


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)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

МОСКВА – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель: доктор экономических наук, профессор  
**Голов Роман Сергеевич**

Официальные оппоненты: **Филатов Владимир Владимирович**  
доктор экономических наук, доцент, профессор  
кафедры Коммерции и сервиса ФГБОУ ВО  
«Российский государственный университет им.  
А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн.  
Искусство)»

**Ермолаев Кирилл Андреевич**  
кандидат экономических наук, доцент,  
доцент кафедры инноваций и инвестиций  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)  
федеральный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
экономический университет»

Защита состоится «19» марта 2024 года в 12 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.2.327.10 при ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, корпус 5, Зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и на сайте:

[https://mai.ru/events/defence/?ELEMENT\\_ID=176550](https://mai.ru/events/defence/?ELEMENT_ID=176550)

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
24.2.327.10, к.э.н., доцент



Пушкарева Мария  
Борисовна

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*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 эффективности 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 широкого спектра энергоэффективных и цифровых компетенций. Они обеспечивают как глубокое понимание теоретических основ построения системы, так и навыки применения практических методов, подходов и инструментов, используемых при ее формировании. В то же время, построение таких 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 с целью 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., Ермолаева К.А., 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., Вартанян А.А., Гилева Т.А., Голов Р.С., Данилочкина Н.Г., Ефимова Н.С., Истомина Е.А., Калачанов В.Д., Камолов С.Г., 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., Положенцева Ю.С., Путятин Л.М., Степнов И.М., Тарасов И.В., Ташенова Л.В., Филатов В.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, определяющие 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 экономического развития 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.** Основные положения диссертационного исследования прошли апробацию в АО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Федорова», АО «Центр Аддитивных технологий», АО «Научно-исследовательский институт «Полюс» имени М.Ф. Стельмаха».

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.

**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.

## 2. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

**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.**

Классификация энергоэффективных технологий является важным методическим инструментом при системном внедрении энергосберегающих мероприятий в промышленности, позволяя выбрать и систематизировать различные технологии в соответствии с основными классификационными признаками.

В рамках диссертационного исследования автором была разработана собственная классификация энергоэффективных технологий по шести классификационным признакам (табл. 1).

Таблица 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 технологией возобновляемых источников энергии	Технологии, базирующиеся на использовании возобновляемых источников энергии
		Технологии, ориентированные на использование не возобновляемых источников энергии

6.	Уровень затратности технологий	Малозатратные технологии
		Среднезатратные технологии
		Высокозатратные технологии

Рассмотрим более подробно отдельные виды технологий, представленных в таблице 1. Первым классификационным признаком является их отраслевая принадлежность, в соответствии с которой различают профильные отраслевые и межотраслевые (универсальные) технологии. Профильные технологии, как правило, ориентированы на повышение энергоэффективности предприятий определенных отраслей и учитывают специфику их оборудования и производственно-технологических процессов. В свою очередь, межотраслевые технологии могут применяться на предприятиях разных отраслей, что делает их более универсальными и в меньшей степени зависимыми от отраслевой специфики деятельности предприятия. С точки зрения масштаба внедрения различают технологии микроуровня, внедряющиеся на уровне участка, сборочной линии или локального комплекса оборудования, технологии мезоуровня, которые внедряются на уровне цехов и корпусов предприятия, а также технологии макроуровня, действие которых охватывает все предприятие.

Третьим классификационным признаком выступает тип инженерной системы для внедрения технологии. В соответствии с этим признаком, энергоэффективные технологии подразделяются на технологии для систем отопления, горячего и холодного водоснабжения, электроснабжения, вентиляции и кондиционирования. С точки зрения наличия инновационного потенциала они подразделяются на инновационные технологии и более традиционные технологии, не обладающие подобным потенциалом. К примеру, в качестве одной из инновационных энергоэффективных технологий можно назвать теплообменники, устанавливаемые в системах вентиляции и кондиционирования здания и выполняющие функцию рекуперации теплого или холодного воздуха.

Пятым классификационным является использование в рамках технологии возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в соответствии с которым различают технологии, базирующиеся на использовании ВИЭ и ориентированные на использование невозобновляемых источников энергии. В качестве технологий, использующих ВИЭ, в частности, можно назвать солнечные батареи, ветрогенераторные установки и др. В качестве шестого классификационного признака выступает уровень затратности технологий, в соответствии с которым они подразделяются на малозатратные, среднезатратные и высокозатратные технологии. К примеру, в число малозатратных технологий входят модернизация систем внутреннего освещения предприятия, установка отражающих экранов за радиаторами батарей и др. К среднезатратным технологиям, в числе прочих, могут быть отнесены технологии модернизации оборудования предприятия, его инженерных и энергетических систем. В свою очередь, высокозатратные технологии, как правило, связаны с реализацией комплексных программ энергосбережения.

В то же время, внедрение отдельных энергоэффективных технологий и энергосберегающих мероприятий локального масштаба не позволяет в полной мере решить задачу обеспечения существенного и долгосрочного повышения энергетической эффективности предприятия. Ее успешное решение, по мнению автора, возможно только на основе системного подхода к энергосбережению, обуславливая необходимость 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.* Как можно отметить из приведенного определения, данная система позволяет задействовать в этой работе не только широкий спектр энергоэффективного оборудования и технологий, но и цифровые технологии, интегрированные в рамках ИСЭ.

**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.

При разработке метода формирования ИСЭ автором была спроектирована архитектура системы, которая учитывает те актуальные цифровые технологии и автоматизированное оборудование, получившие активное развитие в условиях Четвертой промышленной революции и позволяющая существенно повысить уровень автоматизации процессов энергосбережения. Архитектура интегрированной системы энергосбережения представлена на схеме (рис. 1).

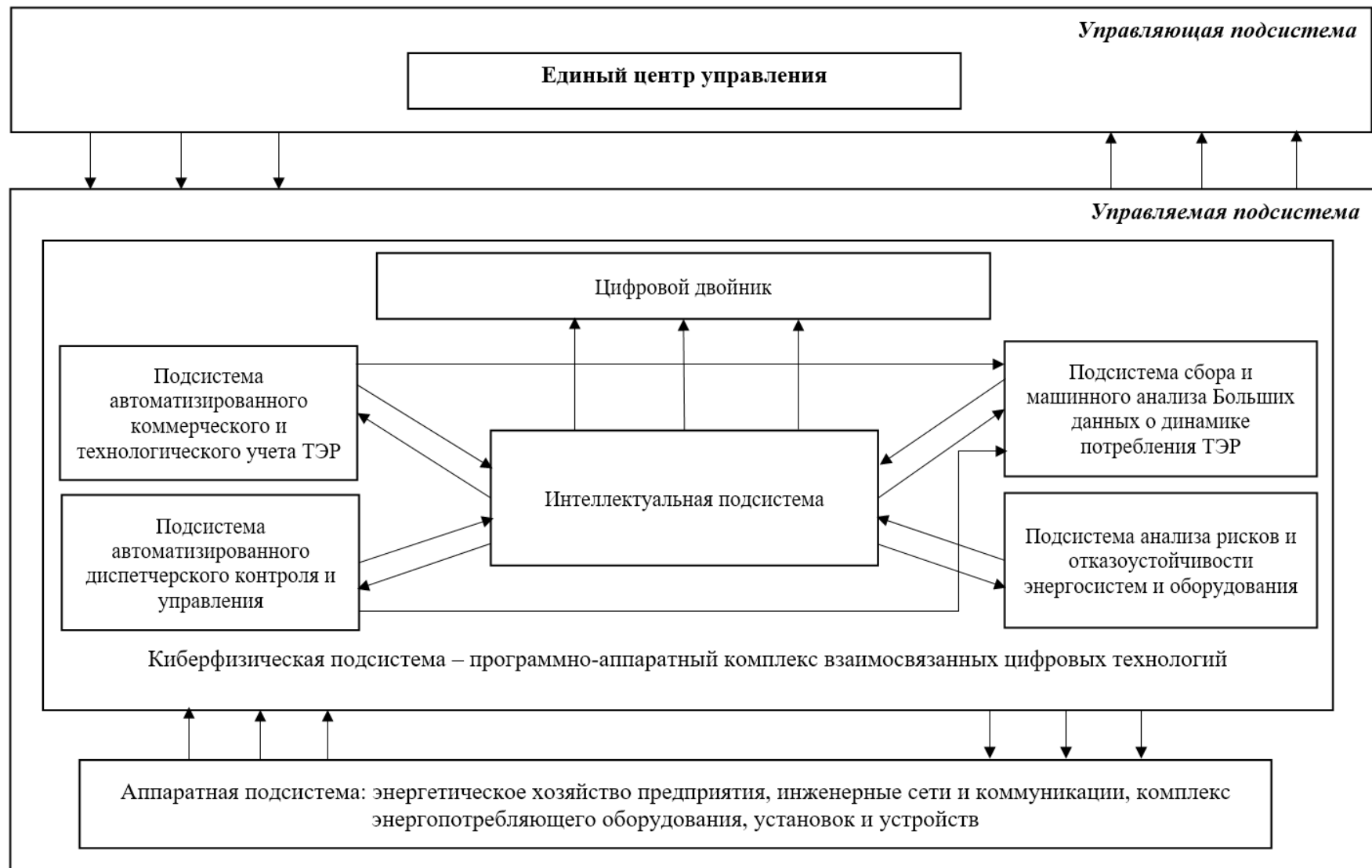


Рис. 1. Схема архитектуры интегрированной системы энергосбережения (источник: построено автором)

Рассмотрим спроектированную архитектуру интегрированной системы энергосбережения, представленную на рис. 1. С точки зрения иерархии, управляющей подсистемой ИСЭ является Единый центр управления (ЕЦУ), в работе которого участвуют главный энергетик, главный инженер, профильные специалисты предприятия, а также специалисты энергосервисной компании (ЭСКО), иными словами – представители той команды, которая осуществляла формирование данной системы.

В состав управляемой подсистемы входят две основные подсистемы. Первая – Киберфизическая подсистема, включающая в себя 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, в состав которой входят энергетическое хозяйство предприятия, инженерные сети и коммуникации, комплекс энергопотребляющего оборудования, установок и устройств.

В структуру Киберфизической подсистемы входят подсистема автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР, подсистема автоматизированного диспетчерского контроля и управления, подсистема сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР и подсистема анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования. Кроме того, в ее состав входит Интеллектуальная подсистема. Рассмотрим более подробно перечисленные подсистемы.

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, контроллеры сбора и передачи данных, 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.

В свою очередь, подсистема автоматизированного диспетчерского контроля и управления, относящаяся к классу SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных), нацелена на предоставление в распоряжение ответственных за энергосбережение специалистов предприятия наиболее эффективных технологий автоматизированного контроля и управления энергопотреблением. С одной стороны, она обеспечивает удаленный автоматизированный диспетчерский контроль над подключенным к ней оборудованием на основе данных, поступающих от датчиков и сенсоров, а, с другой – дистанционное управление этим оборудованием на основе различных исполнительных механизмов – клапанов, задвижек, вентилях и др.

Подсистема сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР в автоматическом режиме получает данные от двух рассмотренных выше подсистем и обеспечивает их машинный анализ. Целями проводимого анализа выступает получение развернутой информации о различных показателях энергопотребления и энергосбережения на предприятии, а также выявление тенденций и закономерностей (в том числе неявных), оказывающих влияние на его энергоэффективность.

Важную роль в рамках ИСЭ играет подсистема анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования, основной целью которой является автоматизированный анализ рисков (прежде всего, технологических), а также прогнозирование отказоустойчивости отдельных систем и оборудования предприятия. В основе ее функционирования лежит совокупность алгоритмов, применяющихся для оценки текущих режимов и показателей работы энергосистем и оборудования предприятия на основе анализа данных, поступающих от установленных на предприятии приборов учета ТЭР, сенсоров, датчиков и различных контроллеров. В процессе оценки она сопоставляет фактические результаты с нормативными значениями и показателями, определяя даже минимальные отклонения от установленных значений, оценивая при этом текущие и прогнозируя потенциальные риски, реализация которых способна нанести ущерб деятельности предприятия.

В центральной части схемы на рис. 1 располагается Интеллектуальная подсистема, представляющая собой основное интеллектуальное ядро ИСЭ, базирующееся на реализации совокупности алгоритмов искусственного интеллекта, разрабатываемых экспертами системы и настраиваемых с учетом специфики деятельности самого предприятия. Она консолидирует данные из рассмотренных выше подсистем, осуществляя их обработку, анализ и оценку. Высокий вычислительный потенциал данной подсистемы позволяет автоматизировать широкий спектр сложных интеллектуальных функций, выполнение которых способно занимать у персонала значительный объем времени, а также сопровождаться ошибками вследствие т.н. «человеческого фактора».

Важной функцией Интеллектуальной подсистемы выступает построение цифрового двойника, отраженного в верхней части схемы на рис. 1 и представляющего собой точную виртуальную энергетическую модель предприятия, отражающую все реализующиеся на нем энергетические процессы в режиме реального времени благодаря консолидации в рамках Интеллектуальной подсистемы данных, получаемых из четырех остальных подсистем.

Таким образом, спроектированные автором структура, состав задач и механизмы взаимодействия в ИСЭ являются одной из ключевых составляющих метода формирования интегрированной системы энергосбережения, который позволяет обеспечить системный подход к реализации энергосбережения, позволяя задействовать широкий спектр цифровых технологий, способствующих росту эффективности реализации энергосберегающей деятельности.

### **3. Развиты 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.**

Важным этапом разработки метода формирования ИСЭ является развитие методических подходов к оценке экономической эффективности ее внедрения с целью уточнения методики оценки экономической эффективности внедрения такой системы для количественного учета факторов и источников образования эффектов от реализации. 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 локальных эффектов 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 на предприятии (как капитальные затраты) не всегда может быть сопоставлена с соответствующими результатами. В частности, эксплуатация высокотехнологичного оборудования при его низкой загрузке может принести существенно большие издержки, чем эксплуатация при той же загрузке менее энергоэффективного оборудования. Данный факт 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.

Еще одним важным фактором является то, 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 решаемой задачи автором в состав получаемых эффектов, имеющих экономическую оценку, выделяются следующие:

- экономический эффект в части получаемой экономии в экономическом разрезе;
- технологический эффект в части получаемой экономии в технологическом разрезе;
- социальный эффект в части получаемой экономии в социальной сфере;
- издержки на создание и эксплуатацию всей системы.

Таблица 2

Показатели, используемые в рамках методических подходов к оценке экономической эффективности внедрения ИСЭ

№ п/п	Показатель	Формула расчета	Элементы формулы
1.	Экономический эффект в части получаемой экономии в экономическом разрезе	$\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i} = \mathcal{E}_{\text{ЭН}i} + \mathcal{E}_{\text{СЕБ}i}$	<p><math>\mathcal{E}_{\text{ЭН}i}</math> – экономия от сокращения расходов на ТЭР за счет снижения энергоемкости производственных процессов благодаря внедрению ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>\mathcal{E}_{\text{СЕБ}i}</math> – экономия от снижения себестоимости производимой продукции благодаря внедрению ИСЭ в <math>i</math>-ом году, неучтенная в первом показателе, прежде всего учитывающая косвенные и сопутствующие экономии, в том числе возникающими за счет особенностей формирования калькуляции на предприятии</p>
2.	Технологический эффект в части получаемой экономии в технологическом разрезе	$\mathcal{E}_{\text{ТЭФ}i} = \mathcal{E}_{\text{КПТЭР}i} + \mathcal{E}_{\text{СЭП}i} + \mathcal{E}_{\text{ПРО}i} + \mathcal{E}_{\text{СБД}i} + \mathcal{E}_{\text{УР}i}$	<p>где <math>\mathcal{E}_{\text{КПТЭР}i}</math> – экономия от сокращения издержек и убытков, связанных с нарушениями со стороны компании-поставщика количественных и качественных параметров поставляемых ТЭР в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>\mathcal{E}_{\text{СЭП}i}</math> – экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с аварийными ситуациями, отказом оборудования и его дальнейшим ремонтом в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>\mathcal{E}_{\text{ПРО}i}</math> – экономия от сокращения экономических потерь и убытков, связанных с неплановым простоем производственного оборудования в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>\mathcal{E}_{\text{СБД}i}</math> – экономия от сокращения расходов на сбор и анализ необходимых данных о функционировании энергосистем и оборудования предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>\mathcal{E}_{\text{УР}i}</math> – экономия от сокращения экономических</p>

			потерь и убытков, связанных с негативным влиянием на управление энергосистемами предприятия и качество вырабатываемых управленческих решений т.н. «человеческого фактора» в <i>i</i> -ом году.
3.	Социальный эффект в части получаемой экономии в социальной сфере	$Э_{соцi} = Э_{вурi} + Э_{сурi} + Э_{учзi} + Э_{фвзi} + Э_{ппрi}$	<p><math>Э_{вурi}</math> – 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>i</i>-ом году;</p> <p><math>Э_{сурi}</math> – 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>i</i>-ом году;</p> <p><math>Э_{учзi}</math> – 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>i</i>-ом году;</p> <p><math>Э_{фвзi}</math> – экономия от сокращения затрат на оплату лечения и реабилитации специалистам, получившим травмы различной тяжести, из средств фонда взаимопомощи предприятия в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Э_{ппрi}</math> – 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>i</i>-ом году.</p>

4.	Затраты на подготовительные мероприятия	$Z_{\text{ПМ}i} = Z_{\text{РАСЧ}i} + Z_{\text{ОБ}i} + Z_{\text{ЭНМ}i} + Z_{\text{ОЭФ}i} + Z_{\text{АУД}i} + Z_{\text{ОГЦ}i} + Z_{\text{ТЭО}i}$	<p><math>Z_{\text{РАСЧ}i}</math> – затраты на закупку программного обеспечения для проведения энергоаудита в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ОБ}i}</math> – затраты на закупку специализированного оборудования для проведения энергоаудита на предприятии перед внедрением ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ЭНМ}i}</math> – затраты на закупку программного обеспечения для проведения энергомоделирования и разработки комплексной виртуальной модели предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ОЭФ}i}</math> – затраты на приобретение специализированного программного обеспечения для оценки энергетической эффективности предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{АУД}i}</math> – затраты на организацию и проведение энергетического аудита предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ОГЦ}i}</math> – затраты на проведение оценки готовности энергетических систем и инфраструктуры предприятия к проведению их цифровой трансформации в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ТЭО}i}</math> – затраты на разработку технико-экономического обоснования в <math>i</math>-ом году.</p>
5.	Капитальные затраты	$Z_{\text{КАП}i} = Z_{\text{ПР}i} + Z_{\text{МПО}i} + Z_{\text{ОИНФ}i} + Z_{\text{ЭНОБ}i} + Z_{\text{АВТ}i} + Z_{\text{МИК}i} + Z_{\text{ПО}i}$	<p><math>Z_{\text{ПР}i}</math> – затраты на разработку структурной модели ИСЭ, учитывающей масштаб, техническую и отраслевую специфику предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{МПО}i}</math> – затраты на модернизацию энергоемкого оборудования предприятия в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ОИНФ}i}</math> – затраты на постройку инфраструктурных объектов, требуемых для реализации ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{ЭНОБ}i}</math> – затраты на закупку и установку энергосберегающего оборудования, входящего в структуру ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{\text{АВТ}i}</math> – затраты на закупку и установку оборудования для автоматизации энергосбережения в рамках создания ИСЭ в <math>i</math>-ом</p>

			<p>году;</p> <p><math>Z_{микi}</math> – затраты на модернизацию инженерных коммуникаций предприятия, обладающих высоким уровнем технического износа в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{поi}</math> – затраты на приобретение и внедрение ПО для технологических подсистем ИСЭ в <math>i</math>-ом году.</p>
б.	Эксплуатационные затраты	$Z_{ЭКСПЛi} = Z_{ТЭРi} + Z_{ПБСi} + Z_{ТОЭНi} + Z_{ТОЦБi} + Z_{АЭНi} + Z_{АЦБi} + Z_{ЗПРi} + Z_{ЗПИТРi} + Z_{ЗППРОГi} + Z_{ЗПОБПi} + Z_{ЗПЭСКОi} + Z_{НАЛi} + Z_{ПНРi}$	<p><math>Z_{ТЭРi}</math> – затраты на оплату ТЭР, требуемых для обеспечения функционирования ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ПБСi}</math> – 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 <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ТОЭНi}</math> – затраты на оплату мероприятий по обслуживанию и ремонту входящего в состав ИСЭ энергосберегающего оборудования в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ТОЦБi}</math> – затраты на оплату мероприятий по обслуживанию и ремонту функционирующего в рамках цифровой инфраструктуры ИСЭ оборудования в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{АЭНi}</math> – затраты на амортизацию действующего в составе ИСЭ энергосберегающего оборудования в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{АЦБi}</math> – затраты на амортизацию действующего в рамках цифровой инфраструктуры ИСЭ автоматизированного оборудования в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ЗПРi}</math> – затраты на выплату заработной платы руководящему составу ИСЭ в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ЗПИТРi}</math> – затраты на выплату заработной платы персоналу, внедряющему и эксплуатирующему оборудование, входящее в состав ИСЭ, в <math>i</math>-ом году;</p> <p><math>Z_{ЗППРОГi}</math> – затраты на выплату заработной платы</p>

			<p>программистам, обеспечивающим внедрение и поддержку ПО, используемого в рамках ИСЭ в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{зпобпi}</math> – затраты на выплату заработной платы вспомогательному персоналу, работающему в рамках ИСЭ в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{зпэскоi}</math> – затраты на выплату заработной платы сотрудникам ЭСКО, принимающим непосредственное участие в работе по построению и дальнейшей поддержке ИСЭ в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{налi}</math> – затраты на выплату обязательных налоговых платежей в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{пнрi}</math> – затраты на выплату прочих накладных расходов, возникающих при функционировании ИСЭ в <i>i</i>-ом году.</p>
7.	Затраты на обучение персонала	$Z_{обi} = Z_{орукi} + Z_{олрi} + Z_{орсi} + Z_{опсi} + Z_{цпкi} + Z_{пквi}$	<p><math>Z_{орукi}</math> – затраты на обучение необходимым компетенциям высшего руководства ИСЭ в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{олрi}</math> – затраты на обучение линейных руководителей, управляющих отдельными подсистемами ИСЭ в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{орсi}</math> – затраты на обучение рядовых сотрудников ИСЭ различного профиля (экономисты, инженеры, программисты, обслуживающий персонал и т.д.) в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{опсi}</math> – затраты на обучение основам энергоэффективного поведения на рабочих местах различных категорий сотрудников предприятия, не относящихся к штату специалистов ИСЭ, в <i>i</i>-ом году;</p> <p><math>Z_{цпкi}</math> – затраты на оплату программ целевой подготовки, реализуемых сотрудничающими с предприятием ВУЗами, для подготовки специалистов для ИСЭ, обладающих узкоспециализированными компетенциями в <i>i</i>-ом</p>

			<p>году;  <math>Z_{пквi}</math> – затраты на оплату программ повышения квалификации действующих сотрудников ИСЭ различного профиля в <math>i</math>-ом году</p>
8.	<p>Чистый дисконтированный доход</p>	$NPV_{ИСЭ} = \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i} + \mathcal{E}_{\text{ТЭФ}i} + \mathcal{E}_{\text{СОЦ}i}}{(1+r)^i} - \sum_{t=1}^n \frac{\mathcal{Z}_{\text{ПМ}i} + \mathcal{Z}_{\text{КАП}i} + \mathcal{Z}_{\text{ЭКСПЛ}i} + \mathcal{Z}_{\text{ОБ}i}}{(1+r)^i}$	<p><math>n</math> – общее количество временных периодов функционирования интегрированной системы энергосбережения;  <math>i</math> – один временной период функционирования ИСЭ;  <math>\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}i}</math> – экономия, образующая экономический эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{E}_{\text{ТЭФ}i}</math> – экономия, образующая технологический эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{E}_{\text{СОЦ}i}</math> – экономия, образующая социальный эффект от реализации проекта по формированию ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{Z}_{\text{ПМ}i}</math> – затраты на осуществление комплекса подготовительных мероприятий, предшествующих построению ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{Z}_{\text{КАП}i}</math> – капитальные затраты на подготовку предприятия к внедрению ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{Z}_{\text{ЭКСПЛ}i}</math> – эксплуатационные затраты, возникающие при функционировании ИСЭ в <math>i</math>-ом году;  <math>\mathcal{Z}_{\text{ОБ}i}</math> – затраты на обучение персонала, взаимодействующего с ИСЭ, основам работы с ее оборудованием и принципам энергоэффективного рабочего поведения в <math>i</math>-ом году;  <math>r</math> – ставка дисконтирования, рассчитываемая на основе экспертных оценок</p>

**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.**

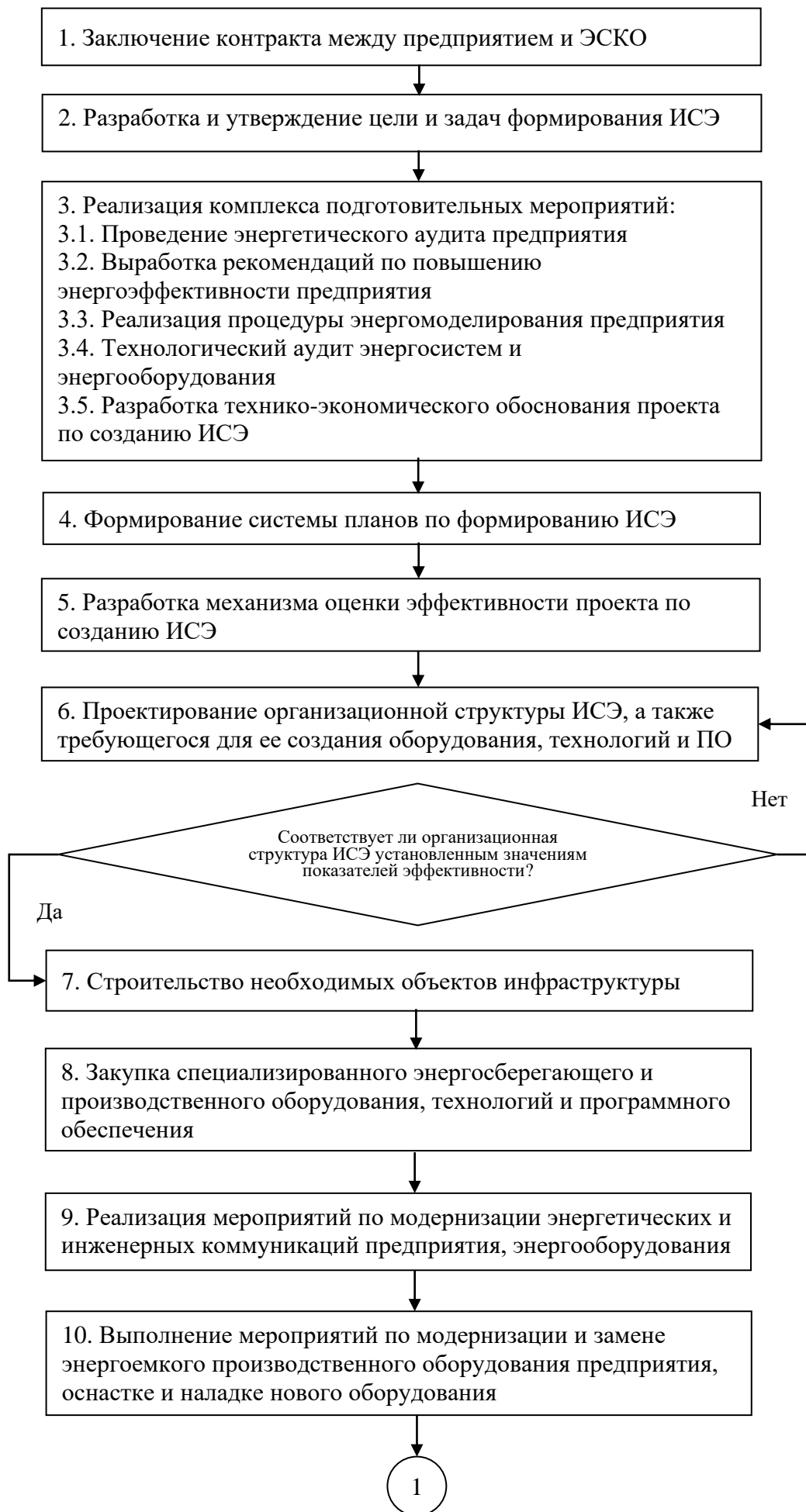
Управление энергоэффективностью на высокотехнологичном промышленном предприятии, осуществляемое посредством формирования интегрированной системы энергосбережения, представляет собой многоэтапный процесс. Применение при его реализации механизма энергетического сервиса позволяет обеспечить ряд преимуществ. Одно из важных преимуществ использования данного механизма заключается в том, что специалисты энергосервисной компании обладают опытом и наличием специализированных энергоэффективных компетенций, способствующих достижению высоких результатов в области организации управления энергоэффективностью.

Еще одним преимуществом для предприятия является 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.

Для успешной организации управления энергоэффективностью разработчикам необходимо систематизировать все этапы построения ИСЭ на основе единого алгоритма, учитывающего как организационно-экономические, так и технические мероприятия. Данный алгоритм определяет в своей структуре отдельные этапы ее построения, последовательность их реализации, а также инструменты для предварительной оценки эффективности ИСЭ с учетом экономических приоритетов предприятия.

На основе проведенного исследования в рамках разработки метода формирования ИСЭ автором предложен алгоритм управления энергоэффективностью путем построения интегрированной системы энергосбережения на высокотехнологичном предприятии, графическая схема которого представлена ниже на рис. 2.





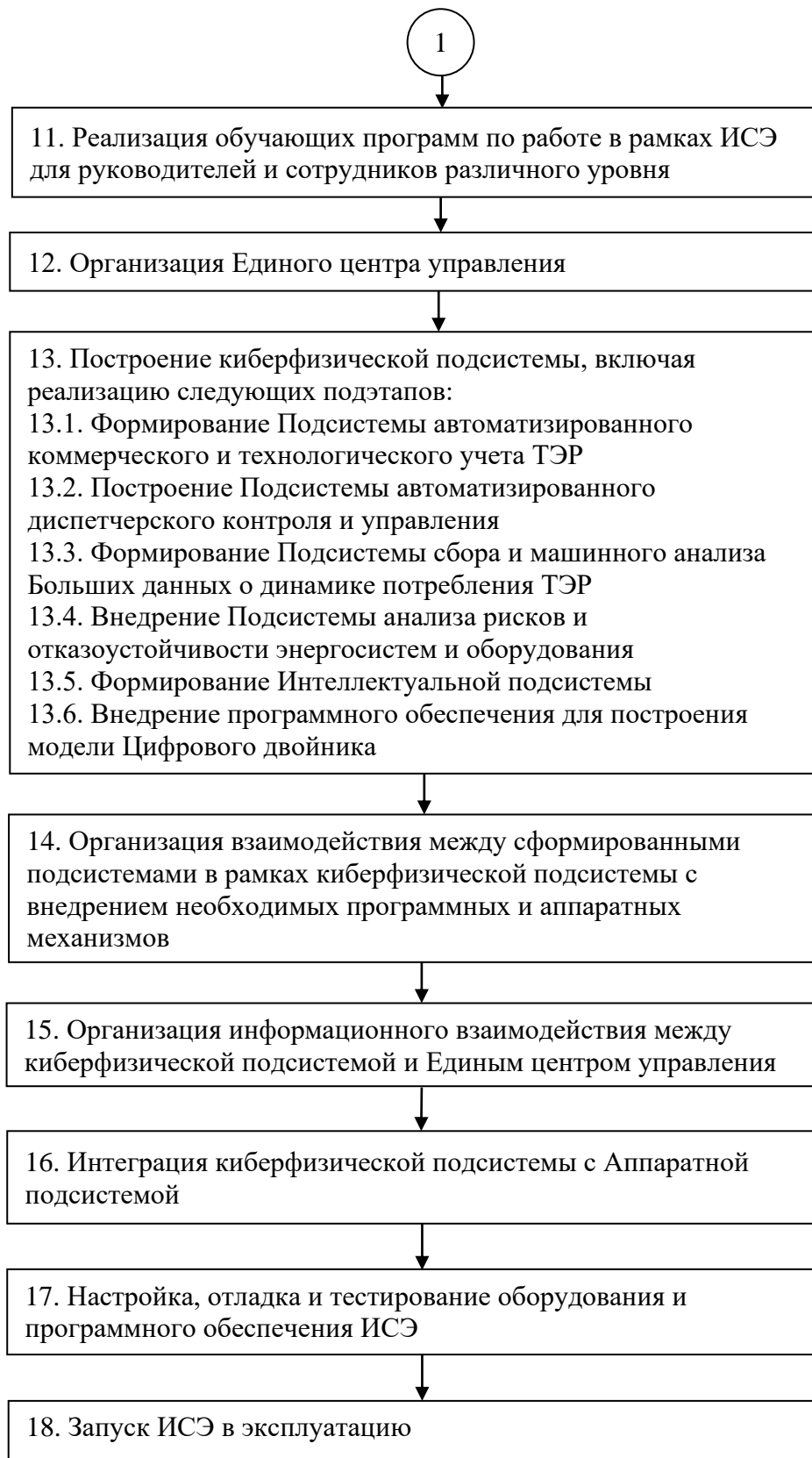


Рис. 2. Алгоритм управления энергоэффективностью предприятия на основе формирования интегрированной системы энергосбережения (источник: построено автором)

Рассмотрим отдельные этапы алгоритма, представленного на рис. 2. На первом этапе руководством промышленного предприятия заключается договор с ЭСКО, выступающей в качестве ключевого технологического партнера в рамках реализации проекта по формированию ИСЭ. Второй этап посвящается разработке и утверждению цели и задач формирования системы. На третьем этапе алгоритма специалистами ЭСКО во взаимодействии с сотрудниками предприятия реализуется комплекс подготовительных мероприятий, который включает в себя проведение энергоаудита предприятия, выработку по его результатам рекомендаций по повышению энергоэффективности, проведение энергомоделирования, технологический аудит его энергосистем и энергооборудования, а также разработку технико-экономического обоснования проекта по созданию ИСЭ.

Четвертый этап включает в себя формирование системы планов по созданию ИСЭ, на основе которой разрабатывается стратегия комплексного повышения энергоэффективности предприятия. В рамках стратегии определяются отдельные этапы формирования ИСЭ, а также детализируются связанные с ними мероприятия. На пятом этапе осуществляется разработка механизма оценки эффективности проекта по созданию ИСЭ.

На шестом этапе проводится проектирование организационной структуры ИСЭ, включающее составление перечня требуемого для ее формирования оборудования, технологий и программного обеспечения. При разработке ее структуры определяются функциональные связи между ее подсистемами, механизм взаимодействия между ними, проводится выбор конкретных пакетов программного обеспечения и аппаратного оборудования и т.д. По завершении данных мероприятий организаторами проводится оценка экономической эффективности проекта по ее реализации на основе разработанного на пятом этапе механизма оценки эффективности. В случае получения положительных результатов разработчики переходят к следующему этапу алгоритма, а при получении отрицательных результатов они возвращаются к шестому этапу и корректируют ранее спроектированную организационную структуру ИСЭ.

В рамках седьмого этапа осуществляется строительство необходимых объектов инфраструктуры, требуемых для реализации комплексов функций, связанных с деятельностью ИСЭ, в том числе Центра обработки данных, центра диспетчерского контроля и управления, объектов для размещения сетевого оборудования, используемого при развертывании Промышленного интернета вещей. На восьмом этапе проводится закупка специализированного энергосберегающего и производственного оборудования, технологий и программного обеспечения, применяемых при формировании ИСЭ.

Реализация девятого этапа алгоритма предполагает проведение мероприятий по модернизации энергетических и инженерных коммуникаций предприятия, а также функционирующего на нем энергооборудования с учетом данных, полученных по итогам проведения на третьем этапе комплекса подготовительных мероприятий. На десятом этапе осуществляется комплекс мероприятий по модернизации и замене энергоемкого производственного оборудования, оснастке и наладке нового оборудования.

Одиннадцатый этап предполагает проведение обучающих программ по работе в рамках ИСЭ для руководителей и сотрудников различного уровня, на основе прохождения которых они усваивают необходимые для работы в структуре системы компетенции. На двенадцатом этапе проводится организация Единого центра управления, включающая в себя подготовку должностных инструкций, техническую подготовку выделенных для размещения ЕЦУ помещений, установку и наладку компьютерной техники и программного обеспечения, подключение оборудования центра к проводным и беспроводным сетям связи и др.

На тринадцатом этапе осуществляется построение киберфизической подсистемы, включающее в себя формирование подсистемы автоматизированного коммерческого и технологического учета ТЭР, подсистемы автоматизированного диспетчерского контроля и управления, подсистемы сбора и машинного анализа Больших данных о динамике потребления ТЭР, подсистемы анализа рисков и отказоустойчивости энергосистем и оборудования, Интеллектуальной подсистемы, а также внедрение программного обеспечения для построения Цифрового двойника.

Четырнадцатый этап предполагает организацию взаимодействия между перечисленными подсистемами в рамках киберфизической подсистемы на основе программных и аппаратных механизмов. На пятнадцатом этапе алгоритма осуществляется организация информационного взаимодействия между киберфизической подсистемой и ЕЦУ.

Реализация шестнадцатого этапа направлена на интеграцию программного обеспечения подсистем, входящих в состав киберфизической подсистемы, с Аппаратной подсистемой предприятия, в состав которой входят различные типы энергетического и производственного оборудования. Семнадцатый этап посвящается реализации мероприятий по настройке, отладке и тестированию оборудования и программного обеспечения ИСЭ для определения ее готовности к функционированию. Восемнадцатый этап, являющийся заключительным, предполагает запуск ИСЭ в эксплуатацию по завершении необходимых подготовительных процедур.

Рассмотренный выше алгоритм является неотъемлемой частью метода формирования ИСЭ и отражает последовательность взаимосвязанных мероприятий, конечной целью которых выступает построение целостной системы на основе внедрения цифровых и аппаратных технологий энергосбережения.

Таким образом, разработанные в ходе выполнения диссертационного исследования научно-обоснованные решения, включая классификацию энергоэффективных технологий в промышленности, структуру, состав задач и механизмы взаимодействия в ИСЭ, методические подходы к оценке экономической эффективности внедрения ИСЭ и алгоритм управления энергоэффективностью на высокотехнологичном предприятии отражают структуру, сущность и содержание разработанного автором метода формирования ИСЭ.

### 3. СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:*

1. Кошелев А.С. Анализ современного состояния энергосбережения в сфере промышленности / Кошелев А.С. // Экономика и управление в машиностроении. – 2019. – № 4. – С. 36-38.

2. Кошелев А.С. Состояние и перспективы развития энергосбережения в России / Кошелев А.С. // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2019. – Т. 218. – № 4. – С. 398-405.

3. Кошелев А.С. Перспективы, возможности и проблемы создания энергоэффективных "умных городов" в масштабах России и мира / Кошелев А.С., Пушкарев М.Д., Ляпустина Н.Г., Козловцев С.А., Меркулов М.Ю. // Экономика и управление в машиностроении. – 2020. – № 6. – С. 42-46.

4. Кошелев А.С. Анализ мирового потребления энергоресурсов / Кошелев А.С. // Экономика и управление в машиностроении. – 2020. – № 4. – С. 43-47.

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

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

7. Кошелев А.С. Формирование системы индикаторов энергоэффективности высокотехнологичного промышленного предприятия / Кошелев А.С. // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 3. – С. 29-34.

8. Кошелев А.С. Основные факторы и источники получения эффекта при реализации системы управления энергетической эффективностью / Кошелев А.С. // Экономика и управление в машиностроении. – 2021. – № 4. – С. 52-56.

9. Кошелев А.С. Анализ состояния энергоемкости российской экономики в условиях мирового кризиса / Кошелев А.С. // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2022. – Т. 238, № 6. – С. 346-360.

*Публикации в научных изданиях, входящих в мировую базу данных научного цитирования Scopus:*

10. Koshelev A.S. Prospects for Augmented Reality Technology and the Digital Transformation of High-Tech Production / Golov R.S., Prokof'ev D.A., Koshelev A.S. // Russian Engineering Research. 2023. V. 43. Pp. 1027-1029. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23080105>

11. Koshelev A.S. Classification of Collaborative Industrial Robots in the Digital Transformation of High-Tech Enterprises / Golov R.S., Prokof'ev D.A., Koshelev A.S. // Russian Engineering Research. 2023. V. 43. Pp. 1030-1032. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23080117>

*Публикации в других научных изданиях:*

12. Кошелев А.С. Построение системы энергоменеджмента на предприятиях аэрокосмического профиля / Кошелев А.С. // 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Москва, 20-24 ноября 2017 г. Сборник тезисов докладов. М.: Типография «Люксор» . – 2017. – С. 599-601.

13. Кошелев А.С. Основы управления энергоэффективностью аэрокосмических предприятий / Кошелев А.С. // XLIV международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения – 2018»: Москва-Барнаул-Ахтубинск, 17-20 апреля 2018 г. Сборник тезисов докладов. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) . – 2018. Том 4. – С. 40-41.

14. Кошелев А.С. Теоретические основы энергоэффективного развития высокотехнологичной промышленности в условиях цифровой экономики / Кошелев А.С. // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Москва, 23-27 ноября 2020 г. Сборник тезисов докладов. М.: Издательство «Перо» . – 2020. – С. 876-877.

15. Кошелев А.С. Проектирование организационной структуры системы управления энергетической эффективностью на основе технологий цифровой трансформации энергосбережения / Кошелев А.С. // 20-я Международная конференции «Авиация и космонавтика»: Москва, 22-26 ноября 2021 г. Сборник тезисов докладов. М.: Издательство «Перо». – 2021. – С. 624-625.

16. Кошелев А.С. Система управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли / Кошелев А.С. // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10. – № 1-2. – С. 143-146.