступает соединительным звеном между серверами и базой данных.

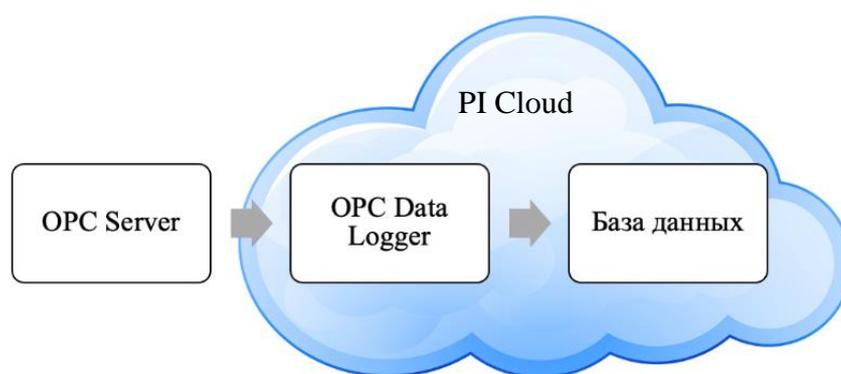


Рис. 2.7. Архитектура механизма обмена данными PI system (источник: построено автором)

Ключевые особенности логгера:

- сбор данных с нескольких серверов одновременно;

- поддержка различных интерфейсов (HDA, XML, OPC и т.д.);
- многопоточность;
- фильтрация данных при помощи прописанных алгоритмов;
- экспорт информации в Базу данных.

Полученная информация с серверов фильтруется настройками логгера и запросами подсистем на необходимую информацию. Следующим этапом выступает преобразование полученных файлов в единый формат с последующим экспортом в базу данных.

Также следует отметить, что логгер передавая локальную информацию с серверов в базу данных является частью облачной платформы. Облачное программное обеспечение PI Cloud это информационное звено киберфизической системы, позволяющее в автономном режиме обмениваться данными об состоянии энергосистемы предприятия. Все подсистемы киберфизической системы взаимосвязаны с облачной платформой: в зависимости от уровня доступа им доступны различные режимы взаимодействия.

Следующей функцией подсистемы выступает Машинный анализ Больших данных о динамике потребления топливно-энергетических ресурсов. Процесс анализа Больших данных осуществляется посредством цифровых вычислителей и базируется на трех принципах:

- локальность данных;
- горизонтальная масштабируемость;
- отказоустойчивость.

Поскольку объем собираемой информации может расти в геометрической прогрессии, цифровая платформа должна обладать высокой отказоустойчивостью, распределенной аппаратной архитектурой и возможностями оперативного масштабирования.

Цифровой вычислитель в архитектуре подсистемы является частью базы данных. В условиях большого количества поступающей информации необходимо использовать каскад высокопроизводительных мощностей, в который входят различное оборудование и вычислительная платформа.

Наиболее подходящей платформой, отвечающая базовым принципам работы с Большими данными, выступает технология Hadoop. В ранее рассмотренной архитектуре механизма обмена данными PI System платформа Hadoop выступает в качестве базы данных. Анализ Больших данных посредством данной платформы проводится в три фазы (рис. 2.8).

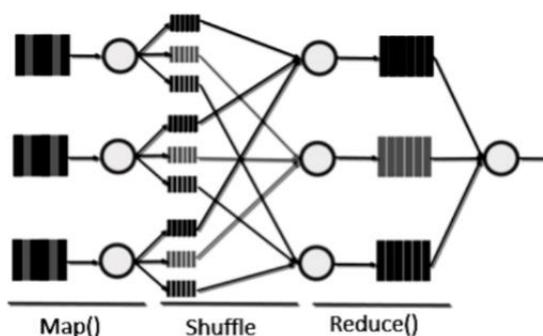


Рис. 2.8. Схема обработки данных платформой Hadoop (источник: ⁷⁰)

На начальной фазе (Map) проводится предобработка и фильтрация данных при помощи функций, определенных интеллектуальной системой. Фаза Shuffle подразумевает распределение данных по «корзинам» - каждая из которых соответствует одному ключу вывода стадии Map. На данном этапе информации присваиваются уникальные коды, которые впоследствии будут являться базисными значениями при формировании Цифрового двойника. В свою очередь, фаза Reduce предполагает сортировку, перемешивание, обработку и вывод итоговых данных.

На следующем этапе проводится анализ полученной информации. Поточная информация по каждому из измеряемых показателей формируется в единый веб – график, на основе которого при помощи аналитических функций определяются отклонение или соответствие плановым значениям ⁷¹. Пример визуальных интерфейсов модулей специализированного программного обеспечения, используемых для мониторинга потребления энергоресурсов и консолидации

⁷⁰ Big data. noSQL модель данных [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://msuniversity.ru/d/6/1/10092> (дата обращения: 10.04.2021).

⁷¹ Big data. noSQL модель данных [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://msuniversity.ru/d/6/1/10092> (дата обращения: 10.04.2021).

сводных данных об энергосбережении, приведен в Приложении 5 и Приложении 6.

В большинстве платформ, занимающихся обработкой и хранением информации, анализ проводится по заранее написанному алгоритму, и в случаях не штатных ситуаций ведет к внутреннему конфликту программы. Учитывая данную особенность и необходимость в обеспечении системы алгоритмами отказоустойчивости, является целесообразным использование машинного обучения при помощи высокоуровневого языка программирования Python.

Подсистема анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования, как можно понять из ее названия, нацелена на проведение автоматизированного анализа различных типов риска (преимущественно технологических), оценку текущей и прогнозируемой отказоустойчивости систем и оборудования. Снимая информацию с установленных на предприятии приборов учета, сенсоров, датчиков и различных контроллеров, данная подсистема оценивает, насколько текущие режимы и показатели работы энергосистем предприятия и оборудования соответствуют эталонным или установленным руководством предприятия, фиксирует даже минимальные отклонения от нормативных значений и соотносит любые внеплановые изменения с заложенными в нее рисками (к примеру, снижение КПД, установленного для ИТП – с риском нарушения температурных режимов в цехах (особенно в холодное время года), риском нарушения из-за этого требуемых температурных режимов для выполнения тех или иных техпроцессов и т.д.). Как и остальные подсистемы, она передает в Интеллектуальную подсистему.

Интеллектуальная подсистема – основное интеллектуально-вычислительное ядро ИСЭ, центр киберфизической системы. В ее основе лежит согласованное сотрудничество специализированных экспертов из команды, управляющей ИСЭ, с системой искусственного интеллекта. Для этого на начальных этапах развития ИСЭ эксперты обучают ИИ на значительных по объемам наборах данных. С одной стороны, эти данные включают в себя информацию о его энергосистеме, инженерных сетях и оборудовании, динамике и структуре процессов

энергопотребления – иными словами, ИИ изучает само предприятие с позиции использования им различных видов энергии, строит, своего рода «энергетическую карту» предприятия, размечая отдельные цеха, сборочные линии, участки и т.д. вплоть до отдельных единиц энергопотребляющего оборудования. С другой стороны – эксперты команды обучают ИИ принципам, методам и технологиям энергосбережения. В том числе, они разрабатывают математические модели, описывающие процессы энергопотребления и энергосбережения на предприятии с учетом используемых ими технологий. На основе этих моделей и данных, получаемых от других подсистем, ИИ в режиме реального времени анализирует динамику энергопотребления и энергосбережения с точностью вплоть до отдельных точек учета. При отклонении данных показателей он сигнализирует об этом экспертам подсистемы. Кроме того, на основе механизмов обратной связи он регулирует деятельность и эффективность других четырех подсистем. К примеру, в случае Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР он анализирует текущую работоспособность приборов учета, максимально быстро выявляет неисправные приборы и сообщает об этом человеческому персоналу. Кроме того, на основе данных, получаемых от других подсистем, ИИ способен моделировать достаточно точные прогнозы дальнейшего повышения энергоэффективности предприятия и выдавать рекомендации как в части исправления локальных проблем в области энергосбережения, так и в части оптимизации общей стратегии повышения энергоэффективности предприятия.

Еще одной важной функцией Интеллектуальной подсистемы является построение в режиме реального времени Цифрового двойника (Digital Twin). Под цифровым двойником понимается – виртуальная интерактивная копия физического объекта и различных процессов внутри его ⁷².

Существует шесть основных категорий цифровых двойников:

⁷² Царев М. В. Цифровые двойники в промышленности история развития, классификация, технологии, сценарии использования / М. В. Царев, Ю. С. Андреев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. т. 7. С. 517 – 530.

- экземпляр цифрового двойника (Digital Twin Instance) – совокупность данных, описывающих производственный процесс. В трехмерную модель входят сведения о материалах и компонентах изделия, операционные данные, информация о рабочих процессах и т.д.;
- агрегированный двойник (Digital Twin Aggregate) – данная система способна объединять цифровых двойников и их реальные прототипы, тем самым позволяя собирать данные и обмениваться ими в реальном времени.
- прототип (Digital Twin Prototype) – виртуальный аналог физического объекта. Трехмерная модель включает информацию о всех энергетических процессах, протекающих на предприятии;
- двойник продукта (Digital Twin Product) – цифровой двойник разрабатываемый непосредственно перед пуском производственной линии продукта с целью определения его сильных и слабых сторон.
- двойник процесса (Digital Twin Process) – виртуальная имитация производственного процесса. С помощью проигрывания различных сценариев производственного процесса возможно определить пиковые нагрузки на линию и предотвратить дорогостоящие простои.
- двойник системы (Digital Twin System) – виртуальная модель объекта. Собирающая в себе большое количество операционных данных от различных подсистем объекта. Двойник показывает возможности по дальнейшей оптимизации процессов, протекающих внутри объекта ⁷³.

Проанализировав вышеописанные категории, можно сделать вывод, что в разрабатываемой киберфизической системе цифровой двойник выступает виртуальной энергетической моделью предприятия отражающий все энергетические процессы режиме реального времени с функциональной возможностью проигрывания различных энергетических сценариев.

⁷³ Царев М. В. Цифровые двойники в промышленности история развития, классификация, технологии, сценарии использования / М. В. Царев, Ю. С. Андреев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. т. 7. С. 517 – 530.

Цифровой двойник взаимодействует со всеми подсистемами киберфизической системы, получая от последних актуальную информацию посредством использования технологии Промышленного интернета вещей. На визуальной модели предприятия отображаются все показатели энергопотребления и энергоэффективности отдельных его цехов и подразделений в режиме реального времени. Непрерывный интерактивный анализ полученных данных при помощи цифровых технологий Больших данных позволяет повысить эффективность следующих управленческих функций:

- прогнозирование будущего состояния энергосистемы учитывая при этом износ ее элементов;
- получение достоверной, актуальной информации о текущем состоянии энергосистемы;
- возможность проведения различных испытаний с целью прохождения аттестации и т.д.

Таким образом, формирование цифрового двойника позволяет специалистам управляющей подсистемы отслеживать параметры энергосбережения и энергопотребления предприятия. Помимо функции мониторинга, цифровой двойник может использоваться также для тестирования различных сценариев по оптимизации и совершенствованию энергосистемы предприятия, что позволяет максимально точно прогнозировать и оценивать их перспективность с точки зрения повышения энергоэффективности.

Следует отметить, что создание цифрового двойника существенно упрощает контроль над отдельными показателями энергоэффективности как со стороны руководства ИСЭ, так и со стороны руководства всего предприятия. Важной задачей, при этом, выступает обеспечение цифровизации самих процессов анализа и оценки энергоэффективности предприятия на основе заранее установленных показателей.

Одной из важных составляющих метода формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии является оценка эффективности ее внедрения, проводимая

разработчиками системы с целью подтверждения ее соответствия определяемым ими плановым критериям эффективности. Данная составляющая, по мнению автора, в равной степени важна как для ЭСКО, инвестирующей в создание ИСЭ собственные или привлеченные средства, так и для предприятия, руководство которого вкладывает в ее построение временные и трудовые ресурсы и ожидает по итогам ее внедрения объективного прироста уровня его энергоэффективности. Методические основы оценки эффективности интегрированной системы энергосбережения раскрываются автором в следующем разделе диссертационного исследования.

Выводы по второй главе:

1. На основании проведенного анализа структуры энергетического хозяйства предприятия автором обоснована перспективность его использования в качестве платформы для формирования интегрированной системы энергосбережения, задачей которой является повышение экономической и технологической эффективности предприятия с возможностью реализации процессов мониторинга энергопотребления, разработки, планирования и оценки эффективности внедряемых энергосберегающих технологий.

2. Структурированы и рассмотрены основные задачи, стоящие при реализации интегрированной системы энергосбережения по ряду классификационных признаков: организационные, экономические и технологические задачи.

3. Сформирован комплекс подготовительных мероприятий при построении интегрированной системы энергосбережения включающий четыре этапа: энергетический аудит, энергомоделирование предприятия, проведение комплексной оценки готовности энергетических систем и инфраструктуры к цифровизации и формирование команды по внедрению ИСЭ.

4. Разработано структурное построение стратегии комплексного повышения энергоэффективности высокотехнологичного предприятия, состоящей из десяти блоков, каждый из которых содержит планы по реализации организационных и технических мероприятий, в совокупности формирующие системный подход к внедрению интегрированной системы энергосбережения.

5. Спроектирована архитектура интегрированной системы энергосбережения на основе технологий цифровой трансформации энергосбережения, способная органично интегрироваться в имеющуюся архитектуру предприятия.

6. Определены основные принципы и механизмы взаимодействия между отдельными компонентами архитектуры интегрированной системы энергосбережения.

7. Подробно рассмотрены основные цифровые технологии, аппаратные системы и программные продукты, применяемые при формировании ИСЭ и позволяющие обеспечить высокий уровень интеллектуальной автоматизации широкого спектра функций и задач, связанных с повышением энергетической эффективности высокотехнологичного промышленного предприятия.

Глава 3. Оценка эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии

3.1. Основные эффекты от реализации интегрированной системы энергосбережения и источники их образования

Формирование интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном предприятии требует значительных инвестиционных ресурсов для приобретения необходимого оборудования и технологий, а также для реализации организационных, проектировочных, инженерных и технологических мероприятий. Для привлечения необходимых при этом инвестиций, как было отмечено ранее, целесообразно использовать механизм энергетического сервиса, который реализуется энергосервисной компанией. Важной задачей при его использовании является проведение предварительной комплексной оценки экономической эффективности внедрения ИСЭ. Одним из первоочередных этапов ее решения выступает выявление и систематизация эффектов, возникающих вследствие реализации интегрированной системы энергосбережения и источников их образования.

Такой подход позволяет оценить воздействие системы на улучшение различных показателей эффективности предприятия и определить основные направления развития, способствующие системному росту этих показателей. Это позволяет специалистам в области энергосервисных компаний (ЭСКО) и руководству предприятия получить всестороннее и детальное представление о прогнозной динамике улучшения эффективности предприятия в рамках конкретных сценариев. Доминирующие технологии и подсистемы интегрированной системы энергосбережения могут быть выявлены и использованы для ранжирования технологических направлений развития системы с учетом достигаемых эффектов. Это позволяет систематизировать и использовать полученные данные для прогнозирования роста эффективности предприятия и определения приоритетных направлений развития системы.

В дополнение к перечисленным преимуществам, такой подход позволяет специалистам в области энергосервисных компаний провести расчеты и определить различные сценарии для внедрения наиболее оптимального набора первичных энергоэффективных технологий. Полученные расчеты и потенциальные показатели позволяют команде организаторов разработать поэтапный план полного внедрения интегрированной системы энергосбережения. Чтобы определить конечный результат, ожидаемый от реализации программы, необходимо понимать цели, которые руководство предприятия намерено достичь с помощью завершенной ИСЭ. В зависимости от особенностей деятельности предприятия и потребности в улучшении отдельных показателей, выбирается наиболее рациональный первичный набор энергоэффективных технологий и разрабатываются планы их внедрения.

В рамках проведенного исследования автором была разработана собственная классификация эффектов от внедрения ИСЭ на предприятии и связанных с ними источников их образования по трем основным типам эффектов: экономических, технологических и социальных (таблица. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация эффектов от внедрения интегрированной системы энергосбережения и источников их образования (источник: построено автором)

№ п/п	Тип эффекта	Эффект от внедрения ИСЭ	Источник образования эффекта
1.	Экономический эффект	Экономия от сокращения расходов на ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов	Системное повышение энергетической эффективности подразделений и цехов предприятия на основе ряда технологий, внедряемых в рамках создания

			интегрированной системы энергосбережения
2.	Технологические эффекты	Экономия от сокращения издержек и убытков, связанных с нарушениями со стороны компании-поставщика количественных и качественных параметров поставляемых ТЭР	Интеллектуальная автоматизация функций коммерческого учета энергоресурсов и анализа их количественных и качественных параметров на основе внедрения в рамках ИСЭ Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР и Подсистемы сбора и анализа Больших данных
		Экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с аварийными ситуациями, отказом оборудования, его неплановым простоем и дальнейшим ремонтом	Автоматизация мониторинга текущего технического состояния энергооборудования и энергосистемы предприятия благодаря внедрению Подсистемы анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования
		Экономия от сокращения расходов	Анализ всех энергетических

		<p>на сбор и анализ необходимых данных о функционировании энергосистем и оборудования предприятия</p>	<p>процессов и их параметров на основе их автоматической консолидации в структуре Цифрового двойника</p>
		<p>Экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с негативным влиянием на управление энергосистемами предприятия и качество вырабатываемых управленческих решений т.н. «человеческого фактора»</p>	<p>Повышение уровня технологической самоорганизации процессов энергоснабжения оборудования предприятия при помощи Интеллектуальной подсистемы</p>
<p>3.</p>	<p>Социальные эффекты</p>	<p>Экономия от сокращения затрат на оплату пособий, компенсаций, лечения и реабилитации работников предприятия, связанных с полученными ими травмами в результате аварийных ситуаций в</p>	<p>Использование возможностей дистанционного управления и настройки отдельного оборудования, реализуемых в рамках Подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления</p>

	энергосистеме, а также при обслуживании и наладке ее оборудования	
	Экономия от повышения производительности профильных сотрудников (энергетиков, инженерно-технического и обслуживающего персонала)	Автоматизация мониторинга и диагностики энергосистемы предприятия на основе применения Интеллектуальной подсистемы и Цифрового двойника

Рассмотрим более подробно основные элементы схемы, приведенной в таблице 3.1. В ее левой части автором отражены три упомянутые ранее типа эффектов: экономические, технологические и социальные. По каждому из указанных типов автором выделено определенное количество эффектов и источников. Под *эффектами* в данном случае *понимаются позитивные изменения, связанные с повышением эффективности деятельности предприятия по управлению энергопотреблением и энергосбережением, которые были достигнуты в результате формирования и использования ИСЭ и которые позволяют получать непосредственные ценные для предприятия эффекты.*

Под *источниками*, в свою очередь, *понимаются являющиеся элементами ИСЭ программные и аппаратные технологии, алгоритмы интеллектуальной автоматизации и иные компоненты, которые позволили усовершенствовать процессы и технологии управления энергопотреблением и энергосбережением предприятия и стали первоосновой формирования эффектов.*

Далее рассмотрим отдельные эффекты и источники их образования при достижении вышеописанных целей. **Экономическим эффектом** от реализации ИСЭ выступает *экономия от сокращения расходов за потребленные ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов*. Данный эффект является стратегически важным, поскольку, как известно, высокая энергоемкость производства на практике приводит к повышению себестоимости производимой продукции. Соответственно, системное повышение энергоэффективности способно не только повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции, но и направить высвобожденные финансовые ресурсы на развитие: разработку новых направлений производства, увеличение производственных линий, улучшение условий труда и т.д. Помимо модернизации производства, формируемый бюджет сэкономленных финансовых ресурсов может быть направлен на обновления и обслуживание ИСЭ.

Источником данного эффекта выступает *системное повышение энергетической эффективности подразделений и цехов предприятия на основе ряда технологий, внедряемых в рамках создания интегрированной системы энергосбережения*. Прежде всего, в рамках ИСЭ данный эффект образуется за счет реализации Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР и Подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления. Использование первой из перечисленных подсистем позволяет выявить наиболее энергоемкие объекты (цеха, производственные линии, участки и т.д.), оценив рациональность производимых ими энергозатрат и сопоставив затрачиваемое ими количество ТЭР с достигаемыми в результате функционирования экономическими результатами. К примеру, одна из ситуаций, связанных с нерациональным потреблением энергоресурсов может заключаться в наличии подключенного к сети электропитания и включенного оборудования, которое в данный момент никак не используется, создавая избыточную нагрузку на энергосистему предприятия. При выявлении подобных объектов на основе второй подсистемы

осуществляется оптимизация режимов энергопотребления, за счет которой снижается энергоемкость производственных процессов.

Второй составляющей рассматриваемого источника выступает использование ресурсов Интеллектуальной подсистемы, Подсистемы сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР и Цифрового двойника при планировании и прогнозировании деятельности по энергосбережению. За счет анализа данных, передаваемых из Подсистемы сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР, действующий в рамках Интеллектуальной подсистемы искусственный интеллект формирует Цифровой двойник. В рамках Цифрового двойника, в соответствии с целевыми установками профильных сотрудников ИСЭ, он осуществляет прогнозирование экономической эффективности внедрения различных энергосберегающих предприятий и технологий как на уровне отдельных цехов и подразделений, так и на уровне всего предприятия. На основе полученных результатов происходит генерация рекомендаций по внедрению конкретных мероприятий. Благодаря такому подходу обеспечивается интеллектуальная поддержка принятия решений по их выбору, способствующая сокращению в результате их внедрения расходов на ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов.

Важную роль в рамках функционирования ИСЭ играют **технологические эффекты**. Первым из входящих в данную категорию эффектов является *экономия от сокращения издержек и убытков, связанных с нарушениями со стороны компании-поставщика количественных и качественных параметров поставляемых ТЭР*. Данный эффект является одним из ключевых для предприятия, поскольку, зачастую, на этапе закупки ТЭР у поставщиков возникают риски, связанные с недопоставкой оплаченного объема топливно-энергетических ресурсов, а также поставкой ресурсов с низким уровнем качественных характеристик, что способно негативно повлиять на энергообеспечение оборудования и технологических систем предприятия.

Источником образования данного эффекта выступает *интеллектуальная автоматизация функций коммерческого учета энергоресурсов и анализа их количественных и качественных параметров на основе внедрения в рамках ИСЭ Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР и Подсистемы сбора и анализа Больших данных*. Отличительной особенностью данных подсистем от точечного внедрения технологий учета, является интеллектуальная автоматизация функций коммерческого учета энергоресурсов и анализа их количественных и качественных параметров на всех участках энергоцепи предприятия. Функционирование данных подсистем реализуется посредством программных алгоритмов, разрабатываемых в рамках ИСЭ. Инструменты и технологии Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР позволяют реализовать учет энергоресурсов с высокой точностью измерения таких параметров как:

1. Теплосеть:

- давление;
- объем;
- температура;
- жесткость теплоносителя.

2. Электросеть:

- объем;
- нагрузка.

В число преимуществ системного учета вышеописанных параметров входят:

- сбор данных в режиме реального времени;
- широкий спектр измерения показаний;
- высокая точность измерений;
- автоматическая передача данных в подсистемы входящие в ИСЭ.

Сбор данных в режиме реального времени позволяет сформировать точный план-график потребления энергии на всех участках предприятия, а широкий спектр измерений при снятии показаний позволяет определить качество

поставляемого и вырабатываемого энергоносителя. В случаях выхода из строя приборов измерения система учета и ИСЭ не останавливает свою работу, а продолжает функционировать.

Бесперебойность работы достигается за счет функции интеллектуальной автоматизации процессов ИСЭ, при котором обработка данных в Подсистеме сбора и анализа больших данных позволяет вычислить недостающий параметр основываясь на предыдущих показаниях и показаниях с других участков энергосистемы. В контексте сокращения издержек и убытков при закупке ТЭР подсистема создает отчет по количеству и качеству потребленных энергоресурсов за отчетный период, который сопоставляется с данными из счетов на оплату от энергосбытовой организации. При таком подходе потребитель (предприятие) оплачивает счет по фактически потребленным энергоресурсам, а не по среднему расчету, который опирается на объем помещений. Еще одним преимуществом данного подхода, является возможность проведения процедуры перерасчета потребленной энергии за последний год с момента ввода в эксплуатацию ИСЭ.

Вторым технологическим эффектом выступает *экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с аварийными ситуациями, отказом оборудования, его неплановым простоем и дальнейшим ремонтом.* Энергосистема предприятия – это технически сложная система, работа которой сопровождается пиковыми нагрузками оборудования, высокотемпературным режимами работы и т.д. Различного рода аварии и отказы компонентов энергосистемы предприятия – неотъемлемая часть процесса ее эксплуатации. Несвоевременная реакция на аварию в энергосистеме в лучшем случае приводит к временному отказу и неплановому простоем отдельного оборудования и, как следствие, к остановке производства, а, в худшем – к более серьезным последствиям: пожарам, сильным задымлениям в цехах, затоплениям помещений и т.д. Источником данного эффекта выступает *автоматизация мониторинга текущего технического состояния энергооборудования и энергосистемы предприятия благодаря внедрению Подсистемы анализа рисков*

и отказоустойчивости энергосистем и оборудования. Учитывая то, что аварии – это неотъемлемая часть при функционировании энергосистемы, в разрабатываемой ИСЭ предусмотрена Подсистема анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования. В рамках работы данной подсистемы, в числе прочих, используются следующие инструменты:

- предупреждение неисправностей компонентов энергосистемы;
- протоколы оперативного автоматического реагирования при уже произошедшей аварии или выходе из строя компонентов энергосистемы.

Первый инструмент реализуется посредством автоматизации мониторинга текущего технического состояния энергооборудования и энергосистемы предприятия. В энергосистеме выход из строя какого-либо компонента сопровождается автоматическим увеличением нагрузки на все узлы входящие в его энергоцепь. Такого рода неисправности несут незначительные финансовые затраты на момент фактического ремонта, но в контексте долгосрочной эксплуатации уменьшают работоспособность компонентов энергосистемы, что приводит к снижению показателей энергоэффективности и более частого технического обновления. Алгоритмы подсистемы позволяют вычислить изношенные компоненты энергосистемы, вскоре подлежащие обслуживанию или замене. При таком сценарии возможна минимизация финансовых потерь при выходе из строя компонентов энергосистемы предприятия.

При авариях, как было отмечено ранее, необходима моментальная реакция на их устранение. Оперативное управление при выходе из строя компонентов энергосистемы способно предотвратить большие финансовые потери. Реализуется за счет записанного в Подсистему анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования порядка действий при аварийных ситуациях. Функционал Подсистемы позволяет моментально передать информацию в управляющие Подсистемы ИСЭ с целью дальнейших действий по устранению аварии. Преимуществом такой последовательности

действий, является минимизация финансовых потерь и возможного ущерба окружающей среде».

Еще одним технологическим эффектом выступает *экономия от сокращения расходов на сбор и анализ необходимых данных о функционировании энергосистем и оборудования предприятия*. Данный эффект играет значимую роль в контексте обеспечения надежного и эффективного функционирования энергосистемы предприятия. На практике данные функции являются одними из наиболее трудоемких при управлении энергоэффективностью предприятия, поскольку требуют от ответственных за энергосбережение специалистов проведения регулярного снятия показаний со значительного числа точек учета энергии и энергоресурсов. Как было отмечено ранее, приборы измерения и датчики контроля должны устанавливаться на всех участках энергетической цепи с целью объективной оценки состояния энергосистемы предприятия. Кроме того, в работе энергетической системы предприятия задействованы различные энергетические ресурсы, измеряемые большим набором параметров. Еще одной сложной задачей выступает выявление по итогам сбора и анализа данных проблемных сегментов энергосистемы – ее участков и отдельного оборудования с уже имеющимися признаками технических сбоев и неисправности и с высоким уровнем износа. Несвоевременное выявление подобных проблемных сегментов несет в себе риски внезапного отказа отдельных участков и узлов энергосистемы, способного привести к авариям и остановке производства. Реализация ИСЭ предприятия позволяет успешно решать указанные выше задачи, автоматизируя сложные и масштабные задачи, для полной реализации которых потребуется привлечение значительного штата специалистов.

Источником образования эффекта выступает *анализ всех энергетических процессов и их параметров на основе их автоматической консолидации в структуре Цифрового двойника*. Технология построения Цифрового двойника базируется на предварительном сборе необходимых данных из различных подсистем ИСЭ предприятия с последующим их отражением в рамках единой виртуальной модели предприятия с возможностью анализа конкретных групп и

типов показателей по различным ключевым проекциям. Применение Цифрового двойника значительно упрощает процесс анализа различных технологических и энергетических показателей со стороны руководителей предприятия, позволяя им принимать более качественные и взвешенные решения по результатам данного анализа.

Формирование необходимой информационной базы для построения Цифрового двойника осуществляется Подсистемой сбора и машинного анализа больших данных о динамике потребления ТЭР. При этом проводится непрерывный сравнительный анализ фактических данных об объемах потребляемых ТЭР, динамике их потребления, текущих показателях энергоэффективности предприятия, с последующим их сопоставлением с целевыми установленными в рамках планов энергосбережения значениями и выявлением отклонений от эталонных величин.

Получаемые данные позволяют на созданной модели Цифрового двойника моделировать различные прогнозные сценарии, в том числе связанные с увеличением нагрузки на энергосистему и вероятностей ее перегрузки, выявляя, при этом, ее проблемные сегменты. В решении этой задачи задействуются также ресурсы Подсистемы анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования. Благодаря реализуемому программному алгоритму сопоставляются паспортные данные и показатели фактического износа компонентов системы. Данная подсистема позволяет вычислить фактический статус работоспособности оборудования.

Поступающие данные с первого уровня в Интеллектуальную подсистему автоматически консолидируются в структуре Цифрового двойника. Преимуществом такого подхода является централизация большого объема поступающей информации, что позволяет достичь сокращения времени на процедуру мониторинга текущих показателей энергоемкости и энергоэффективности и передачу управляющей команды управляющим Подсистемам.

Следующим технологическим эффектом выступает *экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с негативным влиянием на управление энергосистемами предприятия и качество вырабатываемых управленческих решений т.н. «человеческого фактора»*. Важность данного эффекта обусловлена тем, что сама энергосистема предприятия, как было отмечено выше, представляет собой сложную систему, анализ и управление которой требует анализа значительных объемов данных. В тех случаях, когда речь идет о необходимости принятия максимально оперативных решений в условиях временных ограничений, возникает риск принятия ошибочных решений со стороны человеческого персонала. К примеру, подобная необходимость может возникнуть в случае задач, связанных с перераспределением энергии для оперативной оптимизации производственных процессов.

Источником для образования данного эффекта выступает *повышение уровня технологической самоорганизации процессов энергоснабжения оборудования предприятия при помощи Интеллектуальной подсистемы*. Данный источник на основе развития механизмов межмашинного взаимодействия и позволяет повысить эффективное функционирование как технологической системы производственного оборудования, так и энергосистемы предприятия в целом. Интеллектуальная подсистема, являясь главным интеллектуально-вычислительным ядром ИСЭ, консолидирует в своей структуре все потоки данных, характеризующих состояние энергосистемы. Энергооборудование нового поколения предусматривает установку головного управляющего комплекса с функциями удаленного управления и передачи запроса на регулирующие воздействия. Для достижения большего эффекта, в ИСЭ предусмотрен инструмент позволяющий объединить энергосистему предприятия и производственное оборудование в общую управляемую структуру.

Следующей группой эффектов, образующихся при формировании ИСЭ выступают **социальные эффекты**. Данная группа эффектов отражает

положительное влияние системы на улучшение условий труда работников предприятия, минимизацию рисков травматизма различной степени, связанного с авариями в энергосистеме предприятия, а также на снижение трудоемкости и повышение производительности профильных сотрудников (энергетиков, инженерно-технического и обслуживающего персонала). Рассмотрим подробнее данные эффекты.

Первым из социальных эффектов выступает *экономия от сокращения затрат на оплату пособий, компенсаций, лечения и реабилитации работников предприятия, связанных с полученными ими травмами в результате аварийных ситуаций в энергосистеме, а также при обслуживании и наладке ее оборудования.* Непосредственная работа с различными типами энергооборудования, инженерно-техническое обслуживание электросетей, модернизация и ремонт их отдельных звеньев представляют собой мероприятия, связанные с повышенной опасностью для жизни и здоровья ответственных за их реализацию сотрудников. Как показывает практика, риски получения различных травм и повреждений порой не зависят от уровня опытности сотрудников, поскольку всегда остается влияние так называемого «человеческого фактора». В этой связи внедрение ИСЭ позволяет сохранить жизни и здоровье сотрудников, а также обеспечить общий высокий уровень безопасности и комфорта их труда.

С экономической точки зрения, минимизация травм и несчастных случаев позитивно отражается на показателях экономической эффективности предприятия, поскольку при этом значительно сокращаются расходы его бюджета на оплату больничных, компенсаций для пострадавших сотрудников и штрафы, налагаемые на само предприятие вследствие нарушений контроля за техникой безопасности. Кроме того, безопасность и комфорт работы на предприятии отражают высокий уровень его технологического развития и косвенным образом способствуют повышению его инвестиционной привлекательности.

В качестве источника данного эффекта выступает *использование возможностей дистанционного управления и настройки отдельного*

оборудования, реализуемых в рамках Подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления. Использование ее возможностей позволяет сотрудникам предприятия снизить количество необходимых физических операций с энергооборудованием, связанных, к примеру, с изменением режимов его работы. Кроме того, при использовании ресурсов данной подсистемы у них имеется возможность оценки риска аварийной ситуации и использование подключенных к ней автоматизированных исполнительных механизмов для удаленного отключения энергоснабжения отдельных участков энергосистемы без необходимости физического взаимодействия с оборудованием, способного стать причиной травмы или увечья. Наличие подобных возможностей существенным образом снижает риски для их здоровья и безопасности, а также повышает скорость исполнения отдельных операций по управлению энергосистемой в случае нештатных ситуаций.

Вторым социальным эффектом является *экономия от повышения производительности профильных сотрудников (энергетиков, инженерно-технического и обслуживающего персонала) за счет автоматизации рутинных и трудоемких функций, связанных с обслуживанием энергосистемы предприятия.* Важность данного эффекта обусловлена тем, что поддержание стабильного и бесперебойного функционирования энергосистемы предприятия является одним из основных условий функционирования его производственной системы. Любой серьезный сбой или авария, которые приводят к отключению подачи энергии в один из цехов, способны привести к остановке всего производства до момента полного устранения причин аварии и восстановления неисправного энергооборудования. Наиболее оптимальным сценарием минимизации подобных рисков выступает своевременная систематическая диагностика энергооборудования и коммуникаций, а также оценка их надежности и отказоустойчивости. На практике их проведение представляет собой достаточно трудоемкий и длительный по времени комплекс мероприятий, сложность которого зависит от величины самого предприятия и структурной

сложности его энергосистемы. Необходимость постоянного «ручного» обслуживания и проведения диагностических мероприятий в энергосистеме приводит к созданию дополнительной нагрузки на уже действующий штат профильных сотрудников, а также может потребовать увеличения их штатной численности только для решения подобных задач. Соответственно, автоматизация подобных трудоемких и рутинных функций способна, с одной стороны, высвободить временные ресурсы для уже действующих сотрудников с тем, чтобы они могли сфокусировать внимание непосредственно на задачах повышения энергетической эффективности предприятия, а, с другой – исключает необходимость дополнительных затрат на привлечение новых сотрудников для реализации подобных функций.

Источником рассматриваемого эффекта выступает *автоматизация мониторинга и диагностики энергосистемы предприятия на основе применения Интеллектуальной подсистемы и Цифрового двойника*. В основе данного источника лежит использование потенциала функционирующего в рамках Интеллектуальной подсистемы искусственного интеллекта. Консолидируя данные из остальных подсистемы ИСЭ, в том числе из Подсистемы сбора и анализа Больших данных, он способен обрабатывать информацию о десятках инженерно-технических показателей, характеризующих техническое состояние и уровень функциональной эффективности оборудования, входящего в состав энергосистемы предприятия. В наглядной форме эти данные отображаются в модели Цифрового двойника, на основе анализа которого профильные сотрудники имеют возможность оперативно выявлять участки энергосистемы и отдельное оборудование, показатели функционирования которого отклоняются от установленных пороговых значений. В случае выявления подобных ситуаций они имеют возможность целевым образом оперативно реагировать на те ситуации, когда выявленные отклонения приводят к повышению технических рисков для энергосистемы. Если в «ручном» режиме такие ситуации могли быть выявлены с определенной долей вероятности только при весьма трудоемкой полной диагностике всех участков энергосистемы, то использование ИСЭ

позволяет существенным образом сократить временные затраты профильных сотрудников и увеличить их производительность, вместе с тем повысив качество и точность самих диагностических процедур.

Сформированная выше классификация отражает влияние технологий и подходов, используемых в рамках ИСЭ, на образование ценных эффектов при достижении важных для предприятия экономических, технологических и социальных целей. Широкий спектр идентифицированных автором факторов и источников позволяет говорить о достаточно значимом положительном влиянии системы на его развитие. В то же время, проведение процедуры оценки эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения требует развития соответствующих методических подходов с учетом специфики самой ИСЭ и деятельности по энергосбережению в целом. Решению данной задачи посвящен следующий параграф диссертационного исследования.

3.2. Развитие методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии

Важным этапом развития методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения ИСЭ является уточнение методики оценки экономической эффективности внедрения такой системы для цели количественного учета сформулированных в предыдущем параграфе факторов и источников образования эффектов от реализации. Как было отмечено ранее, внедрение ИСЭ представляет собой достаточно сложный и затратный проект как для энергосервисной компании, так и для самого предприятия, в технологическую архитектуру которого вносятся существенные изменения.

Вместе с тем, краеугольным камнем для разработчиков самой системы становится вопрос о возможности достижения с учетом выбранного ими

комплекса энергосберегающих технологий, оборудования и мероприятий такого уровня эффективности, который позволит окупить вложенные в проект по внедрению системы инвестиционные ресурсы и получить значимый положительный экономический эффект. Для получения наиболее точных результатов оценки эффективности данного проекта требуется проработка соответствующего методического подхода, в котором выделяются и детализируются все как положительные результаты (в виде приращения денежных потоков или экономии в ходе деятельности, прежде всего, операционной), так и затраты, возникающие на каждом этапе развития и функционирования самой системы.

Учитывая, что ИСЭ является, прежде всего, инфраструктурным решением, то, как правило, приращения денежных потоков такая система не будет создавать или же их величина будет незначительна. Поэтому основным источником эффекта для ИСЭ будет экономия (которая и обеспечит прирост денежного потока от операционной деятельности при условии контроля над затратами).

Второй момент, который следует отразить, заключается в том, что для ИСЭ невозможно сформировать некое множество миниэффектов по модели «доходы минус расходы» или «экономия минус соответствующие затраты», суммирование которых и дало бы комплексную оценку. Дело в том, что при создании ИСЭ как комплексного проекта, пронизывающего всю деятельность предприятия, невозможно точно сопоставить полученную экономию от отдельных факторов и понесенные затраты для получения конкретного вида экономии. Иначе говоря, невозможно однозначно определить а) за счет каких именно затрат получена экономия, б) как отдельно понесенные затраты повлияли на конкретный результат или же одновременно обеспечили возникновение нескольких результатов энергосбережения. Поэтому в предлагаемом нами подходе мы стремимся установить экономию за счет приращения энергосбережения как непосредственный результат энергосбережения, так и как результат роста энергоэффективности. Отметим, что, например, установка энергоэффективного оборудования (как капитальные

затраты) не всегда предприятиям в целом может быть сопоставлена с соответствующими результатами (например, установка высокотехнологичного оборудования при его низкой загрузке может принести существенно большие издержки, чем эксплуатация при той загрузке менее энергоэффективного оборудования). Данный взгляд приводит нас к решению, что детализация экономий (всех видов) и затрат должна вестись отдельно, с дальнейшим учетом либо в расчетной формуле, либо в построенной финансовой модели. Указанный подход показывает, что для данного решения более эффективно использование соответствующей финансовой модели, позволяющей установить влияние каждого из факторов.

Благодаря такому подходу, руководство предприятия и эксперты ЭСКО получают в свое распоряжение максимально точный инструмент для оценки эффективности различных конфигураций самой системы и моделирования различных сценариев ее внедрения.

Еще одним важным фактором является тот факт, что в настоящее время внедрение ИСЭ на базе цифровых технологий представляет собой достаточно новое направление в сфере технологического развития предприятий. Соответственно, успешная реализация таких проектов требует от разработчиков уделения особого внимания детальному анализу и оценке всех составляющих, входящих в целевые показатели оценки эффективности подобных систем еще на предпроектной стадии для того, чтобы изначально определить максимально эффективный набор технологий и мероприятий с приемлемым сроком окупаемости.

Кроме того, детальная проработка методических подходов к оценке эффективности создания ИСЭ является крайне важной еще и ввиду высокой стоимости ее реализации, что объясняется необходимостью вложения значительных объемов инвестиционных ресурсов в модернизацию и замену устаревшего производственного оборудования с низким уровнем энергоэффективности. Данный этап является необходимым условием формирования ИСЭ, поскольку, в большинстве случаев, одной из главных

причин высокой энергоемкости производства выступает именно использование подобного оборудования. В то же время, приобретение даже одного станка с ЧПУ или обрабатывающего центра может потребовать затрат в десятки миллионов рублей. Соответственно, перед вложением столь значимых инвестиций разработчикам необходимо точно оценить эффективность и целесообразность внедрения системы.

Рассматриваемая система формируется на пересечении таких научных направлений как экономика, организация производства, исследование систем управления, инноватика, энергосбережение, автоматизация и цифровая трансформация предприятий и ряда других направлений. Соответственно, учитывая междисциплинарный характер подобных систем, важным условием оценки их эффективности выступает выявление причинно-следственных связей между влиянием на показатели ее эффективности факторов, возникающих как в экономической, так и в технологической и технической средах. По мнению автора, только такой подход способен раскрыть подлинную роль и вклад в повышение экономической эффективности тех цифровых технологий, оборудования и подсистем, которые лежат в основе формируемой интегрированной системы энергосбережения.

В рамках решения данной задачи автором в состав получаемых эффектов, имеющих экономическую оценку автором, выделяются следующие:

- экономический эффект;
- технологический эффект;
- социальный эффект.

Как уже отмечено выше, первоначально рассчитываем часть формирования таких эффектов, определяя только экономию в предположении, что в дальнейшем она обеспечит прирост денежного потока при условии осуществления прибыльной деятельности предприятием. Детализация затрат также осуществляется отдельно, предполагая комплексно сведение результатов в единой формуле или модели. Поэтому далее мы рассматриваем экономию как фактор образования того или иного эффекта.

Рассмотрим более подробно структуру и содержание приведенных выше эффектов в части формируемых экономий. В первую очередь, следует проанализировать экономический результат как экономию ($\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i}$), в основе которого лежит сокращение издержек на закупку ТЭР и их потребление в производственных процессах благодаря повышению энергоэффективности и снижению энергоемкости процессов предприятия в результате внедрению ИСЭ. Формула для расчета данного вида экономии приводится ниже:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i} = \mathcal{E}_{\text{ЭН}i} + \mathcal{E}_{\text{СЭБ}i}, \quad (3.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ЭН}i}$ – экономия от сокращения расходов на ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов благодаря внедрению ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{СЭБ}i}$ – экономия от снижения себестоимости производимой продукции благодаря внедрению ИСЭ в i -ом году, неучтенная в первом показателе, прежде всего учитывающая косвенные и сопутствующие экономии, в том числе возникающими за счет особенностей формирования калькуляции на предприятии.

Одним из ключевых показателей, рассматриваемых в рамках экономического результата, выступает экономия от сокращения издержек на закупку ТЭР, величина которого рассчитывается по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭН}i} = \mathcal{E}_{\text{ЭЭЛН}i} + \mathcal{E}_{\text{Т}i} + \mathcal{E}_{\text{ТЭН}i} + \mathcal{E}_{\text{Г}i}, \quad (3.2)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ЭЭЛН}i}$ – экономия от сокращения затрат промышленного предприятия на закупку электроэнергии в результате внедрения ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{Т}i}$ – экономия от сокращения затрат промышленного предприятия на закупку различных типов топливно-энергетических ресурсов, включая котельно-печное и моторное топливо благодаря внедрению ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{ТЭН}i}$ – экономия от сокращения затрат промышленного предприятия на

закупку тепловой энергии в результате внедрения ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{Гi}$ – экономия от сокращения затрат промышленного предприятия на закупку газа благодаря внедрению ИСЭ в i -ом году.

Следующим комплексным результатом, образующимся в результате внедрения на предприятии ИСЭ, выступает технологический эффект, (измеренный в денежной оценке) и отражающий те экономические результаты, которые являются следствием совершенствования технологических подсистем и процессов. Формула, раскрывающая основные компоненты (в части экономии) данного эффекта ($\mathcal{E}_{ТЭФi}$), приводится ниже:

$$\mathcal{E}_{ТЭФi} = \mathcal{E}_{КПТЭРi} + \mathcal{E}_{СЭPi} + \mathcal{E}_{ПРОi} + \mathcal{E}_{СБДи} + \mathcal{E}_{УРi}, \quad (3.3)$$

где $\mathcal{E}_{КПТЭРi}$ – экономия от сокращения издержек и убытков, связанных с нарушениями со стороны компании-поставщика количественных и качественных параметров поставляемых ТЭР в i -ом году;

$\mathcal{E}_{СЭPi}$ – экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с аварийными ситуациями, отказом оборудования и его дальнейшим ремонтом в i -ом году;

$\mathcal{E}_{ПРОi}$ – экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с неплановым простоем производственного оборудования в i -ом году;

$\mathcal{E}_{ПНЭi}$ – экономия от сокращения расходов на сбор и анализ необходимых данных о функционировании энергосистем и оборудования предприятия в i -ом году;

$\mathcal{E}_{УРi}$ – экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с негативным влиянием на управление энергосистемами предприятия и качество вырабатываемых управленческих решений т.н. «человеческого фактора» в i -ом году.

Далее следует рассмотреть сущность и структуру социального эффекта от внедрения ИСЭ. Ранее в диссертационном исследовании автором неоднократно подчеркивалось, что создание данной системы влияет не только на

экономическую и технологическую эффективность предприятия, но и на комфорт, качество и безопасность работающего на нем персонала. Расчет экономии ($\mathcal{E}_{\text{соц}i}$) как основы социального эффекта осуществляется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{соц}i} = \mathcal{E}_{\text{вур}i} + \mathcal{E}_{\text{сур}i} + \mathcal{E}_{\text{учз}i} + \mathcal{E}_{\text{фвз}i} + \mathcal{E}_{\text{ппр}i}, \quad (3.4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{вур}i}$ – экономия от сокращения затрат на оплату специалистам предприятия пособий по временной нетрудоспособности в результате получения ими травм при авариях в его энергетической системе в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{сур}i}$ – экономия от сокращения расходов на выплату компенсаций в случае получения специалистами предприятия серьезных травм в результате аварий в энергосистеме предприятия, которые повлекли за собой стойкую утрату трудоспособности, выплачиваемых в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{учз}i}$ – экономия от сокращения затрат на проведение лечения и реабилитации для специалистов предприятия в сотрудничающих с ним учреждениях здравоохранения по программам добровольного медицинского страхования в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{фвз}i}$ – экономия от сокращения затрат на оплату лечения и реабилитации специалистам, получившим травмы различной тяжести, из средств фонда взаимопомощи предприятия в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{ппр}i}$ – экономия от повышения производительности профильных сотрудников (энергетиков, инженерно-технического и обслуживающего персонала) за счет автоматизации рутинных и трудоемких функций, связанных с обслуживанием энергосистемы предприятия в i -ом году.

Следует отметить, что данный список видов экономии не является исчерпывающим, и при практическом внедрении может быть уточнен на каждом конкретном предприятии, но тем не менее он охватывает принципиально важные направления образования экономий, служащих основанием для расчета экономического эффекта.

Далее необходимо раскрыть более детально сущность и содержание затрат. В первую очередь, следует проанализировать состав затрат, вкладываемых в реализацию подготовительных мероприятий, предшествующих внедрению ИСЭ. Автором данная категория затрат выделена в качестве отдельной, поскольку подготовительные мероприятия осуществляются до начала создания самой интегрированной системы энергосбережения предприятия и отражают обособленный во времени и пространстве участок проекта по ее реализации. Формула для расчета затрат на подготовительные мероприятия приводится ниже (3.5):

$$Z_{\text{ПМ}i} = Z_{\text{РАСЧ}i} + Z_{\text{ОБ}i} + Z_{\text{ЭНМ}i} + Z_{\text{ОЭФ}i} + Z_{\text{АУД}i} + Z_{\text{ОГЦ}i} + Z_{\text{ТЭО}i}, \quad (3.5)$$

где $Z_{\text{РАСЧ}i}$ – затраты на программного обеспечения для проведения энергоаудита в i -ом году;

$Z_{\text{ОБ}i}$ – затраты на закупку специализированного оборудования для проведения энергоаудита на предприятии перед внедрением ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ЭНМ}i}$ – затраты на программного обеспечения для проведения энергомоделирования и разработки комплексной виртуальной модели предприятия в i -ом году;

$Z_{\text{ОЭФ}i}$ – затраты на приобретение специализированного программного обеспечения для оценки энергетической эффективности предприятия в i -ом году;

$Z_{\text{АУД}i}$ – затраты на организацию и проведение энергетического аудита предприятия в i -ом году;

$Z_{\text{ОГЦ}i}$ – затраты на проведение оценки готовности энергетических систем и инфраструктуры предприятия к проведению их цифровой трансформации в i -ом году;

$Z_{\text{ТЭО}i}$ – затраты на разработку технико-экономического обоснования в i -ом году.

Одной из наиболее значимых статей расходов при формировании ИСЭ

выступают капитальные затраты. Они включают в себя наиболее существенные расходы, вкладываемые в рамках подготовки необходимой программно-аппаратной базы для дальнейшего построения и развертывания ИСЭ, в том числе различные мероприятия по строительству новых объектов инфраструктуры, модернизации существующего и закупке нового оборудования и коммуникаций, приобретение специализированного программного обеспечения и т.д. Формула, раскрывающая состав капитальных затрат, приводится далее (3.6):

$$Z_{\text{КАП}i} = Z_{\text{ПР}i} + Z_{\text{МПО}i} + Z_{\text{ОИНФ}i} + Z_{\text{ЭНОБ}i} + Z_{\text{АВТ}i} + Z_{\text{МИК}i} + Z_{\text{ПО}}, \quad (3.6)$$

где $Z_{\text{ПР}i}$ – затраты на разработку структурной модели ИСЭ, учитывающей масштаб, техническую и отраслевую специфику предприятия в i -ом году;

$Z_{\text{МПО}i}$ – затраты на модернизацию энергоемкого оборудования предприятия в i -ом году;

$Z_{\text{ОИНФ}i}$ – затраты на постройку инфраструктурных объектов, требуемых для реализации ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ЭНОБ}i}$ – затраты на закупку и установку энергосберегающего оборудования, входящего в структуру ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{АВТ}i}$ – затраты на закупку и установку оборудования для автоматизации энергосбережения в рамках создания ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{МИК}i}$ – затраты на модернизацию инженерных коммуникаций предприятия, обладающих высоким уровнем технического износа в i -ом году;

$Z_{\text{ПО}i}$ – затраты на приобретение и внедрение ПО для технологических подсистем ИСЭ в i -ом году.

Далее следует рассмотреть состав эксплуатационных затрат, которые осуществляются в рамках непосредственного функционирования ИСЭ. Они отражают те расходы, которые осуществляются для реализации ее основных функций, поддержания ее работоспособности, а также оплаты труда сотрудников, работающих в ее структуре (3.7):

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{ЭКСПЛ}i} = & Z_{\text{ТЭР}i} + Z_{\text{ПБС}i} + Z_{\text{ТОЭН}i} + Z_{\text{ТОЦБ}i} + Z_{\text{АЭН}i} + Z_{\text{АЦБ}i} + Z_{\text{ЗПР}i} + \\
 & Z_{\text{ЗПИТР}i} + Z_{\text{ЗППРОГ}i} + Z_{\text{ЗПОБП}i} + Z_{\text{ЗПЭСКО}i} + Z_{\text{НАЛ}i} + Z_{\text{ПНР}i},
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

где $Z_{\text{ТЭР}i}$ – затраты на оплату ТЭР, требуемых для обеспечения функционирования ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ПБС}i}$ – затраты на оплату услуг сотрудничающих с предприятием провайдеров, отвечающих за создание и поддержку инфраструктуры для обмена данными между подсистемами ИСЭ на основе технологий проводной и беспроводной связи в i -ом году;

$Z_{\text{ТОЭН}i}$ – затраты на оплату мероприятий по обслуживанию и ремонту входящего в состав ИСЭ энергосберегающего оборудования в i -ом году;

$Z_{\text{ТОЦБ}i}$ – затраты на оплату мероприятий по обслуживанию и ремонту функционирующего в рамках цифровой инфраструктуры ИСЭ оборудования в i -ом году;

$Z_{\text{АЭН}i}$ – затраты на амортизацию действующего в составе ИСЭ энергосберегающего оборудования в i -ом году;

$Z_{\text{АЦБ}i}$ – затраты на амортизацию действующего в рамках цифровой инфраструктуры ИСЭ автоматизированного оборудования в i -ом году;

$Z_{\text{ЗПР}i}$ – затраты на выплату заработной платы руководящему составу ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ЗПИТР}i}$ – затраты на выплату заработной платы персоналу, внедряющему и эксплуатирующему оборудование, входящее в состав ИСЭ, в i -ом году;

$Z_{\text{ЗППРОГ}i}$ – затраты на выплату заработной платы программистам, обеспечивающим внедрение и поддержку ПО, используемого в рамках ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ЗПОБП}i}$ – затраты на выплату заработной платы вспомогательному персоналу, работающему в рамках ИСЭ в i -ом году;

$Z_{\text{ЗПЭСКО}i}$ – затраты на выплату заработной платы сотрудникам ЭСКО, принимающим непосредственное участие в работе по построению и дальнейшей

поддержке ИСЭ в i -ом году;

$Z_{НАЛi}$ – затраты на выплату обязательных налоговых платежей в i -ом году;

$Z_{ПНРi}$ – затраты на выплату прочих накладных расходов, возникающих при функционировании ИСЭ в i -ом году.

В качестве отдельной категории затрат автором выделяются затраты на обучение различных категорий персонала основам работы с подсистемами и технологиями ИСЭ, а также основам энергоэффективного рабочего поведения. Данное направление, на наш взгляд, обладает высокой степенью важности в рамках обеспечения самой ИСЭ высококвалифицированным персоналом, способным решать сложные интеллектуальные и междисциплинарные задачи инженерно-экономического профиля. Хотя сама система оснащается широким спектром цифровых технологий интеллектуальной автоматизации, тем не менее, для ее бесперебойной работы и обслуживания предприятие должно обладать соответствующими специалистами. Рассматриваемая категория включает в себя следующие виды затрат:

$$Z_{ОБi} = Z_{ОРУКi} + Z_{ОЛРi} + Z_{ОРСi} + Z_{ОПСi} + Z_{ЦПКi} + Z_{ПКВи}, \quad (3.8)$$

где $Z_{ОРУКi}$ – затраты на обучение необходимым компетенциям высшего руководства ИСЭ в i -ом году;

$Z_{ОЛРi}$ – затраты на обучение линейных руководителей, управляющих отдельными подсистемами ИСЭ в i -ом году;

$Z_{ОРСi}$ – затраты на обучение рядовых сотрудников ИСЭ различного профиля (экономисты, инженеры, программисты, обслуживающий персонал и т.д.) в i -ом году;

$Z_{ОПСi}$ – затраты на обучение основам энергоэффективного поведения на рабочих местах различных категорий сотрудников предприятия, не относящихся к штату специалистов ИСЭ, в i -ом году;

$Z_{ЦПКi}$ – затраты на оплату программ целевой подготовки, реализуемых сотрудничающими с предприятием ВУЗами, для подготовки специалистов для

ИСЭ, обладающих узкоспециализированными компетенциями в i -ом году;

$Z_{ПКВi}$ – затраты на оплату программ повышения квалификации действующих сотрудников ИСЭ различного профиля в i -ом году.

Очевидно, что первоначально при практическом применении указанных выше подходов необходимо оценить сам факт возникновения того или иного эффекта (или в виде приращения денежного потока или в виде экономии) и тех или иных затрат. Для ряда предприятий отдельные показатели могут оказаться несущественными и могут быть обоснованно исключены из представленных расчетных формул.

Предложенный подход не противоречит общепринятой методике оценки эффективности и представленные выше элементы формирования эффектов от внедрения ИСЭ вполне могут использоваться как самостоятельные оценки, что позволит на основе детализации учесть влияние отдельных факторов или свойств проектируемой системы, так и сформировать интегрированную оценку путем использования принятой на предприятия методики оценки эффективности (или финансовой модели). В настоящее время наиболее распространена идея использования дисконтирования денежного потока, которая реализуется, в том числе, и путем расчета показателя NPV. Использование данного показателя для оценки эффективности проектов в сфере энергосбережения представляет собой широко распространенный в российской и зарубежной научных сферах подход. Из числа представителей зарубежных научных школ использование NPV для оценки эффективности энергосберегающих проектов осуществляют авторитетный представитель немецкой научной школы в области повышения энергоэффективности Р. Мадленер, а также другие зарубежные ученые, в число которых входят П. Тейлор, Ю. Лаи, С. Пападополус, А. Доду, Л. Густавссон, Ж.

Чен, Ф. Ванг, Е. Малати, С. Башер и др.^{74,75,76,77,78,79,80} Среди российских ученых его применение для решения данной задачи рекомендуют представители авторитетной научной школы в области энергосбережения, из ФГБОУ ВО «НИУ «Московский энергетический институт»^{81,82}.

В качестве критерия оценки эффективности проекта по формированию ИСЭ автором показана возможность выбора в качестве критерия максимума чистого дисконтированного дохода ($NPV \rightarrow \max$).

Формула, позволяющая рассчитать основной критерий предлагаемой методики, приведена ниже:

$$NPV_{ИСЭ} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta ЭЭФ_i + \Delta ТЭФ_i + \Delta СЭФ_i}{(1+r)^i} - \sum_{t=1}^n \frac{\Delta ПМ_i + \Delta КАП_i + \Delta ЭКСПЛ_i + \Delta ОБ_i}{(1+r)^i}, \quad (3.9)$$

⁷⁴ Kumbaroğlu G., Madlener R. (2012) Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings. *Energy and Buildings*. Volume 49. Pp. 327-334.

⁷⁵ Taylor P. (1988) Superiority of NPV over NPV/K, and other criteria in the financial appraisal of projects: the case of energy conservation. *International Journal of Project Management*. Volume 6. Issue 4. Pp. 223-225.

⁷⁶ Lai Y., Papadopoulos S., Fuerst F., Pivo G., Sagi J., Kontokosta C. (2022) Building retrofit hurdle rates and risk aversion in energy efficiency investments. *Applied Energy*. Volume 306. Part B. 118048.

⁷⁷ Dodoo A., Gustavsson L., Tettey U. (2019) Cost-optimized energy-efficient building envelope measures for a multi-storey residential building in a cold climate. *Energy Procedia* 158. Pp. 3760–3767.

⁷⁸ Chen Z., Wang F. Feng Q. (2016) Cost-benefit evaluation for building intelligent systems with special consideration on intangible benefits and energy consumption *Energy and Buildings*. Volume 128. Pp. 484–490.

⁷⁹ Malatji E.M., Zhang J., Xia X. (2013) A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision. *Energy and Buildings*. Volume 61. Pp. 81–87.

⁸⁰ He Q., Hossain U., Thomas S., Skitmore M., Augenbroe G. (2021) A cost-effective building retrofit decision-making model e Example of China's temperate and mixed climate zones. *Journal of Cleaner Production*. Volume 280. 124370.

⁸¹ Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт. 2016. 58 с. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://depjke.admhmao.ru/upload/iblock/c9c/metodicheskie-rekomendatsii-po-raschetu-effektov-ot-realiz-meropriyat-v-oblasti-energoberezheniya.pdf> (дата обращения: 19.07.2022).

⁸² Гужов С.В. Комплексная методика расчёта эффектов энергосервисного контракта для образовательных бюджетных учреждений / С.В. Гужов // Вестник энергоэффективности Минобрнауки России. 2014. № 4. С. 49-57.

где n – общее количество временных периодов функционирования интегрированной системы энергосбережения;

i – один временной период функционирования ИСЭ;

$\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i}$ – экономия, образующая экономический эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{ТЭФ}i}$ – экономия, образующая технологический эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{E}_{\text{СЭФ}i}$ – экономия, образующая социальный эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{Z}_{\text{ПМ}i}$ – затраты на осуществление комплекса подготовительных мероприятий, предшествующих построению ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{Z}_{\text{КАП}i}$ – капитальные затраты на подготовку предприятия к внедрению ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{Z}_{\text{ЭКСПЛ}i}$ – эксплуатационные затраты, возникающие при функционировании ИСЭ в i -ом году;

$\mathcal{Z}_{\text{ОБ}i}$ – затраты на обучение персонала, взаимодействующего с ИСЭ, основам работы с ее оборудованием и принципам энергоэффективного рабочего поведения в i -ом году;

r – ставка дисконтирования, рассчитываемая на основе экспертных оценок.

Важно отметить, что внедрение ИСЭ не только повышает уровень его доходов на некоем локальном временном интервале, но и открывает перед ним значительную перспективу по дальнейшему развитию всей его производственной структуры. Финансовые ресурсы, высвобождаемые за счет достигаемой экономии ТЭР и повышения эффективности его деятельности, могут быть инвестированы руководством предприятия в реализацию мероприятий по его дальнейшей цифровой трансформации, расширению и совершенствованию его цифровой инфраструктуры, внедрению более новых технологий интеллектуальной автоматизации производства. Таким образом, энергосбережение в данном контексте позволяет сформировать механизм для получения предприятием дополнительной ресурсной поддержки мероприятий

по его непрерывному технологическому развитию.

При разработке представленных выше подходов, автор постарался учесть максимальное число различных видов экономий и затрат, возникающих при формировании ИСЭ, включая узкоспециализированные категории, связанные с технологической спецификой энергосбережения и цифровой трансформации. Данная методика обладает высокой степенью универсальности и может применяться при формировании подобных систем в различных отраслях промышленности. В то же время, автор не претендует на исключительную полноту раскрытия всех потенциально возможных результатов и затрат, поскольку каждая такая система представляет собой уникальный программно-технологический комплекс, требующий индивидуального подхода и набора технологий для его построения.

В Приложении 7 автором представлены результаты оценки эффективности проекта по формированию интегрированной системы энергосбережения, подтверждающие эффективность проекта.

Еще одной важной составляющей метода формирования ИСЭ на высокотехнологичном промышленном предприятии является разработка алгоритма управления энергоэффективностью, обеспечивающего логически выверенную сквозную интеграцию и взаимоувязку реализуемых при этом процедур и мероприятий в рамках ряда последовательно реализуемых этапов. Разработке данного алгоритма посвящен следующий раздел диссертационного исследования.

3.3. Алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии с применением механизма энергетического сервиса

Управление энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии, осуществляемое посредством формирования интегрированной системы энергосбережения, представляет собой многоэтапный процесс. Применение при его реализации механизма энергетического сервиса позволяет обеспечить ряд преимуществ. Одно из важных преимуществ заключается в том, что специалисты энергосервисной компании обладают опытом и наличием специализированных энергоэффективных компетенций, способствующих достижению высоких результатов в области организации управления энергоэффективностью с использованием в этом процессе широкого комплекса энергосберегающих технологий и мероприятий. Еще одним преимуществом для предприятия является рассмотренный ранее используемый в рамках механизма энергетического сервиса подход к финансовому обеспечению внедрения ИСЭ, в соответствии с которым ЭСКО обеспечивает полное финансирование за счет собственных и/или привлеченных средств. При этом, в соответствии с условиями стандартного энергосервисного контракта, возврат вложенных ЭСКО финансовых ресурсов осуществляется исключительно из объема средств, сэкономленных благодаря функционирующей на предприятии интегрированной системе энергосбережения. А это, в свою очередь, определяет реальные и измеримые результаты повышения энергоэффективности самого предприятия в качестве краеугольного условия возврата средств. Соответственно, предприятие выплачивает финансовые средства исключительно из объема реально достигнутой экономии.

Для успешной организации управления энергоэффективностью разработчикам необходимо систематизировать все этапы построения ИСЭ на основе единого алгоритма, учитывающего как организационно-экономические,

так и технологические и технические мероприятия. Обладая межсистемным характером, он взаимоувязывает в своей структуре отдельные стадии ее построения, последовательность их реализации, а также инструменты для предварительной оценки эффективности ИСЭ с учетом экономических приоритетов предприятия.

На основе проведенного исследования автором был разработан универсальный алгоритм формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном предприятии, графическая схема которого представлена ниже на рис. 3.1.





Рис. 3.1. Алгоритм управления энергоэффективностью предприятия на основе формирования интегрированной системы энергосбережения (источник: построено автором)

На схеме на рисунке 3.1 автором представлен алгоритм формирования интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном предприятии, включающий в себя все этапы по ее построению начиная от заключения контракта между предприятием и ЭСКО и заканчивая запуском ИСЭ в эксплуатацию. Рассмотрим более подробно сущность и содержание каждого из представленных этапов.

Этап 1. На первом этапе руководством предприятия заключается контракт с энергосервисной компанией, которая привлекается в качестве ключевого технологического партнера в рамках реализации проекта по формированию ИСЭ. Федеральным законом № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» регламентируется минимальный набор типовых условий контракта:

- условие по срокам, срок реализация энергосервисного контракта должен быть не менее срока по достижению рассчитанных и зафиксированных объемов экономии энергоресурсов;
- условие для исполнителя контракта своевременное осуществление энергосберегающих мероприятий и обеспечение достижения плановых показателей экономии по каждому из заявленных видов энергетических ресурсов;
- условие по величине экономии энергоресурсов, которую должна обеспечить ЭСКО по результатам реализации контракта и т.д.⁸³

Федеральным законом так же регламентируется содержание энергосервисного контракта:

- исполнитель энергосервисного договора обязан исполнять и придерживаться согласованным режимам и условиям по использованию энергетических ресурсов объекта. Прописывается уровень освещенности, температурный режим и различные характеристики относящиеся к

⁸³ Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009. № 261 - ФЗ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://duma.consultant.ru> (дата обращения: 20.07.2021).

требованиям содержания строений, зданий, сооружений и соответствующие нормам в области организации труда;

- условие об обязанности исполнителя энергосервисного договора вести учет потребляемых энергоресурсов посредством монтажа и пуско-наладочных работ приборов учета;
- условие по фактическому определению цены в энергосервисном контракте исходя из стоимости сэкономленных энергетических ресурсов и достигнутых результатов экономии энергетических ресурсов посредством реализации мероприятий энергосервисного контракта ⁸⁴.

Важным фактором при выборе ЭСКО выступает наличие у компании реального опыта по внедрению цифровых энергосберегающих технологий и построению крупных систем энергосбережения в промышленности. Подобный опыт является определенной гарантией наличия у нее технологических возможностей и специалистов с необходимыми компетенциями, способных на системном уровне осуществить крупный проект по цифровизации энергосбережения на предприятии.

Кроме того, преимуществом при выборе ЭСКО является наличие у такой компании прямых связей с производителями и поставщиками высокотехнологичного энергосберегающего оборудования. За счет этого, с одной стороны, компания имеет доступ к полноценной сервисной поддержке приобретаемого оборудования со стороны производителя, а также к внутренним скидкам и программам дополнительного обслуживания.

Непосредственному заключению контракта предшествуют переговоры между руководителями предприятия и ЭСКО, в рамках которых обсуждаются основные форматы сотрудничества, степень участия специалистов энергосервисной компании в проекте по формированию ИСЭ, а также финансовые условия сотрудничества. По итогам переговоров стороны

⁸⁴ Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009. № 261 - ФЗ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://duma.consultant.ru> (дата обращения: 20.07.2021).

определяют механизм и расчетные инструменты для реализации схемы инвестирования ЭСКО в проект по созданию системы, временные сроки реализации ИСЭ и прочие аспекты совместного сотрудничества.

Этап 2. В рамках второго этапа совместными усилиями руководства и ответственных за энергосбережение сотрудников предприятия, а также экспертов энергосервисной компании осуществляется разработка и утверждение цели и задач формирования ИСЭ. При реализации этого этапа учитываются отраслевая и техническая специфика предприятия, его стратегические приоритеты, доступные для реализации проекта по созданию системы инвестиционные ресурсы и другие факторы.

Этап 3. На третьем этапе специалистами энергосервисной компании в сотрудничестве с сотрудниками предприятия реализуется комплекс подготовительных мероприятий. В число этих мероприятий входит, в первую очередь, комплексный энергетический аудит. Он предполагает выполнение последовательности процедур, нацеленных на анализ различных технологических и энергетических подсистем предприятия. На начальном этапе осуществляется сбор информации о предприятии, на основе которого формируются исходные предпосылки для его дальнейшего обследования.

По его завершении реализуются процедура анализа отчетной документации за прошедшие периоды и актуальных документов, отражающих текущий уровень энергопотребления систем теплоснабжения и выработки тепловой энергии, водоснабжения и электроснабжения. Далее специалисты визуально и технически анализируют динамику теплоснабжения и выработки тепловой энергии, проверяют ревизионные люки на предмет утечки и при необходимости проводят гидравлические тесты. После этого команда специалистов анализирует систему водоснабжения. По завершении этого мероприятия специалисты с допуском к работе с электроэнергией не ниже 4 разряда анализируют систему электроснабжения, производя расчеты количества потребляющей энергию оборудования и его характеристик, а также, с помощью специализированного оборудования, выявляются узлы напряжения в системе. В качестве отдельной

процедуры осуществляется оценка энергоэффективности производственных мощностей предприятия с тем, чтобы определить текущий уровень энергоемкости и энергоэффективности оборудования предприятия. На основе полученных данных специалистами ЭСКО разрабатываются рекомендации по повышению его энергетической эффективности.

Еще одним важным подготовительным мероприятием является проведение процедуры энергомоделирования предприятия. На основе создаваемой энергомодели руководство предприятия и специалисты ЭСКО способны в наглядном визуальном формате проанализировать динамику текущих энергетических потоков, отдельные параметры и показатели функционирования энергооборудования и другие важные факторы, влияющие на уровень его энергоэффективности. Вслед за этим проводится технологический аудит энергетических систем и энергооборудования предприятиях, в ходе которого специалисты энергосервисной компании детально обследуют их при помощи установленного набора специализированного оборудования. На основе реализации всех перечисленных мероприятий разрабатывается технико-экономическое обоснование проекта создаваемой ИСЭ.

Этап 4. Четвертый этап включает в себя разработку системы планов по внедрению ИСЭ, на основе которой формируется стратегия комплексного повышения энергоэффективности предприятия. В структуре этой стратегии фиксируются отдельные мероприятия по формированию интегрированной системы энергосбережения. В частности, разработчиками стратегии осуществляется формализация и детализация таких этапов построения системы как энергоэффективная модернизация оборудования предприятия, повышение энергоэффективности его инженерно-технических и энергетических систем, развертыванию и дальнейшему развитию систем и технологий цифровизации энергоснабжения и энергосбережения и др. Со своей стороны специалисты ЭСКО разрабатывают план-график по организации и проведению регулярных технических обследований предприятия. За объектом закрепляется команда из технологов и аналитиков, в задачи которых входит проведение комплексного

энергоаудита не реже одного раза в квартал и экспресс энергоаудита не реже одного раза в месяц. Формирование стратегии позволяет разработчикам систематизировать не только планы создания и дальнейшего развития ИСЭ, но также взаимоувязать отдельные мероприятия с конкретными временными сроками их исполнения, а также требующимися для этого инвестиционными ресурсами.

Этап 5. На пятом этапе осуществляется разработка механизма оценки эффективности проекта по системы. Важным условием выступает его разработка до начала внедрения ИСЭ, поскольку ее формирование связано с необходимостью вложения существенных объемов инвестиционных ресурсов. Это, в свою очередь, требует обязательного проведения процедуры предварительной оценки эффективности проекта по ее формированию. Одним из требований к такому механизму является использование динамического подхода к оценке эффективности инвестиций, вкладываемых в проект с тем, чтобы у разработчиков была возможность оценить эффективность ИСЭ на протяжении неограниченного ряда лет ее функционирования. Кроме того, входящая в состав такого механизм методика оценки эффективности должна обладать максимальным уровнем детализации как положительных экономических эффектов от создания системы, так и затрат, требуемых на ее реализацию. Благодаря такому подходу, у организаторов появляется возможность выявить эффекты и затраты, наиболее значимо влияющие на экономическую эффективность ИСЭ.

Этап 6. В рамках шестого этапа проводится проектирование организационной структуры ИСЭ, а также составление перечня требуемого для ее создания оборудования, технологий и ПО. В рамках данного этапа разработчиками проводится разработка архитектуры ИСЭ, определение функциональных связей между ее подсистемами, проектирование механизма взаимодействия и информационного обмена между управляющей подсистемой (Единый центр управления) и управляемыми подсистемами. Также

определяются конкретные функции каждой из подсистем ИСЭ в структуре общей киберфизической подсистемы.

Важной задачей на данном этапе выступает выбор конкретных пакетов программного обеспечения и аппаратного оборудования, который проводится с учетом отраслевой и технической специфики и масштаба предприятия, стоящих перед ним задач и приоритетов по управлению энергоэффективностью. Выбор оптимальных решений должен базироваться на предварительно проведенном анализе предложений, имеющихся на данный момент времени на рынке ПО, энергосберегающего оборудования. В рамках разработки архитектуры ИСЭ определяются требования к формированию ее кадрового обеспечения, численности штата сотрудников, их профессиональному профилю и уровню подготовки, а также сопоставление долей уже имеющихся специалистов в штате предприятия и ЭСКО, и тех сотрудников, которых необходимо привлекать из внешней среды.

По завершении процесса проектирования организационной структуры ИСЭ и выбора необходимых для ее построения программного обеспечения и оборудования организаторами системы проводится оценка экономической эффективности проекта по ее реализации. Основной методической базой, при этом, является методика оценки эффективности из состава механизма, разработанного в рамках пятого этапа. Как было отмечено выше, данная процедура является обязательной и должна предварять само формирование ИСЭ до начала вложения инвестиций в ее создание, чтобы избежать неэффективного использования ресурсов.

Основным объективным выводом, следующим из полученных по итогам оценки эффективности результатов, выступает определение того, соответствует ли организационная структура ИСЭ установленным значениям показателей эффективности. В случае получения положительных результатов по итогам реализации этой процедуры, разработчики приступают к последующим этапам формирования системы. Если же результаты оценки эффективности проекта отрицательные и при создании системы в текущей конфигурации

прогнозируется ее убыточность, то разработчики возвращаются к шестому этапу алгоритма и корректируют ранее созданную конфигурацию, выявляя неэффективные, излишне дорогостоящие или избыточные звенья в структуре ИСЭ и заменяя их более подходящими по экономическим и техническим параметрам аналогами.

Этап 7. На седьмом этапе проводится строительство необходимых объектов инфраструктуры, требуемых для реализации комплексов функций, связанных с деятельностью ИСЭ. Прежде всего, речь идет об объектах, обеспечивающих функционирование цифровой инфраструктуры и технические условия для реализации энергосберегающих мероприятий. В число объектов, связанных с поддержкой функционирования цифровой инфраструктуры, входят Центр обработки данных, центр диспетчерского контроля и управления, объекты для размещения сетевого оборудования, требуемого для реализации Промышленного интернета вещей. Для создания необходимой инфраструктуры в рамках деятельности ИСЭ по энергосбережению создаются такие объекты как энергетические блоки и кластеры для хранения тепловой и электрической энергии, необходимые энергетические коммуникации для последующего развертывания и взаимоувязки энергоэффективного оборудования.

Этап 8. По завершении строительства необходимых объектов инфраструктуры организаторами осуществляется закупка специализированного энергосберегающего и производственного оборудования, технологий и программного обеспечения, типы, марки и модели которых определяются на шестом этапе данного алгоритма. Как было отмечено выше, существенным преимуществом при реализации восьмого этапа выступает наличие у ЭСКО прямых коммуникаций с производителями и авторизованными поставщиками оборудования и ПО. Это позволяет обеспечивать постоянное сервисное обслуживание и оперативный ремонт оборудования в тех случаях, когда подобный ремонт не может быть осуществлен силами предприятия и энергосервисной компании.

Этап 9. На девятом этапе организаторами осуществляется реализация мероприятий по модернизации энергетических и инженерных коммуникаций предприятия, энергооборудования. Основой для их проведения служат данные, полученные по результатам проведения комплекса подготовительных мероприятий (этап 3 алгоритма). В первую очередь, специалистами ЭСКО совместно со службами Главного энергетика и Главного инженера проводится модернизация энергетических и инженерных сетей с устранением и заменой изношенных звеньев, оборудования и коммуникаций, выявленных в рамках проведенного на третьем этапе энергетического и технологического аудита. При наличии необходимости, модернизируются также ограждающие конструкции корпусов и зданий предприятия, проводятся мероприятия по восстановлению их тепло- и гидроизоляции.

Этап 10. В рамках следующего этапа осуществляется комплекс мероприятий по модернизации и замене энергоемкого производственного оборудования предприятия, оснастке и наладке нового оборудования. Данный этап реализуется силами инженерных служб предприятия с привлечением сотрудников, работающих в цехах, в которых должно модернизироваться и устанавливаться оборудование. Важным фактором при его реализации является проведение этих мероприятий с минимальным влиянием на текущее производство и минимизация простоев работающего оборудования. Кроме того, минимизироваться должны и масштабы изменений в общей конфигурации производства в цехах предприятия с тем, чтобы по итогам внедрения новой техники не возникла необходимость существенных изменений в уже отлаженной структуре самих производственных процессов.

Этап 11. На одиннадцатом этапе осуществляется реализация обучающих программ по работе в рамках ИСЭ для руководителей и сотрудников различного уровня. Данный этап реализуется совместными силами опытных специалистов ЭСКО и привлекаемых в рамках проведения таких программ сотрудников ведущих технических вузов. Учитывая комплексный характер такой задачи, для ее решения организаторами ИСЭ формируется общая система обучения,

включающая в себя отдельные учебные программы для руководителей и сотрудников предприятия различного уровня: высшего руководства интегрированной системы энергосбережения, линейных руководителей, управляющих отдельными подсистемами ИСЭ, рядовых сотрудников ИСЭ различного профиля, а также различных категорий сотрудников предприятия, не относящихся к штату специалистов ИСЭ.

В зависимости от статуса, различаются и преподаваемые участникам программ компетенции. К примеру, обучение высшего руководства ИСЭ предполагает усвоение ими знаний об управлении сложными технологическими системами, цифровых энергоэффективных технологиях и оборудовании, методах и инструментов оценки энергоэффективности и управления экономическими процессами в автоматизированных системах и т.д. В свою очередь, обучение линейных руководителей должно включать в себя большой уровень погружения в технологическую специфику тех подсистем ИСЭ, руководство которыми они осуществляют. К примеру, в случае, если такой руководитель осуществляет управление Подсистемой автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР, то он должен обладать глубокими знаниями в области метрологии, энергетики, принципах и технологиях учета энергоресурсов, автоматизации процессов энергоучета, контроля работоспособности оборудования на различных уровнях подсистемы и др. При этом, целевые усваиваемые компетенции рядовых сотрудников ИСЭ, непосредственно осуществляющих взаимодействие и обслуживание оборудования, коммуникаций системы, поддержание ее работоспособности, состоят, преимущественно из инженерно-технических компетенций, соответствующих типу и специфике того оборудования, с которым они осуществляют непосредственное взаимодействие.

Этап 12. На данном этапе разработчиками осуществляется организация Единого центра управления (ЕЦУ) ИСЭ. При решении этой задачи реализуется комплекс практических мероприятий, включая следующие:

- подготовка и ввод в действие должностных инструкций, регламентов и методических документов, формализующих деятельность каждой из категорий сотрудников ЕЦУ;
- техническая подготовка выделенных для организации ЕЦУ помещений;
- монтаж, установка и наладка необходимой для работы специалистов вычислительной техники: компьютеров, серверов, различной оргтехники, сенсорных интерактивных столов, проекционных экранов и иных устройств для визуализации данных и т.д.;
- установка, настройка и тестирование программного обеспечения для выполнения различных функций управления системой;
- подключение вычислительного оборудования ЕЦУ к сетям проводной и беспроводной связи с последующей настройкой сетевых протоколов, установкой программного обеспечения для защиты данных;
- проведение первичного обучения и инструктажа сотрудников ЕЦУ;
- проведение занятий с работой над решением виртуальных задач и выработки навыков управления ИСЭ в различных сценариях.

Этап 13. В рамках тринадцатого этапа проводится построение киберфизической подсистемы, объединяющей в себе все организационно-технические структуры управляемой подсистемы ИСЭ. На этом этапе организаторы осуществляют развертывание цифровой инфраструктуры для каждой из функциональных подсистем ИСЭ, включая установку необходимого для их функционирования программного обеспечения, его взаимоувязку с аппаратным оборудованием путем интеграции в его структуру вычислительных ресурсов для обеспечения интеллектуальной автоматизации. В числе других мероприятий, при этом, осуществляется развертывание программно-аппаратной инфраструктуры Промышленного интернета вещей. При реализации этого этапа осуществляется выполнение следующих мероприятий:

- формирование Подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР;

- построение Подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления;
- формирование Подсистемы сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР;
- внедрение Подсистемы анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования;
- формирование Интеллектуальной подсистемы;
- внедрение программного обеспечения для построения модели Цифрового двойника.

Этап 14. На данном этапе осуществляется организация взаимодействия между сформированными подсистемами в рамках киберфизической подсистемы с внедрением необходимых программных и аппаратных механизмов. Одним из основных аппаратных механизмов решения этой задачи является интеграция в рамках Промышленного интернета вещей. Еще один реализуемый разработками аппаратный механизм организации их взаимодействия – подключение всех подсистем к Центру обработки данных, который становится точкой пересечения для всех информационных потоков, вырабатываемых всеми подсистемами ИСЭ с дальнейшим перенаправлением этих потоков между подсистемами в соответствии с конкретными сценариями их взаимодействия.

На программном уровне, при этом, выступает организация общего информационного пространства, обеспечивающего непрерывный автоматический обмен данными между подсистемами ИСЭ, а также создание в их структуре необходимой программной среды для интеграции в них алгоритмов искусственного интеллекта. Последний аспект позволяет решить задачу целостной интеллектуальной автоматизации всей системы и расширить влияние контролирующих, управляющих и регулирующих функций Интеллектуальной подсистемы на всю ИСЭ. При этом, хотя Интеллектуальная подсистема и выступает в качестве основного интеллектуально-вычислительного ядра всей системы, распространение составляющих ее основу алгоритмов ИИ в другие

подсистемы позволяет избежать информационной изоляции этого ядра от остальных подсистем и процессов ИСЭ.

Этап 15. В рамках пятнадцатого этапа алгоритма осуществляется организация информационного взаимодействия между киберфизической подсистемой и Единым центром управления. С точки зрения системного подхода цель данного этапа состоит в формировании прямой и обратной связи между ЕЦУ (управляющей подсистемой) и отдельными подсистемами ИСЭ (управляемыми подсистемами). Как и на предыдущем этапе, подобная информационная интеграция осуществляется посредством развернутых ранее инфраструктуры Промышленного интернета вещей и Центра обработки данных, а также на основе создания программных интерфейсов и шлюзов для обеспечения их прямого оперативного взаимодействия в рамках непосредственного управления энергоэффективностью и энергоснабжением предприятия. Особое внимание разработчиками должно уделяться формированию прямой и обратной связи между ЕЦУ и Интеллектуальной подсистемой, поскольку именно последняя, во многом, выступает консолидатором информационных потоков в рамках управляемой подсистемы ИСЭ, выполняя их анализ и обработку на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

Этап 16. На данном этапе разработчики ИСЭ проводят интеграцию киберфизической подсистемы с Аппаратной подсистемой предприятия. Реализация этого этапа предполагает программно-аппаратную взаимоувязку прикладного программного обеспечения подсистем, входящих в киберфизическую подсистему, вычислительных ресурсов с различными типами энергетического и производственного оборудования предприятия. Для этого, в числе прочих мероприятий, в оборудование интегрируются соответствующие его типу и технологическим параметрам контроллеры, датчики и сенсоры, а также исполнительные механизмы, подключаемые к Промышленному интернету вещей. Благодаря их установке, между программной средой ИСЭ и оборудованием предприятия формируются устойчивые коммуникации,

обеспечивающие как передачу отчетной информации о его функционировании, так и получение управляющей информации и регулирующих воздействий от Единого центра управления в рамках механизма обратной связи.

Важной задачей в данном контексте является установка на энергосберегающем оборудовании, действующим в рамках технологической экосистемы ИСЭ, человеко-машинных интерфейсов для обеспечения прямого участия человеческого персонала в процессах анализа, управления, контроля и регулирования текущих режимов и динамики работы подобного оборудования. В частности, содействие на оперативном уровне функционирования оборудования, входящего в состав отдельных подсистем ИСЭ со стороны опытных сотрудников, позволяет преодолевать сложные и нестандартные проблемы, решение которых находится за пределами возможностей искусственного интеллекта. Оперативный доступ к человеко-машинному интерфейсу (консоли, панели управления и др.) позволяет специалисту максимально быстро оценить текущее состояние оборудования с учетом имеющегося у него опыта и выявить нарушения в его работе, в том числе ставшие следствием так называемого «человеческого фактора». В числе таких нарушений можно назвать сбои, систематически возникающие из-за неквалифицированного управления им и технического обслуживания со стороны рабочих предприятия, намеренного несанкционированного вмешательства в его работу, нанесения внутренних повреждений его компонентов и узлов и т.д.

Этап 17. На данном этапе проводится настройка, отладка и тестирование оборудования и программного обеспечения ИСЭ для определения ее готовности к бесперебойному функционированию и текущего уровня отказоустойчивости. В первую очередь, разработчики осуществляют настройку предварительно установленного программного обеспечения не только в границах отдельных пакетов ПО и программных сред, но также в рамках их взаимодействия в одной или нескольких подсистемах ИСЭ. Все программное обеспечение настраивается в соответствии с изначально определенными техническими задачами, стоящими перед ИСЭ, спецификой ее аппаратного оборудования, отраслевой спецификой

самого предприятия, внешними условиями его функционирования (к примеру, климатические условия, существенно влияющие на расход тепловой энергии для отопления зданий и цехов) и иными параметрами. Отдельное внимание уделяется настройке взаимодействия между алгоритмами искусственного интеллекта, действующими в рамках Интеллектуальной подсистемы, с остальными подсистемами ИСЭ. В рамках проведения отладки осуществляется выявление багов, нестабильно работающих под высокой нагрузкой программ, брешей в области кибербезопасности, а также проблем совместимости между отдельными пакетами.

Параллельно с этим проводится настройка аппаратного оборудования системы, в рамках которой разработчиками определяются оптимальные режимы его работы, настраиваются механизмы межмашинного взаимодействия в составе киберфизической подсистемы, осуществляется тестирование и отладка различных типов сквозных процессов, связанных с выполнением отдельных функций по управлению энергоснабжением и энергосбережением. Выявляются «узкие места», возникающие вследствие рисков перегрузки отдельных аппаратных звеньев ИСЭ.

Этап 18. Заключительным этапом алгоритма выступает запуск интегрированной системы энергосбережения в эксплуатацию. По завершении необходимых подготовительных процедур по настройке, отладке и тестированию отдельных элементов и подсистем ИСЭ руководством предприятия совместно с руководителями ЭСКО и управляющим составом системы анализируется полученная по итогам данных процедур сводная отчетная информация о степени соответствия результатов целевым параметрам технологической эффективности, функциональности и отказоустойчивости системы. Во многом, в основе этого соответствия лежит качество, эффективность и полнота реализации предыдущих этапов алгоритма, каждый из которых влияет на надежность и стабильность самой системы.

Выше автором был рассмотрен алгоритм формирования интегрированной системы энергосбережения. В своей структуре он отражает взаимосвязанную

последовательность мероприятий, конечной целью которых выступает построение целостной системы на основе внедрения цифровых и аппаратных технологий энергосбережения, специализированного оборудования и обеспечивающей их взаимодействие цифровой инфраструктуры. Важным условием ее долгосрочной эффективности выступает создание ИСЭ как открытой системы, которая может быть гибко адаптирована к изменяющимся задачам и условиям функционирования предприятия.

Как показывает практика, в последнее десятилетие наблюдается значительное ускорение научно-технического прогресса, в результате чего возникновение новых технологий организации и управления производством происходит гораздо быстрее. Это определяет необходимость постоянного технологического развития высокотехнологичных предприятий как элементов национальной инновационной системы. Данное развитие подразумевает своевременное внедрение прогрессивных технологий для решения различных стратегических для предприятия задач, в том числе – технологий управления энергосбережением.

Как было отмечено в предыдущих разделах диссертации, энергосбережение в последние десятилетия стало одним из важнейших драйверов повышения конкурентоспособности предприятия, а его значимость возросла в условиях ограниченности доступных инвестиционных ресурсов. Энергосбережение стало универсальным механизмом повышения его эффективности за счет сокращения непроизводительных затрат на ТЭР, рационализации и модернизации его энергетической системы, а также внедрения энергоэффективных технологий. В данном контексте создание ИСЭ представляет собой тот системный подход к управлению энергетической эффективностью, который, объединяя в своей основе уже известные технологии энергосбережения, кардинально меняет сами подходы к их практическому применению за счет использования потенциала Индустрии 4.0. Цифровизация энергосбережения, по мнению автора, представляет собой следующий этап управления энергоэффективностью, открывающий качественно новые возможности для дальнейшего развития

подобных систем как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне кластеров, крупных технологических платформ и экосистем.

Выводы по третьей главе:

1. В рамках проведенного исследования автором были идентифицированы и систематизированы основные эффекты эффектов от внедрения ИСЭ, а также соответствующие им источники, представляющие собой отдельные элементы, алгоритмы, программные и аппаратные технологии ИСЭ.

2. Получаемый на основе внедрения ИСЭ экономический эффект заключается в сокращении расходов за потребленные ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов.

3. Образующиеся вследствие внедрения интегрированной системы энергосбережения технологические эффекты включают в себя экономию за счет сокращения издержек и убытков, связанных с нарушениями со стороны компании-поставщика ТЭР, сокращения экономических потерь и убытков, связанных с аварийными ситуациями, отказом оборудования, его неплановым простоем и дальнейшим ремонтом, сокращения расходов на сбор и анализ необходимых данных о функционировании энергосистем и оборудования предприятия, и от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с негативным влиянием на управление энергосистемами предприятия и качество вырабатываемых управленческих решений т.н. «человеческого фактора».

4. Получаемые при внедрении ИСЭ социальные эффекты включают в себя экономию от сокращения затрат на оплату пособий, компенсаций, лечения и реабилитации работников предприятия, связанных с полученными ими травмами в результате аварийных ситуаций в энергосистеме, а также при обслуживании и наладке ее оборудования и экономию от повышения

производительности профильных сотрудников за счет автоматизации рутинных и трудоемких функций, связанных с обслуживанием энергосистемы предприятия.

5. В рамках развития методических подходов к оценке экономической эффективности проекта по формированию ИСЭ в качестве критерия оценки эффективности предложен критерий максимума чистого дисконтированного дохода, в формуле которого учтены указанные выше эффекты.

6. Использование системного подхода к управлению энергоэффективностью высокотехнологичного промышленного предприятия посредством формирования ИСЭ обусловило разработку соответствующего алгоритма, включающего в себя 18 этапов и направленного на интеграцию и взаимоувязку отдельных этапов ее внедрения.

7. Особое внимание при разработке алгоритма управления энергоэффективностью уделено рассмотрению практических аспектов использования в этом процессе механизма энергетического сервиса.

Заключение

Повышение энергетической эффективности представляет собой один из важных путей развития российских высокотехнологичных промышленных предприятий. Высокий уровень их избыточной энергоемкости и низкая энергоэффективность в настоящее время являются теми проблемами, которые приводят к снижению конкурентоспособности отечественной продукции, непроизводительному росту расходов предприятия на оплату ТЭР. Необходимость достижения значимого и устойчивого прироста энергетической эффективности обусловила актуальность разработки автором метода формирования интегрированной системы энергосбережения, ориентированной на решение широкого спектра задач в сфере энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии и базирующейся на прогрессивных цифровых технологиях.

Формирование данной системы позволяет обеспечить интеллектуальную автоматизацию таких направлений энергосбережения как коммерческий и технологический учет ТЭР, диспетчерский контроль и управление, анализ рисков и отказоустойчивости энергосистем, сбор и машинный анализ Больших данных о динамике энергопотребления. Кроме того, наличие в ее архитектуре Интеллектуальной подсистемы позволяет задействовать при решении прикладных задач потенциал искусственного интеллекта и обеспечить возможность формирования цифрового двойника энергосистемы предприятия, отражающего процессы энергопотребления в режиме реального времени. В рамках диссертационного исследования автором был последовательно рассмотрен спектр уже существующих технологий и комплексных решений, который может быть использован при проектировании архитектуры ИСЭ. Благодаря этому была обоснована практическая реализуемость системы и возможность ее создания уже на данном этапе развития современных цифровых технологий.

Внедрение интегрированной системы энергосбережения в энергосистему

предприятия предполагает необходимость вложения в подобный проект существенных объемов инвестиционных ресурсов. С учетом этого фактора, автором разработан подход к внедрению данной системы, основанный на применении механизма энергетического сервиса, в рамках которого все расходы на ее внедрение несет специализированная энергосервисная компания. Благодаря такому подходу проект по внедрению ИСЭ становится доступным для любого высокотехнологичного промышленного предприятия независимо от объемов финансовых средств, которые его руководство потенциально может вложить в мероприятия по повышению энергоэффективности. Кроме того, привлечение к ее внедрению ЭСКО позволяет привлечь к этой работе опытных профессионалов из сферы энергосбережения, обладающих специализированными энергоэффективными компетенциями, что также является преимуществом использования энергосервиса.

В рамках третьей главы автором были рассмотрены вопросы, связанные с оценкой эффективности внедрения ИСЭ. В частности, на основе проведенного диссертационного исследования были идентифицированы взаимосвязанные эффекты от ее реализации и источники их образования. Кроме того, особое внимание было уделено развитию методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии. В заключительной части исследования автором предлагается сформированный им алгоритм управления энергоэффективностью высокотехнологичного промышленного предприятия, базирующийся на внедрении интегрированной системы энергосбережения.

В заключение следует отметить, что формирование интегрированных систем энергосбережения на высокотехнологичных предприятиях, по мнению автора, представляет собой одно из наиболее перспективных в настоящее время направлений системного энергосбережения в промышленной сфере, позволяя активно использовать потенциал цифровых технологий Индустрии 4.0 и обеспечивая значимый прирост экономической и технологической эффективности самих предприятий.

Список литературы:

1. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009. № 261 - ФЗ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://duma.consultant.ru> (дата обращения: 20.07.2021).
2. Государственная программа энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. №2446-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://base.garant.ru/58049418/> (дата обращения: 19.05.2022).
3. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 18.06.2020).
4. ГОСТ-Р 53905-2010 «Энергосбережение. Термины и определения». Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.11.2010 № 350-ст 2018 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200083323?ysclid=l4er4lk4w786926405> (дата обращения: 19.04.2022).
5. Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Национальный исследовательский университет Московский

- энергетический институт. 2016. 58 с. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://depjkkе.admhmao.ru/upload/iblock/c9c/metodicheskie-rekomendatsii-po-raschetu-effektov-ot-realiz-meropriyat-v-oblasti-energoberezheniya.pdf> (дата обращения: 19.07.2022).
6. Авдеева В.Н., Молчанов А.Г. К вопросу об энергосбережении и повышении энергоэффективности предприятий // Сборник статей по материалам Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Современная наука: от теории к практике». М.: Академия социального управления. 2017. С. 199-202.
 7. Акбердина В.В. Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики // Известия Уральского государственного экономического университета. 2018. Т. 19. № 3. С. 82-99.
 8. Анализ рынка промышленных IoT-платформ (IIoT-платформ) в мире и перспектив их развития в России / J'son & Partners Consulting. 2018 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/analiz-rynka-promyshlennyh-iiot-platform-v-mire-i-perspektivy-v-rossii-platformy-promyshlennogo-interneta-veschey-iiot-20181012053850 (дата обращения: 19.04.2021).
 9. Артемьев, В. С. Решение проблем снижения энергоемкости Российской экономики / В. С. Артемьев, В. А. Алексеев, А. А. Васильев // Символ науки: международный научный журнал. – 2015. – № 10-1. – С. 11-14.
 10. Астафьев В.Е. Экономика электрического производства / В.Е. Астафьев. - М.: «Высшая школа», 2009. 126 с.
 11. Бабкин А.В., Ташенова Л.В., Елисеев Е.В. Цифровой потенциал системообразующего инновационно-активного промышленного кластера:

- понятие, сущность, оценка // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 12 (182). С. 1324-1334.
12. Башмаков И. А. Повышение энергоэффективности - главный энергетический ресурс / И. А. Башмаков [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/Study.ppt> (дата обращения: 12.06.2020).
 13. Башмаков И. А. Что происходит с энергоемкостью ВВП России? С. 5 [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_28.pdf (дата обращения: 14.02.2020).
 14. Безруких П.П. Проблемный переход на новый уровень: позиции науки, законодателей и руководителей государства и ведомств пока не совпадают [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vce34.ru/press-center/103>.
 15. Бобылев С.Н. Энергоэффективность и устойчивое развитие / С.Н. Бобылев, А.А. Аверченков, С.В. Соловьева, П.А. Кирюшин— М.: Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2010. - 148 с.
 16. Бодрунов С. Д. 30 лет новой России: ретроспектива, проблемы, развитие / С. Д. Бодрунов // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2021. – Т. 231. – № 5. – С. 34-55.
 17. Бодрунов С. Д. Инновации и технологии как базовый ресурс прорывного развития / С. Д. Бодрунов // Урал - драйвер неоиндустриального и инновационного развития России: Материалы II Уральского экономического форума, в 2 т., Екатеринбург, 21–22 октября 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. – С. 7-22.

18. Бодрунов С. Д. Новое индустриальное будущее для глобального мира / С. Д. Бодрунов // Экономическое возрождение России. – 2022. – № 2(72). – С. 5-23.
19. Бодрунов С. Д. Технологические предпосылки перехода к новому этапу индустриального производства / С. Д. Бодрунов // Ноономика: Монография. – Москва-Санкт-Петербург-Лондон: Культурная революция, 2018. – С. 66-93.
20. Борисов В.В. Модель комплексного управления рисками при обеспечении ресурсо- и энергосбережения процессов на примере сложных теплотехнологических систем / В.В. Борисов, М.И. Дли, В.И. Бобков // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2019. № 5. С. 101-109.
21. Бушуев В.В. Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» / В.В. Бушуев // Энергетическая политика. 2014. № 1. С. 3-22.
22. Вартанян А.А. Информационный менеджмент и цифровая трансформация в высокотехнологических отраслях экономики / А.А. А.А. Вартанян // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 1. С. 50-53.
23. Веретенникова О.Б. Экономическое обоснование инновационной деятельности многопрофильных больниц / О. Б. Веретенникова, В. И. Майданик, Ф. И. Бадаев [и др.] // Экономика здравоохранения. – 2008. – № 7. – С. 20-23.
24. Волостнов Б.И. Энергосберегающие технологии и проблемы их реализации (зарубежный опыт) / Б.И. Волостнов, В.В. Поляков, В.И. Косарев. // Журнал «Информационные ресурсы России». 2010. № 2. С. 7.

25. Гагарин В.Г. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий / В. Г. Гагарин, П. П. Пастушков // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 7-9.
26. Гилева Т.А. Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления / Гилева Т.А. // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2019. № 1 (27). С. 38-52.
27. Глазьев С.Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах [Текст]: монография / М.: Книжный мир, 2018. – 768 с.
28. Голов Р. С. Подготовка энергоменеджеров для управления электрическими сетями / Р.С. Голов, В.Ю. Теплышев, А.В. Мыльник // Электрические станции. – 2017. – № 10(1035).
29. Голов Р.С. Инновационно-инвестиционное развитие промышленности в условиях инновационной экономики / Р.С. Голов // Экономика и управление в машиностроении. 2009. № 5. С. 31-35.
30. Голов Р.С. Классификация и функциональные особенности инноваций / Р.С. Голов // Экономика и управление в машиностроении. 2009. № 2. С. 32-36.
31. Голов Р.С. Концептуальные основы технологического и экономического развития инновационно-инвестиционных кластеров / Р.С. Голов // Экономика и управление в машиностроении. 2012. № 4. С. 31-35.
32. Голов Р.С. Основные векторы инновационного развития машиностроения в условиях модернизации экономики / Р.С. Голов // Труды Вольного экономического общества России, № 3, том 192, Москва, 2015. С. 63-68.
33. Голов Р.С. Практические основы системного управления инновационно-инвестиционной деятельностью промышленной организации / Р. С. Голов, А. В. Мыльник, А. С. Кошелев, Ю. С. Осадчая // Современные технологии

в задачах управления, автоматики и обработки информации : сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции, Алушта, 14-20 сентября 2017 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); Московский технологический университет «МИРЭА». Алушта: Издательский дом «Медпрактика-М», 2017. – С. 17-20.

34. Голов Р.С. Проблема интеграции инноваций и инвестиций в инновационно-инвестиционной деятельности промышленного производства / Р.С. Голов // Экономика и управление в машиностроении. 2009. № 4. С. 27-31.
35. Голов Р.С. Теоретическая база инновационно-инвестиционной деятельности промышленного производства / Р.С. Голов // Технология машиностроения. 2009. № 10. С. 50-53.
36. Голов Р.С. Влияние эффекта резонанса на маркетинговое развитие инновации / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Труды Вольного экономического общества России, том 189, Москва, 2014. С. 183-194.
37. Голов Р.С. Инновационно-синергетический подход как одна из основных научных теорий для модернизации машиностроения / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2011. № 2. С. 15-19.
38. Голов Р.С. Ключевые принципы модернизации промышленности в контексте реиндустриализации экономики России / / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 2. С. 61-64.
39. Голов Р.С. Концептуальные основы реализации комплекса энергетического менеджмента в сфере жилищно-коммунального

- хозяйства / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Научные труды Вольного экономического общества России. 2013. Т. 174. С. 100-105.
40. Голов Р.С. Концептуальные основы формирования синергетических инновационных промышленных кластеров в условиях модернизации экономики / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2015. № 28. С. 37-41.
41. Голов Р.С. Концептуальные основы формирования инновационно-инвестиционных кластерных сред в условиях модернизации экономики / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2014. № 1. С. 32-38.
42. Голов Р.С. Организация релей сетей как объективная необходимость в развитии инновационных систем / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2010. № 3. С. 10-17.
43. Голов Р.С. Основы реализации системы управления энергосбережением на металлургических предприятиях / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Журнал Технология машиностроения. 2017 №5. С. 70-76.
44. Голов Р.С. Перспективы формирования национальной инновационной системы в условиях модернизации экономики / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2010. № 6. С. 14-21.
45. Голов Р.С. Системная реиндустриализация экономики: существующие предпосылки и оптимальные пути ее реализации / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 1. С. 59-64.
46. Голов Р.С. Теоретические основы интеллектуально-технологического развития промышленных предприятий в контексте парадигмы «Индустрия 5.0» / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 1. С. 10-14.

47. Голов Р.С. Теоретические основы формирования инновационно-синергетических промышленных кластеров / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2012. № 3. С. 26-29.
48. Голов Р.С. Теоретические основы формирования инновационно-инвестиционных кластеров в условиях модернизации промышленности / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2012. № 3. С. 101-108.
49. Голов Р.С. Трансформация профессиональных функций человека в условиях формирования интегрированных автоматизированных информационных систем в промышленности / Р.С. Голов, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 1. С. 5-11.
50. Голов Р.С. Классификация кластеров в промышленности как практический инструмент в системе кластерной экономики / Р.С. Голов, А.В. Мыльник, Д.А. Прокофьев // Экономика и управление в машиностроении. 2017. №4. С. 19-23.
51. Голов Р.С. Теоретические основы реиндустриализации экономики в контексте системной инновационной модернизации промышленности / Р.С. Голов, А.В. Мыльник, Д.А. Прокофьев // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 3. С. 15-20.
52. Голов Р.С. Теоретические основы реиндустриализации экономики в контексте системной инновационной модернизации промышленности / Р.С. Голов, А.В. Мыльник, Д.А. Прокофьев // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 3. С. 27-32.
53. Голов Р.С. Классификация источников финансирования образовательных инновационных проектов автономных образовательных учреждений / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении». 2018. № 2. С. 40-43.

54. Голов Р.С. Ключевые аспекты инновационно-технологического взаимодействия предприятий и вузов на основе модели «Университет 3.0 / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении». 2018. № 4. С. 24-26.
55. Голов Р.С. Методологические и прикладные основы диффузии экологических инноваций в условиях реиндустриализации экономики (часть 1) / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 3. С. 19-23.
56. Голов Р.С. Методологические и прикладные основы диффузии экологических инноваций в условиях реиндустриализации экономики (часть 2) / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 5. С. 23-27.
57. Голов Р.С. Методологические основы комплексной автоматизации высокотехнологичного предприятия / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 4. С. 4-9.
58. Голов Р.С. Теоретические основы экологической инноватики в контексте модернизации экономики (часть 1) / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 3. С. 53-58.
59. Голов Р.С. Теоретические основы экологической инноватики в контексте модернизации экономики (часть 2) / Р.С. Голов, В.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 5. С. 47-51.
60. Голов Р.С. Классификация целей, достигаемых на основе комплексной автоматизации промышленного предприятия / Р.С. Голов, В.В. Мыльник, К.В. Анисимов // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 2. С. 4-7.
61. Голов Р.С., Мыльник В.В., Паламарчук А.Г. «Индустрия 5.0» как основа развития высокотехнологичной промышленности / Р.С. Голов, В.В.

- Мыльник, А.Г. Паламарчук // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 6. С. 8-11.
62. Голов Р.С. Ключевые барьеры на пути развития высокотехнологичного машиностроения / Р.С. Голов, В.В. Мыльник, А.Г. Паламарчук // Труды Вольного экономического общества России, том 213, 2018. С. 304-317.
63. Голов Р.С., Смирнов В.Г., Теплышев В.Ю., Прокофьев Д.А., Паламарчук А.Г., Анисимов К.В., Андрианов А.М. Управление энергосбережением на промышленном предприятии. Монография. М.: Дашков и Ко. 2023. 458 с.
64. Голов Р.С. Экологическая инноватика – современный подход к решению глобальной проблемы человечества (часть 1) / Р.С. Голов, А.Е. Сорокин, Л.Б. Метечко, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении». 2016. № 6. С. 27-33.
65. Голов Р.С. Экологическая инноватика – современный подход к решению глобальной проблемы человечества (часть 2) / Р.С. Голов, А.Е. Сорокин, Л.Б. Метечко, А.В. Мыльник // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 2. С. 5-11.
66. Голов Р.С. Основные факторы и источники образования экономического эффекта при реализации мероприятий по энергосбережению в промышленности / Р.С. Голов, В.Ю. Теплышев // Экономика и управление в машиностроении». 2016. № 2. С. 33-36.
67. Горлов А.Н., Хорошилов Н.В., Чернышёва Д.В., Камаев В.В., Невинчанный В.В. Внедрение энергетического менеджмента на промышленных предприятиях / А.Н. Горлов, Н.В. Хорошилов, Д.В. Чернышёва, В.В. Камаев, В.В. Невинчанный // Электрика. 2013. № 5. С. 33-34.
68. Гришин Д.С. Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей Smart Grid / Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синев [и др.] // Модели,

- системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 1(21). С. 109-116.
69. Гужов С.В. Комплексная методика расчёта эффектов энергосервисного контракта для образовательных бюджетных учреждений / С.В. Гужов // Вестник энергоэффективности Минобрнауки России. 2014. № 4. С. 49-57.
70. Гулбрандсен Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учебное пособие / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск.: БГАТУ, 2010. – 240 с.
71. Данилов Н.И. Инвестиционная привлекательность технологических процессов и энергетическая эффективность / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, В.Г. Лисиенко // Известия Уральского государственного экономического университета. 2012. № 1 (39). С. 133-138.
72. Евсеева М. В. Стратегические детерминанты технологического развития промышленного предприятия / М. В. Евсеева, Е. Н. Стариков, И. Н. Ткаченко // Journal of New Economy. – 2021. – Т. 22. – № 4. – С. 139-155.
73. Ефремов В.В., Маркман, Г.З. «Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности / В.В. Ефремов, Г.З. Маркман // Известия Томского политехнического университета. - Томск: ТПУ, 2007. - № 4. - Т. 311. – С. 148
74. Заборова Е. Н. Цифровизация системы управления / Е. Н. Заборова // ВІ-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики: Материалы IX Международной научно-практической очно-заочной конференции, Екатеринбург, 02 декабря 2021 года / Отв. за выпуск: А.Ю. Коковихин, Н.М. Сурнина, отв. редактор В.В. Городничев. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. – С. 126-128.

75. Заборова Е. Н. Цифровое государственное и муниципальное управление / Е. Н. Заборова // Урал - драйвер неоиндустриального и инновационного развития России: материалы III Уральского экономического форума, Екатеринбург, 21–22 октября 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 153-157.
76. Закирова Э. Р. Сущность конкурентоспособности. Факторы, влияющие на уровень конкурентоспособности / Э. Р. Закирова // Проблемы модернизации экономики территориальных систем Российской Федерации: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Уфа, 22 мая 2020 года / Под редакцией Е. И. Янгировой. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2020. – С. 84-86.
77. Зернина В. В. Управление рисками как элемент системы экономической безопасности промышленного предприятия / В. В. Зернина, Е. Б. Дворядкина // Наука и творчество: вклад молодежи : Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Махачкала, 27–28 октября 2021 года. Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2021. С. 247-250.
78. Змиева К.А., Кузнецова Е.В., Шумихина Е.М. Поиск направлений повышения энергоэффективности производственного оборудования // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 12 (177). С. 52-55.
79. Иванов Д.С. Энергомоделирование [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://dmitryivanov.org/energomodelirovanie/> (дата обращения: 14.08.2021).
80. Иванова Н. И. "Зеленая" экономика: сущность, принципы и перспективы / Н. И. Иванова, Л. В. Левченко // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2017. № 2(58). С. 19-28.

81. Истомина Е.А. Оценка трендов цифровизации в промышленности / Е.А. Истомина // Вестник Челябинского государственного университета. 2018. № 12 (422). С. 108-116.
82. Казаринов Л.С., Копцев Л.А., Кинаш А.В., Колесникова О.В., Шнайдер Д.А., Седельников С.В., Вахромеев И.Е., Шишкин М.В., Барбасова Т.А., Белавкин И.В., Константинов В.И. Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки). Монография. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2010. 228 с.
83. Капустина Л. М. Оценка конкурентоспособности предприятия на рынке насосного оборудования в условиях цифровизации / Л. М. Капустина, К. Р. Качалкова // Урал - драйвер неоиндустриального и инновационного развития России: материалы III Уральского экономического форума, Екатеринбург, 21–22 октября 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 166-170.
84. Капустина Л. М. Технологии новой промышленной революции: мировые и российские тренды / Л. М. Капустина // Новая индустриализация России: экономика - наука - человек: сборник научных трудов VIII Уральских научных чтений профессоров и докторантов общественных наук, Екатеринбург, 09 февраля 2021 года / Уральский государственный экономический университет. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 10-15.
85. Капустина Л. М. Траектории промышленного развития России в условиях мирового энергоперехода / Л. М. Капустина // Современные вызовы и реалии экономического развития России: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 14–16 апреля 2022 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2022. – С. 191-195.

86. Капустина Л. М. Цифровая конкурентоспособность стран: методы измерения / Л. М. Капустина // Власть, бизнес и общество в цифровой экономике: глобальный и национальный контексты: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 28 февраля 2022 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-информационный центр "Фабула", 2022. – С. 31-32.
87. Карлик А.Е. Организационное обеспечение цифровой трансформации кооперационных сетей и внедрения киберсоциальных систем / А.Е. Карлик, В.В. Платонов, С.А. Кречко // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2019. Т. 12. № 5. С. 9-22.
88. Карпов В.Н. Научные проблемы энергоэффективности действующих технических систем / В.Н. Карпов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 49. С. 268-274.
89. Карпов В.Н. Определение энергетической эффективности на этапе проектирования предприятия методом конечных отношений / В.Н. Карпов, А.А. Немцев // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2015. Т. 18. № 4. С. 709-718.
90. Кислицын Е. В. Современные технологии разработки программного обеспечения / Е. В. Кислицын, М. А. Панов. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. 176 с.
91. Кислицын Е.В. Автоматизированные системы управления ресурсами предприятия / Е. В. Кислицын, М. В. Панова, В. В. Городничев, Г. П. Бутко; Уральский государственный экономический университет. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – 201 с.

92. Князева Е. Г. Проблемы финансирования государственных программ / Е. Г. Князева, К. Н. Самков // Финансы. 2021. № 5. С. 10-18.
93. Князева Е. Г. Финансы и кредит в реализации концепции «Индустрия 4.0» / Е. Г. Князева // Российские регионы в фокусе перемен : Сборник докладов XI Международной конференции. В 2-х томах, Екатеринбург, 17–19 ноября 2016 года. – Екатеринбург: ООО "Издательство УМЦ УПИ", 2016. С. 834-836.
94. Князева Е. Г. Цифровая экономика: финансы и кредит / Е. Г. Князева // Российские регионы в фокусе перемен: сборник докладов XII Международной конференции, Екатеринбург, 16–18 ноября 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Высшая школа экономики и менеджмента. Екатеринбург: ООО "Издательство УМЦ УПИ", 2018. С. 345-348.
95. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
96. Ковальчук Ю.А. Управление промышленными экосистемами в едином цифровом пространстве / Ю.А. Ковальчук, И.М. Степнов // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 3. С. 107-121.
97. Ковальчук Ю.А. Цифровое технологическое лидерство бизнес-экосистем / Ю.А. Ковальчук, И.М. Степнов // Друкеровский вестник. 2023. № 2 (52). С. 44-54.
98. Козлов А.В., Тесля А.Б. Цифровой потенциал промышленных предприятий: сущность, определение и методы расчета / А.В. Козлов, А.Б. Тесля // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 6. С. 101-110.

99. Коковихин А. Ю. Цифровая трансформация бизнеса предприятий Свердловской области / А. Ю. Коковихин, Т. А. Кансафарова // Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ялта, 18–20 марта 2020 года / Ответственный редактор А.В. Олифинов. Ялта: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2020. С. 21-26.
100. Кондрашов С. Н. Автоматизация управления производственно-диспетчерской информацией на базе PI system / С. Н. Кондрашов, В. М. Солодченков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 2. С. 43-59.
101. Костыгова Л.А. Управление процессом оценки результативности цифровизации в машиностроении на современном этапе / Л.А. Костыгова, Г.Р. Голов // СТИН. 2023. № 1. С. 40-42.
102. Кошелев А.С. Перспективы, возможности и проблемы создания энергоэффективных "умных городов" в масштабах России и мира / А. С. Кошелев, М. Д. Пушкарев, Н. Г. Ляпустина [и др.] // Экономика и управление в машиностроении. – 2020. – № 6.
103. Кошелев, А. С. Анализ мирового потребления энергоресурсов / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. 2020. № 4. С. 43-47.
104. Кошелев, А. С. Анализ современного состояния энергосбережения в сфере промышленности / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2019. – № 4. – С. 36-38.

105. Кошелев, А. С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 2. – С. 27-32.
106. Кошелев, А. С. Основные факторы и источники получения эффекта при реализации системы управления энергетической эффективностью / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 4. – С. 52-56.
107. Кошелев, А. С. Основы управления энергоэффективностью аэрокосмических предприятий / А. С. Кошелев // Гагаринские чтения - 2018: Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодёжной научной конференции, Москва-Барнаул-Ахтубинск, 17–20 апреля 2018 года. Москва-Барнаул-Ахтубинск: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018. С. 40-41.
108. Кошелев, А. С. Построение системы энергоменеджмента на предприятиях аэрокосмического профиля / А. С. Кошелев // Авиация и космонавтика - 2017: тезисы, Москва, 20–24 ноября 2017 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Москва: Типография «Люксор», 2017. С. 599-601.
109. Кошелев, А. С. Проектирование организационной структуры системы управления энергетической эффективностью на основе технологий цифровой трансформации энергосбережения / А. С. Кошелев // Авиация и космонавтика: Тезисы 20-ой Международной конференции, Москва, 22–26 ноября 2021 года. – Москва: Издательство "Перо", 2021. С. 624-625.
110. Кошелев, А. С. Система управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли / А. С. Кошелев // Идеи и новации. 2022. Т. 10. № 1-2. С. 143-146.

111. Кошелев, А. С. Системный подход к внедрению энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 1. С. 44-51.
112. Кошелев, А. С. Состояние и перспективы развития энергосбережения в России / А. С. Кошелев // Научные труды Вольного экономического общества России. 2019. Т. 218. № 4. С. 398-405.
113. Кошелев, А. С. Теоретические основы энергоэффективного развития высокотехнологичной промышленности в условиях цифровой экономики / А. С. Кошелев // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Тезисы 19-ой Международной конференции, Москва, 23–27 ноября 2020 года. Москва.: Издательство "Перо", 2020. С. 876-877.
114. Кошелев, А. С. Формирование системы индикаторов энергоэффективности высокотехнологичного промышленного предприятия / А. С. Кошелев // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 3. С. 29-34.
115. Курдюмов А. В. Внедрение цифровых технологий в сельском хозяйстве / А. В. Курдюмов, А. В. Королев // Московский экономический журнал. 2020. № 12. С. 37.
116. Лапаева О. Ф. Современные проблемы и перспективы развития топливно-энергетического комплекса / О. Ф. Лапаева, О. А. Иневатова, С. А. Дедеева // Экономические отношения. 2019. Т. 9. № 3. С. 2129-2142.
117. Логинов Е. Л. Интеллектуальная электроэнергетика: новый формат интегрированного управления в единой энергетической системе России / Е. Л. Логинов, А. Е. Логинов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. Т. 8. № 29(170). С. 28-32.

118. Лола И.С. Цифровая трансформация предприятий обрабатывающей промышленности России / И.С. Лола, М.Б. Бакеев // Информационное общество. 2020. № 1. С. 2-14.
119. Ляпунцова, Е. В. Приоритетные инструменты снижения энергоемкости национальной промышленности / Е. В. Ляпунцова, Н. Р. Гукасова // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1-2(34). С. 8.
120. Ляхомский, А.В. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий: учеб. пособ. / А.В. Ляхомский, Г.И. Бабокин 2-е изд. М.: Издательство «Горная книга», 2012. 232 с.
121. Мансуров Г. З. Цифровая экономика как новая правовая реальность / Г. З. Мансуров // Проблемы взаимодействия публичного и частного права при регулировании цифровизации экономических отношений: Материалы III Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 17 ноября 2020 года / Отв. за выпуск М.А. Задорина, отв. редактор Г.З. Мансуров. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. – С. 63-68.
122. Матвеева А. И. Командное лидерство как ключ к успеху в управлении организациями / А. И. Матвеева, Р. В. Краснов // Менеджмент и предпринимательство в парадигме устойчивого развития: Материалы III Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 28 мая 2020 года / Отв. за выпуск Е.Б. Дворядкина. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. С. 158-161.
123. Меркулов В. В. Стратегии создания и развития "умных городов" / В. В. Меркулов, Т. Ю. Шемякина // Вестник университета. 2018. № 4. С. 39-42.
124. Могиленко А.В. Применение алгоритмов искусственного интеллекта в мировой энергетике. // Энергетика и промышленность России, 2018. № 13-14. С. 345-346.

125. Можяев Е.Е. Снижение энергоемкости экономики России: состояние, тенденции, перспективы / Е. Е. Можяев, Н. С. Сафронов, А. А. Абрамов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 3-1. С. 222-224.
126. Морозов М.А. Цифровые компетенции персонала как инструмент повышения инновационности предприятия / М.А. Морозов, М.М. Морозов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 292-298.
127. Мыльник В.В. Роботизация промышленного производства на базе искусственного интеллекта / В.В. Мыльник, А.В. Мыльник // Организатор производства. 2014. № 3 (62). С. 6.
128. Намиот Д.Е. Цифровые двойники и системы дискретно-событийного моделирования / Д.Е. Намиот, О.Н. Покусаев, В.П. Куприяновский, М.Г. Жабицкий // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 2. С. 70-75.
129. Нижегородцев Р.М. Методологические аспекты теории активных систем и тренды цифровизации экономики / Р.М. Нижегородцев, Е.Ю. Русяева // Инновационное развитие экономики. 2022. № 3-4 (69-70). С. 140-148.
130. Орехова С. В. Устойчивое развитие промышленного предприятия в условиях глобальных изменений / С. В. Орехова, М. Ю. Завьялова // Менеджмент и предпринимательство в парадигме устойчивого развития : материалы IV Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 27 мая 2021 года. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 156-159.
131. Перспективы развития «Интернета вещей» в России / РwС. –2017 [Электронный ресурс] // Режим доступа:

- https://media.rbcdn.ru/media/reports/PwC_Internet-of-Things_Rus.pdf (дата обращения: 07.11.2019).
132. Перспективы энергетических технологий 2014 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives_2014_ES_Russian.pdf (дата обращения: 18.08.2020).
133. Плахин А. Е. Конкурентоспособность в теориях стратегического управления / А. Е. Плахин // Материалы докладов 54-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: В ДВУХ ТОМАХ, Витебск, 28 апреля 2021 года. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2021. – С. 103-105.
134. Плотников В.А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике / В.А. Плотников // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 4 (112). С. 16-24.
135. Положенцева Ю.С. Трансформация развития промышленного комплекса в условиях цифровой экономики / Ю.С. Положенцева, М.Г. Клевцова // Вестник университета. 2021. № 2. С. 71-79.
136. Прогноз развития мировой экономики с 2015 по 2050 года / PwC. – 2015 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gtmarket.ru/news/2015/02/11/7089?ysclid=14cxmwyuy9n650448075> (дата обращения: 15.04.2021).
137. Пушкарева М.Б. Необходимость и предпосылки повышения энергоэффективности предприятий аэрокосмического комплекса / М.Б. Пушкарева // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 5. С. 24-27.

138. Ратнер С В. Фотовольтаика на мировой энергетической арене: динамика и региональные особенности развития / С. В. Ратнер // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. Т. 11. № 33 (318). С. 57-68.
139. Садовский В. Н. Система [Электронный ресурс] / В.Н. Садовский, А.Ю. Бабайцев и др. / Центр гуманитарных технологий 2020 // Режим доступа: <https://gtmarket.ru/concepts/7091> (дата обращения: 10.01.2022).
140. Самохин В. И. Основные направления энергосбережения на предприятиях и оборудование, используемое для энергосбережения / В. И. Самохин, Д. В. Самохин, И. В. Сухоставский, Е. Е. Бабкин // Электронные информационные системы. 2020. № 1(24). С. 63-76.
141. Семенова Э.Е. Пути повышения энергоэффективности гражданских зданий / Э. Е. Семенова, М. Г. Самсонова, Д. Е. Нецепляев, В. Ю. Компанеец // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2019. № 3(36). С. 20-24.
142. Семин А.Н. Научные основы формирования модели smart-села в рамках эколого-инновационного подхода / А. Н. Семин, В. Е. Ковалев, Ю. Р. Лутфуллин [и др.]. Москва : Общество с ограниченной ответственностью "КОЛ ЛОК", 2021. 220 с.
143. Силин Я. П. Исследование приоритетов стратегического развития нового индустриального города / Я. П. Силин, Е. Б. Дворядкина, И. А. Антипин // Управленец. 2018. Т. 9. № 6. С. 2-16.
144. Силин Я. П. Контуры формирования цифровой экономики в России / Я. П. Силин, Е. Г. Анимица // Известия Уральского государственного экономического университета. 2018. Т. 19. № 3. С. 18-25.
145. Силин Я. П. Россия в фокусе четырех промышленных революций / Я. П. Силин, Е. Г. Анимица // Форсайт "Россия": новое индустриальное общество. Будущее : Сборник докладов Санкт-Петербургского

- Международного Экономического Конгресса (СПЭК-2018), Санкт-Петербург, 01–30 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Институт нового индустриального развития имени С.Ю. Витте, 2019. – С. 131-140.
146. Силин Я.П. Предприятие в условиях цифровой трансформации: экономика и управление / Я. П. Силин, А. Н. Головина, Е. Л. Андреева [и др.]. Екатеринбург : Общество с ограниченной ответственностью «Трудовая реабилитация инвалидов культура и спорт», 2021. 338 с.
147. Смирнов В.Г. Управление энергосбережением на предприятиях авиационной промышленности / В.Г. Смирнов // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 5. С. 35-41.
148. Солуянов Ю.И. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю. И. Солуянов, А. И. Федотов, А. Р. Ахметшин, В. А. Халтурин // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5(62). С. 68-73.
149. Статистический ежегодник мировой энергетики Enerdata - [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru> (дата обращения: 19.08.2020).
150. Степанова В.М. Современные тренды развития цифровой экономики / В.М. Степанова, П.А. Исупов, М.А. Морозова // Глобальный научный потенциал. 2020. № 12 (117). С. 318-323.
151. Степнов И.М. Визуализация виртуальных инноваций в экономике цифровых активов / И.М. Степнов, Ю.А. Ковальчук // Друкеровский вестник. 2021. № 5 (43). С. 5-10.
152. Степнов И.М. Стоимостные перспективы цифровых бизнес-моделей / И.М. Степнов, Ю.А. Ковальчук // Друкеровский вестник. 2020. № 1 (33). С. 67-77.

153. Сурнина Н. М. Стратегические задачи цифровизации пространственных инфраструктурных систем в контексте регионального развития / Н. М. Сурнина, Е. А. Шишкина // Урал - драйвер неоиндустриального и инновационного развития России: материалы III Уральского экономического форума, Екатеринбург, 21–22 октября 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 197-201.
154. Сурнина Н.М. Механизмы инфраструктурного энергетического обеспечения регионального развития / Н.М. Сурнина, Е. А. Шишкина, Н. В. Новикова, А. Г. Дьячков. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2019. 172 с.
155. Тарасенко Е. А. Управление логистическими системами / Е. А. Тарасенко, Д. А. Карх, А. П. Тяпухин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2021. 156 с.
156. Тарасов В. Б., Святкина М. Н. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы / Машиностроение и компьютерные технологии. 2011. №13. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-scada-sistemy-istoki-i-perspektivy> (дата обращения: 19.04.2021).
157. Тарасов И.В. Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний / И.В. Тарасов // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 2 (105). С. 62-69.
158. Теплышев В. Ю. Подготовка кадров для энергоэффективной экономики: опыт кафедры "энергетический сервис и управление энергосбережением" / В. Ю. Теплышев // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2017.

159. Теплышев, В. Ю. Концептуальные основы развития системы энергетического сервиса в контексте модернизации энергетической системы России / В. Ю. Теплышев // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2013. – Т. 174. – С. 195-206.
160. Теслюк Л. М. Повышение энергетической эффективности в Свердловской области как фактор социально-экономического развития региона / Л. М. Теслюк, Н. В. Дукмасова, А. Ю. Бояринов // Дискуссия. 2020. № 4(101). С. 52-62.
161. Ткаченко И. Н. Трансформация архитектуры бизнеса и управленческих механизмов для целей инновационно-технологического развития / И. Н. Ткаченко // Новая индустриализация России: экономика - наука - человек - природопользование: сборник научных трудов VII Уральских научных чтений профессоров и докторантов, Екатеринбург, 04–05 февраля 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. – С. 115-121.
162. Царев М. В. Цифровые двойники в промышленности история развития, классификация, технологии, сценарии использования / М. В. Царев, Ю. С. Андреев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. т. 7. С. 517 – 530.
163. Чемезов А. В. К вопросу определения понятия «энергоэффективность» / А. В. Чемезов, Е. Р. Яхина, Н. А. Шамарова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 10(105). – С. 261.
164. Чичканов В.П. Социально-экономический потенциал как основа поступательного развития постперестроечной России / В. П. Чичканов, В. В. Акбердина, В. Л. Берсенев [и др.]. – Москва : Институт экономики Уральского отделения РАН, 2015. – 1039 с.

165. Шваб К. Технологии четвертой промышленной революции. М.: Эксмо, 2018. 320 с.
166. Шинкевич А. И. Пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации / А.И. Шинкевич, Н.В. Барсегян // Русский инженер. 2019. № 4 (65). С. 48-51.
167. Щеголихина М.А. Энергосберегающие технологии - технологии будущего / М.А. Щеголихина // Прогрессивные технологии и процессы - Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции. 2015. С. 193.
168. Юзвович Л. И. Финансовые триггеры отраслевой экономики как факторы экономического развития в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды / Л. И. Юзвович // Российские регионы в фокусе перемен: Сборник докладов XV Международной конференции, Екатеринбург, 10–14 ноября 2020 года. – Екатеринбург: ООО "Издательство УМЦ УПИ", 2021. – С. 202-205.
169. Ялунина Е. Н. Методические подходы к исследованию системы стратегического планирования промышленного предприятия / Е. Н. Ялунина // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 2-2. – С. 279-283.
170. BI системы в России [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Iconics_Genesis64?cache=no&путь=news& (дата обращения: 09.05.2020).
171. Big data. noSQL модель данных [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://msuniversity.ru/d/6/1/10092> (дата обращения: 10.04.2021).

172. Castro-Alvarez F. The 2018 International Energy Efficiency Scorecard / F. Castro-Alvarez, Sh. Vaidyanathan, H. Bastian // Washington: American Council for an Energy-Efficient Economy, 2018. 139 p.
173. Chen Q., Hammond G.P., Norman J.B. (2016) Energy efficiency potentials: Contrasting thermodynamic, technical and economic limits for organic Rankine cycles within UK industry. 164. Pp. 984-990.
174. Chen Z., Wang F. Feng Q. (2016) Cost-benefit evaluation for building intelligent systems with special consideration on intangible benefits and energy consumption Energy and Buildings. Volume 128. Pp. 484–490.
175. Cimino A., Gnoni M., Longo F., Barone G., Fedele M., Piane D. (2023). Modeling & Simulation as Industry 4.0 enabling technology to support manufacturing process design: a real industrial application. Procedia Computer Science. 217. 1877-1886.
176. Dodoo A., Gustavsson L., Tettey U. (2019) Cost-optimized energy-efficient building envelope measures for a multi-storey residential building in a cold climate. Energy Procedia 158. Pp. 3760–3767.
177. Dossou P.-E., Torregrossa P., Martinez T. (2022). Industry 4.0 concepts and lean manufacturing implementation for optimizing a company logistics flows. Procedia Computer Science. 200. Pp. 358-367.
178. Duran E., Aravena C., Aguilar R. (2015) Analysis and decomposition of energy consumption in the Chilean industry. Energy Policy. 86. Pp. 552-561.
179. Ghobakhloo M., Fathi M. (2021). Industry 4.0 and opportunities for energy sustainability. Journal of Cleaner Production, 295, 126427.
180. He Q., Hossain U., Thomas S., Skitmore M., Augenbroe G. (2021) A cost-effective building retrofit decision-making model e Example of China's temperate and mixed climate zones. Journal of Cleaner Production. Volume 280. 124370.

181. Javaid M., Haleem A., Singh R., Suman R. (2022). Enabling flexible manufacturing system (FMS) through the applications of industry 4.0 technologies. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2. Pp. 49-62.
182. Kumbaroğlu G., Madlener R. (2012) Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings. *Energy and Buildings*. Volume 49. Pp. 327-334.
183. Lai Y., Papadopoulos S., Fuerst F., Pivo G., Sagi J., Kontokosta C. (2022) Building retrofit hurdle rates and risk aversion in energy efficiency investments. *Applied Energy*. Volume 306. Part B. 118048.
184. Lane, H.W., Distefano, J.J. *International Management Behavior*.// Nelson, 1988. 391 p.
185. Lawrence A., Wallen M., Nehler T., Thollander P. (2019). Effects of monetary investment, payback time and firm characteristics on electricity saving in energy-intensive industry. *Applied Energy*. 240. Pp. 499-512.
186. Malatji E.M., Zhang J., Xia X. (2013) A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision. *Energy and Buildings*. Volume 61. Pp. 81–87.
187. Mamad M. (2018). Challenges and Benefits of Industry 4.0: an overview. *International Journal of Supply and Operations Management*. 5. Pp. 256-265.
188. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bull. Math. Biophys.* 5. 1943. Pp. 115–133.
189. Naskos A., Nikolaidis N., Naskos V., Gounaris A., Caljouw D., Vamvalis C. (2021) A micro-service-based machinery monitoring solution towards realizing the Industry 4.0 vision in a real environment. *Procedia Computer Science*. 184. Pp. 565-572.

190. Raval M., Joshi H. (2022). Categorical framework for implementation of industry 4.0 techniques in medium-scale bearing manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*. 65. Pp. 3531-3537.
191. Saravanan G., Parkhe S., Thakar C., Kulkarni V., Mishra H., Govindarajan G. (2021). Implementation of IoT in production and manufacturing: An Industry 4.0 approach. *Materials Today: Proceedings*. 51. Pp. 2427-2430.
192. Saygin D., Worrell E., Patel M. K., Gielen D. J. (2011). Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries. *Energy*. 36(11). Pp. 6661-6673.
193. Taylor P. (1988) Superiority of NPV over NPV/K, and other criteria in the financial appraisal of projects: the case of energy conservation. *International Journal of Project Management*. Volume 6. Issue 4. Pp. 223-225.
194. Thollander P., Danestig M., Rohdin P. (2007) Energy policies for increased industrial energy efficiency: Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy*. 35. 11. Pp. 5574-5783.
195. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий: приняты и введены в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2011 г. N 626 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200091049?ysclid=l4eqzttm2a518385385> (дата обращения: 13.05.2022).
196. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий: одобрены и рекомендованы к применению постановлением Госстроя России от 2 октября 2003 г. N 194 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035252?ysclid=l4er8mmmwq602198972> (дата обращения: 13.05.2022).

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для визуализации данных об энергопотреблении, получаемых от узлов учета⁸⁵

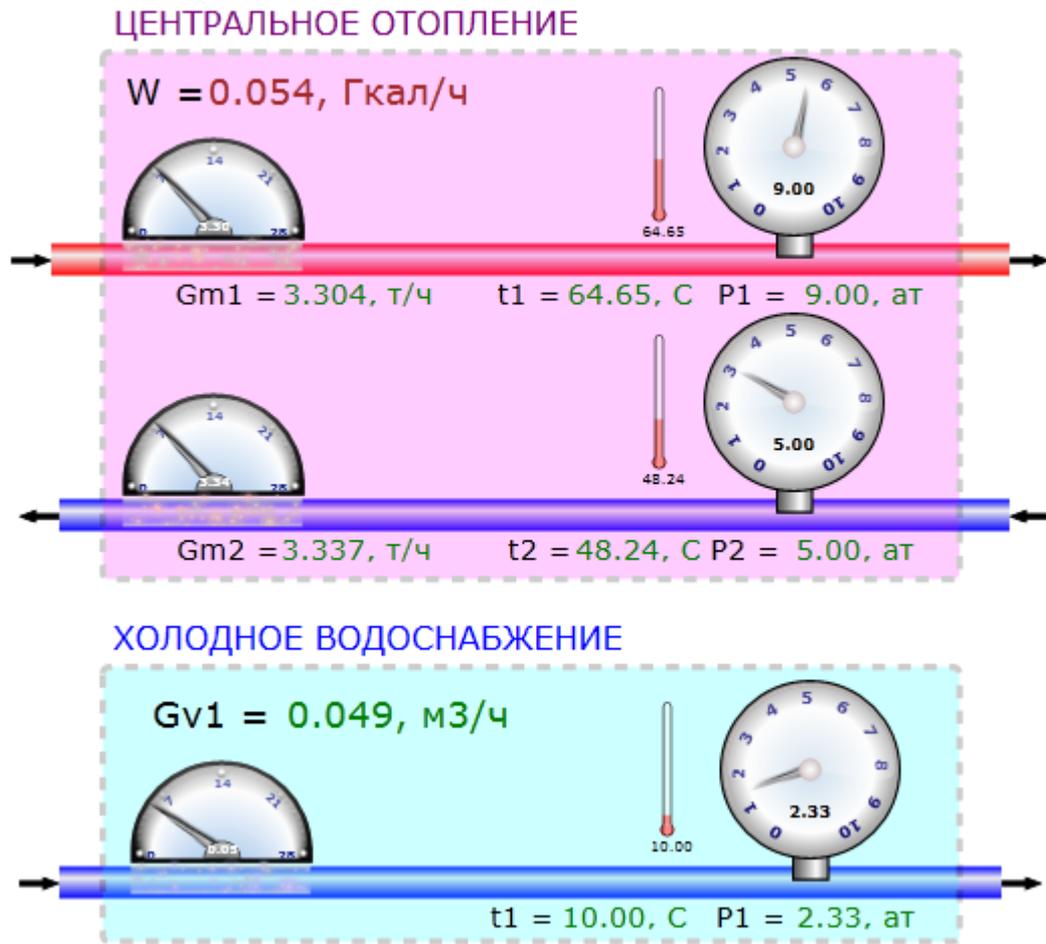


Рис. 1. Интерфейс модуля для визуализации данных, получаемых от узлов учета

⁸⁵ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации учета и мониторинга потребления энергоресурсов ⁸⁶

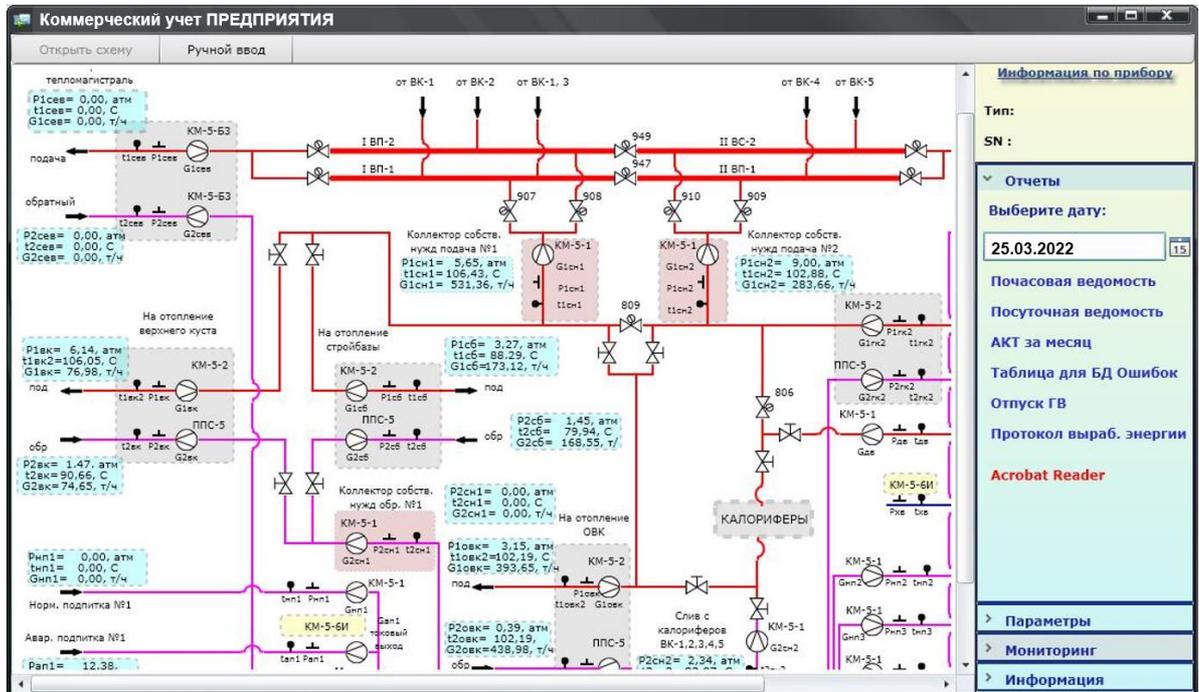


Рис. 1. Интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации учета и мониторинга потребления энергоресурсов

⁸⁶ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Приложение 3

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации самодиагностики приборов учета⁸⁷

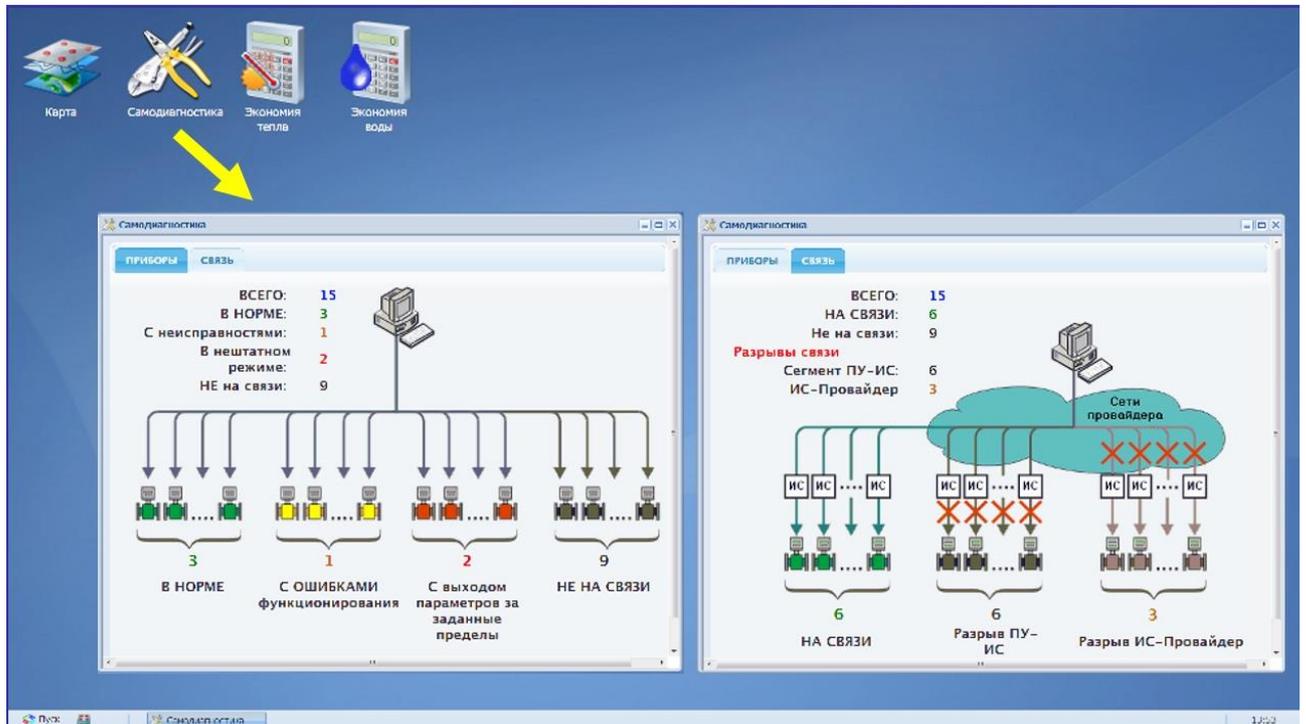


Рис. 1. Визуальный интерфейс модуля «Самодиагностика» специализированного программного обеспечения, используемого для автоматизации самодиагностики приборов учета

⁸⁷ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для анализа баланса энергопотребления ⁸⁸

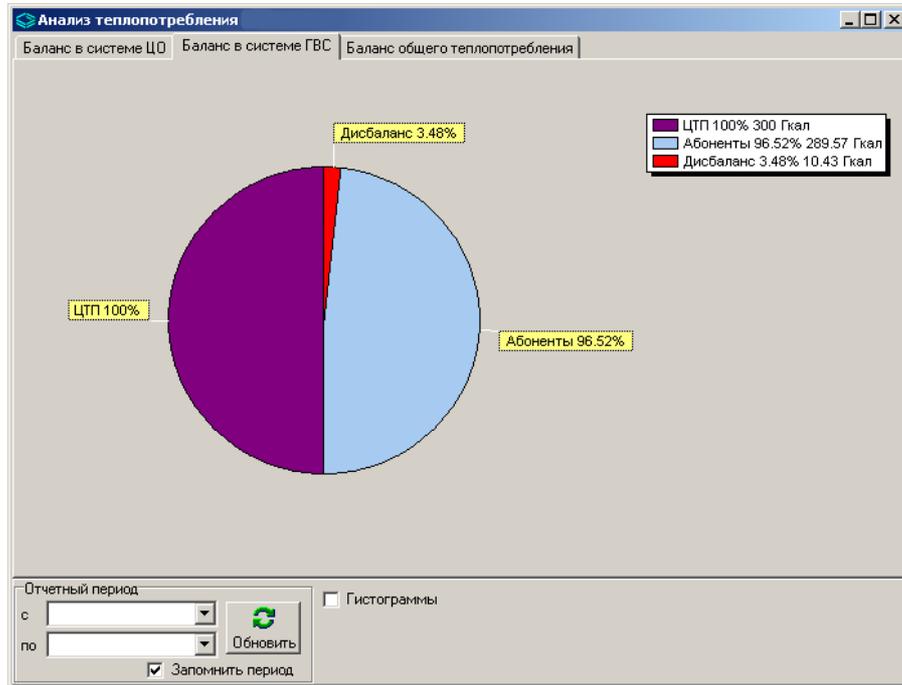


Рис. 1. Визуальный интерфейс модуля анализа теплотребления

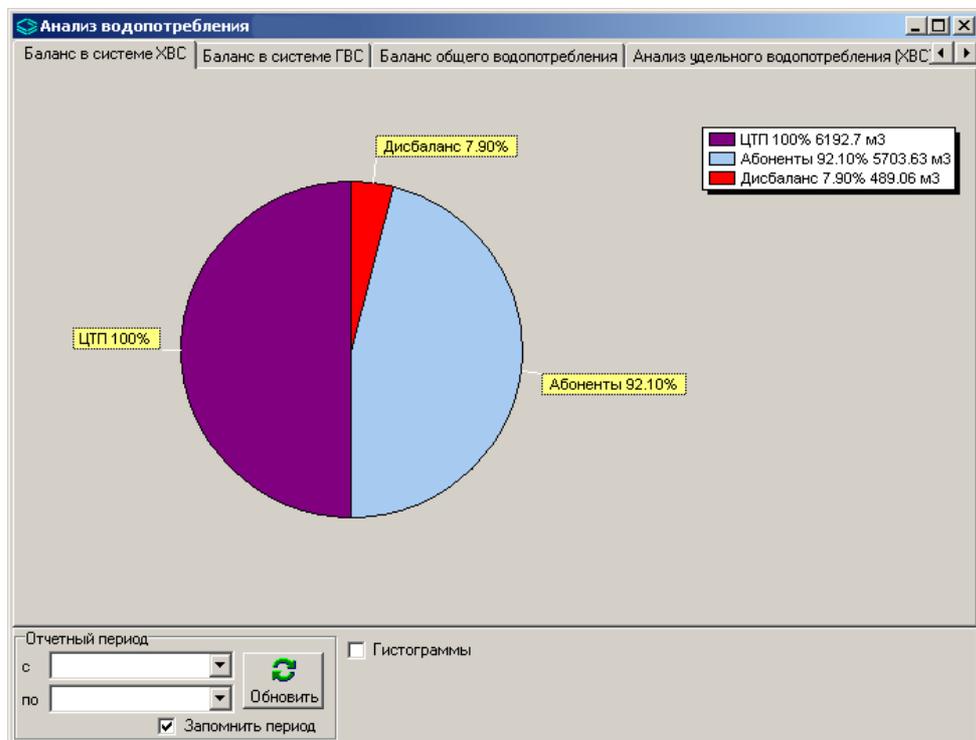


Рис. 2. Визуальный интерфейс модуля анализа водопотребления

⁸⁸ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для мониторинга потребления энергоресурсов⁸⁹



Рис. 1. Интерфейс модуля мониторинга потребления холодной и горячей воды в режиме реального времени на промышленном предприятии

⁸⁹ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Визуальный интерфейс модуля специализированного программного обеспечения, используемого для консолидации сводных данных об энергопотреблении и энергосбережении⁹⁰

Коммерческий учет ПРЕДПРИЯТИЯ

Архив мониторинга

Дата/Время с: 25.03.2022 15:57:10 мин. 57 сек. Дата/Время по: 25.03.2022 15:09:13 мин. 9 сек.

Выполнить запрос

Дата	t1	t2	M1	M2	V1	V2	P1	P2	Q	W
25.03.2022 12:54:58	105,38	46,33	5429,10	5337,46	5683,70	5360,03	8,86	1,28	68448	321,9
25.03.2022 13:02:29	105,22	45,44	5489,28	5263,53	5731,69	5299,64	8,76	1,28	40,63	326,8
25.03.2022 13:02:44	105,33	46,03	5495,81	5238,68	5748,43	5281,96	8,74	1,29	1,38	329,6
25.03.2022 13:02:59	105,26	46,02	5459,35	5253,25	5717,00	5299,24	8,73	1,29	1,38	326,5
25.03.2022 13:03:14	105,21	46,17	5379,72	5326,96	5645,82	5368,05	8,72	1,28	1,31	321,2
25.03.2022 13:03:20	105,23	45,97	5418,91	5245,24	5684,83	5316,48	8,72	1,29	1,38	323,0
25.03.2022 13:03:44	105,27	45,80	5388,80	5201,27	5636,46	5252,00	8,71	1,28	1,31	321,4
25.03.2022 13:03:59	105,27	45,99	5451,18	5255,10	5693,99	5326,45	8,72	1,29	1,38	323,7
25.03.2022 13:04:14	105,30	45,83	5455,35	5248,70	5730,42	5297,78	8,73	1,29	1,31	326,8
25.03.2022 13:04:29	105,27	45,85	5404,15	5202,82	5657,68	5251,53	8,73	1,29	1,38	322,4
25.03.2022 13:04:44	105,27	45,98	5506,14	5239,21	5757,88	5295,78	8,75	1,28	1,31	327,4
25.03.2022 13:04:59	105,35	45,84	5556,86	5151,48	5824,32	5200,32	8,77	1,27	1,38	332,3
25.03.2022 13:05:14	105,30	45,98	5431,95	5255,88	5702,31	5298,95	8,78	1,28	1,38	324,4
25.03.2022 13:05:29	105,32	46,03	5413,56	5271,51	5673,69	5328,41	8,78	1,29	1,38	322,5

Рис. 1. Табличная форма вывода данных по потреблению холодной и горячей воды на предприятии

ГИС ТБН Веб

ИТОГИ

ПРЕДПРИЯТИЕ

- Литейный цех
- Обрабатывающий цех 1
- Обрабатывающий цех 2
- Кузнечный цех
- Штамповочный цех
- Механический цех
- Термический цех
- Цех окончательной сборки
- Инструментальный цех
- Электроремонтный цех
- Энергетический цех

ИТОГИ ЭКОНОМИИ

Расчет экономии энергоресурсов для ПРЕДПРИЯТИЯ за период с 01.03.2022 по 01.04.2023

Адрес	Отп., Гкал	Стоимость Отп., руб	Од., Гкал	Стоимость Од., руб	Од.-Отп., Гкал	Экономия, руб
Итого:	1068.51	1671 622.00	1297.78	2030 288.00	229.5681	358 676.4
Литейный цех	546.91	856 611.50	744.41	1164 588.00	197.4984	308 975.9
Обрабатывающий цех 1	234.0	366 080.40	389.84	609 560.70	155.6341	243 480.3
Обрабатывающий цех 2	-21.0	-32 859.25	115.51	180 708.70	136.514	213 567.9
Кузнечный цех	263.64	412 445.10	380.16	594 735.40	116.5211	182 290.3
Штамповочный цех	616.93	965 163.00	725.73	1135 356.00	108.7946	170 202.6
Механический цех	168.97	264 341.60	270.14	422 616.30	101.1702	158 274.8
Термический цех	246.05	384 926.40	340.05	531 988.60	94.0031	147 062.2
Цех окончательной сборки	282.02	441 201.20	371.35	580 958.60	89.33379	139 757.3
Инструментальный цех	290.04	453 748.90	377.45	593 500.60	87.41185	136 750.6
Электроремонтный цех	297.73	468 784.80	360.91	554 501.40	92.27642	129 716.5
Энергетический цех	262.73	411 020.10	342.9	536 447.90	80.17426	125 427.8

Итого: 11435.33 Гкал | 17 889 873.64 руб | 13 894.20 Гкал | 21 736 647.72 руб | 2 458.87813 Гкал | 3 846 767.29 руб

Период с: ТЕКУЩИЙ МЕСЯЦ по: ПРЕДЫДУЩИЙ МЕСЯЦ Обновить

Экспорт в формат: Excel Экспортировать

Рис. 2. Визуальный интерфейс модуля для расчета достигнутой экономии энергоресурсов на промышленном предприятии

⁹⁰ Программный продукт «ТБН Энергосервис»

Результаты оценки эффективности проекта по формированию интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном промышленном предприятии

При проведении расчетов для повышения уровня универсальности анализируемого проекта автором был определен ряд условий, позволивших избежать чрезмерного влияния на процесс оценки эффективности узкоспециализированных и отраслевых факторов, а также технических особенностей конкретных предприятий, создающих искусственные ограничения при формировании на их базе интегрированной системы энергосбережения. В соответствии с этими условиями, в качестве оптимального варианта предприятия для моделирования процесса оценки эффективности проекта по созданию ИСЭ было выбрано среднее по масштабу высокотехнологичное промышленное предприятие. В качестве целевого вида ТЭР, на экономию которого нацелен проект по созданию ИСЭ, была выбрана тепловая энергия, потребление которой составляет значительную долю в структуре общего энергопотребления подавляющего большинства российских предприятий.

С точки зрения технологического оснащения предполагается, что на предприятии, как и на большинстве российских предприятий, уже установлены приборы учета энергии и энергоресурсов, а также связанные с ними контроллеры сбора и передачи данных. В то же время, отсутствуют активно реализуемые программы повышения энергоэффективности и действующие комплексные системы автоматизации энергосбережения. Стартовые инвестиции в создание ИСЭ составляют 15,6 млн. руб. и распределяются по агрегированным затратам следующим образом (табл. 1).

Структура агрегированных затрат на создание ИСЭ

№ п/п	Наименование категории затрат	Величина затрат, руб.
1.	Затраты на закупку аппаратного оборудования	10 770 000
2.	Затраты на приобретение программного обеспечения для ИСЭ	2 814 000
3.	Затраты на установку и наладку оборудования	640 000
4.	Затраты на развертывание и настройку программного обеспечения	326 000
5.	Затраты на базовую подготовку профильных сотрудников основам работы в ИСЭ	450 000
6.	Прочие эксплуатационные расходы	600 000
7.	Всего	15 600 000

Одной из наиболее значимых статей затрат при реализации ИСЭ выступает закупка аппаратного оборудования, необходимого для построения киберфизической системы и автоматизации процессов энергосбережения предприятия. Второй по величине категорией выступают затраты на приобретение программного обеспечения, используемого в системе – они составили более 2,8 млн. руб. При их расчете автором отдавалось предпочтение отечественному программному обеспечению, отвечающему необходимым требованиям и адаптированному к применению на российских предприятиях.

Несколько меньший объем затрат (640 000 руб.) требуется для установки и наладки оборудования. В данном случае в эту категорию были заложены затраты на оплату труда привлеченных сервисных инженеров и настройщиков на тот случай, если специалисты предприятия не смогут провести монтаж и наладку оборудования своими силами. В свою очередь, стоимость работ по настройке программного обеспечения составляет порядка 326 000 руб. и также предполагает возможность участия в этой работе сторонних специалистов, осуществляющих первоначальную установку необходимых программ, настройку программных сервисов киберфизической системы, тестирование и отладку программ. Отдельной категорией затрат выступает оплата услуг по базовой подготовке профильных сотрудников основам работы в рамках интегрированной системы энергосбережения, объем которых составляет 450 000

руб. Прочие эксплуатационные расходы на создание ИСЭ составляют 600 000 руб. Кроме того, в 2025-м и последующих годах выделяются агрегированные расходы на эксплуатацию ИСЭ (в 2025-м году – 1 150 000 руб., в 2026-м году – 1 270 000 руб., в 2027-м году – 1 400 000 руб., а в 2028-м году – 1 450 000 руб.).

Результаты оценки эффективности проекта по формированию ИСЭ представлены в таблице ниже (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты оценки эффективности проекта по внедрению ИСЭ на
высокотехнологичном промышленном предприятии**

№ п/п	Наименование показателя	2024	2025	2026	2027	2028	
8.	Объем сэкономленной тепловой энергии благодаря внедрению ИСЭ (Гкал)	1347,86	1696,45	1730,20	1865,94	2071,53	
9.	Цена 1 Гкал (с учетом роста тарифа на 6% в год)	2650	2809	2977,54	3156,19	3345,56	
10.	Экономический эффект, руб.	Величина экономии тепловой энергии в стоимостном выражении, руб.	3 571 829	4 765 340	5 151 750	5 889 250	6 930 418
		Экономия от снижения себестоимости продукции производимой продукции, руб.	341 750	375 625	389 014	412 052	434 279
11.	Технологический эффект, руб.	714 812	728 525	770 335	811 219	836 420	
12.	Социальный эффект, руб.	255 890	280 369	289 550	292 720	304 285	
13.	Чистый денежный поток, руб.	-10 715 719	4 999 859	5 330 649	6 005 241	7 055 402	
14.	Коэффициент дисконтирования	0,87	0,76	0,66	0,57	0,50	
15.	Чистый дисконтированный денежный поток	-9 322 675,53	3 799 892,84	3 518 228,34	3 422 987,37	3 527 701,00	
16.	Чистый дисконтированный доход за 5 лет (NPV)					4 946 134,02	

По итогам проведения расчетов, результаты которых отражены в таблице 2, автором было установлено, что уже через пять лет после внедрения ИСЭ, при

соблюдении указанных объемов экономии тепловой энергии будет получен чистый дисконтированный доход величиной более чем в 4,9 млн. руб. При этом достижение устойчивых темпов энергосбережения в процессе дальнейшего функционирования ИСЭ позволит обеспечить дальнейший значимый прирост экономической эффективности предприятия в долгосрочной перспективе.