

САДУЛЛАЕВ Н.Н

ИНФОРМАЦИОННО – АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



САДУЛЛАЕВ Н.Н.

**ИНФОРМАЦИОННО – АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Под редакцией проф. К.Р.Аллаева

«Ф А Н» - 2012

Рецензенты: д.т.н., проф. Хашимов Ф.А., заведующей лаборатории «Промышленная энергетика» института энергетики и автоматизации АН Руз.

к.т.н. Рахматов Д.А., главный энергетик Бухарского ОАО «Нефтегазстройремонт»

В монографии изложены методы исследования энергоэффективности промышленных предприятий и принципы построения информационно – аналитической системы для исследования возможности экономии электроэнергии в энергохозяйстве предприятия. Разработанная информационно – аналитическая система может быть реализована как инструмент внутреннего и внешнего энергоаудита, энергетической экспертизы, а также как элемент автоматизированной информационно – измерительной системы коммерческого учета энергии.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
1.1. Экономические и технические предпосылки создания информационно – аналитических систем по энергоэффективности.....	14
1.2. Информационно – аналитические системы по энергоэффективности в промышленности.....	22
1.3. Методы исследования возможности экономии электроэнергии в промышленности.....	31
1.4. Информационная составляющая автоматизированной информационно – измерительной системы коммерческого учета электроэнергии	40
1.5. Методы оценки технико–экономической эффективности энергосберегающих мероприятий в промышленности.....	50
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
2.1. Обоснование структуры математической модели системы электрообеспечения промышленного предприятия.....	63
2.2. Математическое описание системы внутрицехового электрообеспечения промышленного предприятия	70
2.3. Математическое описание системы внутризаводского электрообеспечения.....	75
2.4. Обобщенная модель системы электрообеспечения промышленного предприятия	82
2.5. Математическая модель энергобаланса промышленного предприятия .	85

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1. Принцип построения рациональной системы электроснабжения промышленного предприятия.....	89
3.2. Определение оптимальных параметров отдельного элемента схемы электроснабжения.....	96
3.3. Определение оптимальных параметров схемы отдельной ступени системы электроснабжения промышленного предприятия.....	107
3.4 Система автоматизированного проектирования внутрицехового электроснабжения.....	113
3.5. Система автоматизированного проектирования внутризаводского электроснабжения.....	120

ГЛАВА 4. ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

4.1. Проблемы нормативного и методического обеспечения энергосберегающих мероприятий в промышленности.....	128
4.2. Коэффициент эффективности силовой части СЭС промышленного предприятия.....	134
4.3. Обобщенный коэффициент эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий.....	141
4.4.Обобщенный коэффициент эффективности электрической части производства.....	152

ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННО – АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1. Принцип построения и структура информационно – аналитической системы по энергоэффективности промышленных предприятий.....	158
5.2. Подсистема аналитической обработки по энергоэффективности промышленных предприятий.....	164
5.3. Возможные области применения информационно – аналитической системы по энергоэффективности в промышленных предприятиях.....	167
5.4. Перспективы развитие информационно-аналитической системы по энергоэффективности в промышленности.....	184
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	189
ЛИТЕРАТУРА.....	191

ЭКСПЛИКАЦИЯ СИМВОЛОВ

АД – асинхронный двигатель.

АИАС – автоматизированная информационно – аналитическая система.

АСУП – автоматизированная система управления промышленными предприятиями.

АСУЭ – автоматизированная система управления энергоснабжением.

АСКУЭ – автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии.

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно - измерительная система коммерческого учета электроэнергии.

ВЭА – вспомогательный энергопотребляющий агрегат.

ВВП – внутренний валовой продукт.

ВЭП – виброэлектропривод.

ВПН – вспомогательные производственные нужды.

ГАЭ – государственное агентство по энергосбережению.

ГПП – главная понизительная подстанция.

ИАС – информационно – аналитическая система.

ККУ – конденсаторное компенсирующее устройство.

КРМ – компенсация реактивной мощности.

ЛЭП – линия электропередачи.

ПП – промышленное предприятие.

ПСИО – подсистема информационного обеспечения.

ПСАО – подсистема аналитической обработки.

ПСВИ – подсистема выходной информации.

САБД – справочно-аналитическая база данных

САПР – система автоматизированного проектирования.

СД – синхронный двигатель.

СН – собственные нужды.

СЭС – система электроснабжения.

ТП – трансформаторная подстанция.
ТЭО – технологическое электрооборудование.
ТЭР – теплоэнергетические ресурсы.
ТН – технологические нужды.
ЭС – электроснабжение.
ЭСМ – энергосберегающие мероприятия
ЭП – электроприёмник.
ЭЭО – энергетическое электрооборудование.
ХН – хозяйственные нужды.
VBA – visual basic application.
 e – коэффициент эффективности капиталовложений, $1/\text{год}$.
 K – капитальные вложения, *млн. сум*.
 Z – годовые приведенные затраты, *млн. сум/год*.
 ΔP – потери активной мощности, *кВт*.
 ΔW – потери электроэнергии, *кВт·час*.
 W – расход электроэнергии, *кВт·час*.
 $P_{\text{эк}}$ – экономия активной мощности, *кВт*
 $W_{\text{эк}}$ – экономия электроэнергии, *кВт·час*.
 P – экономический эффект (прибыль), *тыс. сум*.
 V – объем выпускаемой продукции предприятия, *млн. сум/год*.
 γ – удельный расход электроэнергии на единицу продукции, *кВт·час/ед.изм*
СДЗ – суммарные дисконтированные затраты.
ИД – индекс доходности инвестиций (коэффициент эффективности проекта),
ЧДД – чистый дисконтированный доход.
ВНД – внутренняя норма дохода.
 T_0 – динамический срок окупаемости капиталовложений.
 $T_0^{\text{ст}}$ – статический срок окупаемости капиталовложений.
 Π_t – суммарные выгоды (прибыль) проекта.
 E_n – ставка дисконта.

ВВЕДЕНИЕ.

Наиболее эффективным путем развития промышленности является переход на энергоэффективное производство с модернизацией энергетического и технологического оборудования [1,2,5]. Экономическая эффективность инвестиций в энергосберегающие мероприятия находится в прямой зависимости от стоимости энергии, т.е., чем выше стоимость энергии, тем быстрее окупаются технические решения, позволяющие снижать энергопотребление в промышленности [5]. С резким удорожанием энергоресурсов в республике и мире возрастает актуальность и эффективность энергосбережения во всех отраслях экономики. Поэтому одним из основных приоритетных направлений нашей экономики является «...реализация мер по модернизации электроэнергетики, сокращению энергоёмкости и внедрению эффективной системы энергосбережения. Дальнейшее повышение конкурентоспособности нашей экономики, рост благосостояния населения во многом зависят от того, насколько бережно, экономно мы научимся использовать имеющиеся ресурсы и в первую очередь электро - и энергоресурсы» [1].

Развитие экономики Узбекистана невозможно без бережного и экономного использования имеющихся энергетических и сырьевых ресурсов. Это важнейшая на сегодня сфера деятельности, ресурс повышения конкурентоспособности производства, способ интеграции экономики в международный рынок [5]. «Как показывают расчеты, реализация указанных проектов позволит за счет внедрения инновационных и энергосберегающих технологий, освоению новых видов востребованных товаров на мировых рынках обеспечить производство дополнительной продукции в объеме 10,4 млрд. ежегодно, рост годового экспорта – на 6,5 млрд. долларов, существенно поднять объемы ВВП» [1]. Модернизация электроэнергетической системы способствует выполнению задач энергосбережения, созданию оптимальных схем передачи и распределения

электрической энергии, разгрузке линий электропередач и улучшению режимов работы оборудования станций.

Развитие электроэнергетики идет по пути усовершенствования технических средств, моделей и алгоритмов управления режимами электроэнергетической системы (ЭСС) и ее объектов, а также мониторинга их состояния. Информационная обеспеченность является важным и необходимым условием повышения эффективности функционирования электроэнергетики, нижними звеньями которой являются объекты в виде систем электроснабжения предприятий.

Эффективное управление объектами электроэнергетики на базе современных информационных технологий требует изучения и обработки информации об условиях их функционирования. Создание информационно – аналитической системы по вопросам эффективности использования электроэнергии позволяет получить научно – обоснованное решение для повышения эффективности управления.

Внедряемые АСКУЭ и далее АИИС КУЭ должны быть снабжены вышеперечисленной информацией, полученной мониторингом энергоэффективности объектов энергосистем. Поэтому изучение и аналитическая обработка больших объемов информации о них становятся настоятельной необходимостью, что подтверждает актуальность работы.

Наибольший эффект от энергосберегающих мер достигается координацией действий всех сторон, участвующих в области энергосбережения. В работе [5, 134] предложена обобщенная модель системы управления энергосбережением и энергоёмкостью ВВП. Основным органом ГАЭ является аналитический координационный центр по энергосбережению, который осуществляет анализ и разработку научно – методических документов по энергосбережению. Самым нижним звеном в иерархической структуре ГАЭ являются промышленные предприятия. Таким образом, создается замкнутая саморазвивающаяся система управления

энергосбережением и энергоэффективностью предприятий, отраслей и ВВП. Создание моделей электроэнергетических объектов, позволяет более эффективно исследовать возможности экономии электроэнергии, ускоряет решение этой задачи.

Удельный расход электроэнергии на единицу продукции в промышленности Узбекистана несколько раз превышает аналогичные показатели развитых стран Европы, США и Японии [5,6,35,82]. Это указывает на наличие больших возможностей по экономии электроэнергии в промышленности [2,14,41,99,133]. С удорожанием энергоресурсов в мире, а также с изменением условий функционирования предприятий в последнее время изменяются критерии, по которым оценивается эффективность системы электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий [51,57,84,112,112,124]. Оптимальная схема электроснабжения, предусмотренная проектом предприятия, на сегодняшний день становится не эффективной. В настоящее время в Республику Узбекистан внедряются современная импортная техника и технологии, которые необходимо обеспечивать электроэнергией согласно требованиям европейских стандартов. В противном случае эта техника не может обеспечить ожидаемого качества и производительности [5,6,51,78]. Современные технологические установки имеют активное обратное влияние на электрическую сеть, и при этом предъявляют жесткие требования к качеству электроэнергии и надежности СЭС. Эти обстоятельства полагают реконструкцию предприятий с учетом современных требований, в частности, по качеству и эффективности использования электроэнергии, автоматизации потребления, учета и т. д [1,5,35,51,78,82,84]. Это, в свою очередь, требует усовершенствования методики определения эффективности СЭС с учетом современных требований.

Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 августа 2006 года №164 утверждены «Правила проведения энергетических

обследований и экспертиз потребителей топливно–энергетических ресурсов» [75]. Успешное внедрение этого постановления зависит от заинтересованности предприятий, от внедрения данных энергетического паспорта на производстве. Для этого данные энергетического паспорта должны быть полезными при разработке энергосберегающих мероприятий на предприятии. При этом составление энергетического паспорта требует проведения комплексного исследования СЭС предприятия, с привлечением высококвалифицированных специалистов со значительными трудовыми, материальными и временными затратами [11,12,75].

Для успешного проведения энергетических обследований (энергоаудита) предлагается создание энергетического паспорта предприятия в электронной форме (базы данных) [12,94,96]. Для более детального исследования энергохозяйства, а также мониторинга энергопотребления, данные энергетического паспорта включают в себя все показатели электрооборудования предприятия. Периодическое энергетическое обследование потребителей ТЭР проводится не реже одного раза в 5 лет [75]. Такое построение энергетического паспорта позволяет при незначительных затратах проводить регулярное частичное энергетическое обследование предприятия.

Разработка такой базы данных предполагает создание математической модели СЭС обобщенного предприятия, позволяющей ввести поэлементный расчет потерь и построение энергетических балансов всех ступеней СЭС предприятия [8,116]. Развитие программированной базы данных позволяет создать эффективную информационную – аналитическую систему для выявления резервов экономии энергии [11,12,99].

Производство конкурентоспособной на мировом рынке продукции требует повышения эффективности производства, уменьшения производственных затрат. Решение этой задачи предполагает комплексное исследование всех составляющих затрат и выявление источников

неоправданных больших затрат. Внедрение в нашей промышленности дорогостоящего импортного ТЭО, системы автоматизированного учета или автоматизации производства не всегда оправдывается экономией электроэнергии [113]. На сегодняшний день основными показателями эффективности работы электрической части производства (ЭЧП) являются показатели электроэффективности [57], которые в основном характеризуют эффективность использованной электрической энергии. Последняя не всегда однозначно определяет эффективность производства [120]. По известным данным [63,76] на эффективность производства существенно влияют затраты на СЭС и технологическое электрооборудование (ТЭО), стоимость сырья, рабочей силы и т.п. Для более точного определения эффективности использования производственных затрат следует ввести более обобщенные показатели, например, эффективность использования ЭЧП в целом [121].

Решение задач энергосбережения требует оптимизации режимов и параметров электропотребления. Задачи оптимизации решаются на этапе проектирования и эксплуатации СЭС. Одной из основных задач оптимизации СЭС промышленного предприятия является определение оптимальных параметров схемы электроснабжения, обеспечивающих наилучшие технико-экономические показатели. При этом на стадии проектирования также предусматривается регулирование параметров схемы электроснабжения (ЭС) для экономии электроэнергии в СЭС [7, 109, 110]. Обычно оптимизация параметров схемы ЭС и экономический эффект от регулирования показателей определяются отдельно [49, 76], без принятия во внимание связь между этими параметрами. Определение параметров схемы электроснабжения с учетом этих связей между регулируемыми параметрами позволяет повышать эффективность СЭС.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. Экономические и технические предпосылки создания информационно – аналитических систем по энергоэффективности

Обоснованная разработка и полномасштабное осуществление политики энергосбережения имеет для страны важнейшее социально – экономическую значение. К числу основных социально – экономических факторов, определяющих необходимость перевода экономики страны на энергосберегающие рельсы и соответствующего формирования политики энергосбережения, относятся [13, 35, 51, 78, 79, 80, 82]:

- общее оздоровление экономической ситуации и ускорение темпов экономического роста и уровня жизни населения, улучшение экологической обстановки;
- повышения уровня надежности и бесперебойности снабжения топливно – энергетическими ресурсами потребителей различных категорий;
- укрепление инвестиционной основы развития топливно – энергетических комплексов;
- снижение финансового бремени по оплате использования энергоресурсов и соответственно обеспечение их экономической доступности для бюджетов различных уровней и всех категорий энергопотребителей;
- повышение экономической конкурентоспособности промышленной продукции, производимой в стране на внутреннем и международных рынках за счет снижения удельного веса энергетической составляющей;

Реализация государственной политики управления энергосбережением должна привести к созданию экономической

заинтересованности хозяйствующих субъектов в эффективном использовании имеющегося потенциала энергосбережения, прежде всего за счет инвестирования энергосберегающих проектов.

Важнейший потенциал экономии электроэнергии сосредоточен в промышленности, как основном потребителе энергии [5,28,58,62,76]. Энергетическое хозяйство является важнейшей составной частью промышленного предприятия, надежная и эффективная работа которого обеспечивает качественные показатели работы и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Современные промышленные предприятия характеризуются большой энергоёмкостью и разнообразием видов потребляемой энергии. Повышение эффективности производства требует уменьшения производственных затрат, комплексного исследования всех их составляющих и выявления источников неоправданно больших затрат. Основным направлением в решении этой задачи является энергосбережение в производстве, совершенствование управления энергопотреблением предприятия.

Необходимость создания инструмента для исследования энергоэффективности объектов энергосистем вытекает из комплекса задач энергосбережения в промышленности [6,13,76,78,79,130]. Главными вопросами исследуемой системы являются способы экономии электроэнергии на предприятиях. Направления развития энергосбережения в промышленности подробно описаны в работах [5,6,12,28,49,50,63,76]. основополагающими принципами достижения энергосбережения в промышленности являются следующие [63,76]:

1. Экономить нужно в первую очередь то, что обходится дороже.
2. Экономить нужно то, что можно сэкономить при минимальных затратах.
3. Снижать потери нужно там, где они аномально велики (находить энергетические дыры).

4. С позиции экономики желательно избегать посредников, т.к. посредники заинтересованы в переносе всех своих затрат и потерь на потребителя.

5. Нужно точно знать объем потребленных энергоресурсов (иметь коммерческий и технический учет энергоресурсов).

6. Реализация мероприятий по энергосбережению не должна ухудшать санитарно – гигиенические условия в предприятии.

7. Тщательный анализ, точно выбор целей и концентрация средств на самых эффективных мероприятиях.

Исходя из этих принципов в энергосбережении выделяют следующие группы мероприятий: научно – технические, организационно – экономические, нормативно – технические, информационные, правовые [6,13,15,76].

Успешное выполнение программ энергосбережения, получение высокой отдачи от инвестиций в энергосберегающие мероприятия – все это во многом зависит от уровня планирования и организации работы [6,7,63,76]. Опыт энергосбережения в развитых странах показывает, что наиболее эффективными являются энергосберегающие малозатратные мероприятия [6,42,53,70], основанные на рационализации использования энергии. Анализ опыта других стран показывает, что от 50 до 70% реализуемого потенциала энергосбережения приходится на организационные мероприятия [6]. Привлекательность режимно – эксплуатационных и организационно – экономических мероприятий состоит в том, что многие из них могут быть осуществлены практически без капитальных затрат или с очень небольшими затратами и немедленным получением эффекта. Поэтому прежде, чем планировать внедрение капиталоемких энергосберегающих мероприятий, следует использовать резервы снижения расходов энергии путем совершенствования организации производства: улучшения технического состояния оборудования, энергетических режимов работы, устранения

потерь энергии, вызываемых низкими коэффициентами загрузки оборудования и др. Для успешной реализации и повышения эффективности этих мероприятий необходимо широкое внедрение информационно – аналитических систем по энергоэффективности [11, 25, 15].

В настоящее время на объектах энергосистем получило применение централизованное управление энергоснабжением, оснащенное информационно – измерительными системами, современными средствами обработки и представления информации, которое способствует повышению надежности и бесперебойности электроснабжения, сокращению времени простоев [36,44,59,135,142], обеспечивает постоянный контроль за работой энергетического хозяйства, оперативное управление электроснабжением, автоматизированный учет расхода электроэнергии, планирование электропотребления, существенную экономию энергетических и трудовых ресурсов.

Широкое развитие автоматизированных систем управления промышленными предприятиями предъявляет к системе управления электроснабжением особые требования по сбору информации и передачи ее в информационный центр для последующей обработки и оперативного получения отчетных данных, улучшения оперативного и перспективного планирования, рационального распределения электроэнергии [21,40,128].

Совершенствование методов управления, разработка новых средств управления с использованием микропроцессорной техники, открывает новые возможности системы электроснабжения и предъявляет к ней повышенные требования. Актуальной задачей является централизованное измерение интегральных значений различных параметров, необходимых для оперативного автоматического учета энергоресурсов, составления балансов потребления энергии, подсчета удельных расходов энергии на единицу продукции [18,47,131].

Оптимизация работы СЭС объектов энергосистем с целью обеспечения наивыгоднейших режимов эксплуатации энергетического оборудования, минимизация потерь всех видов энергии и получения максимального экономического эффекта, совершенствование режимов электропотребления путем компенсации реактивной мощности и выравнивания графиков электрической нагрузки, обеспечения оптимальных уровней напряжения возможно только с использованием аналитических данных, полученных от информационных систем.

Органам управления энергетикой все в большей степени нужна полная и достоверная информация. При этом в едином информационном блоке должны быть представлены, с одной стороны, натуральные показатели энергобалансов различных уровней, с другой – их финансово – экономические показатели. Применение данной информации для решения задач управления невозможно без реализации сложного программно – технического комплекса поддержки принятых управленческих решений с развитыми возможностями аналитической и статистической обработки информации, построения прогнозных моделей развития топливно – энергетических балансов различных уровней.

В автоматизированной системе управления энергоснабжением (АСУЭ), наряду с задачами оперативного управления и контроля, автоматизированного учета энергоресурсов, важное значение приобретают задачи оптимизационного характера в области электропотребления и работы энергетического оборудования, а также задачи, связанные с оперативным и долгосрочным планированием, накоплением и анализом статистических данных, необходимых для определения реальных удельных норм и обоснованных перспективных планов. В состав АСУЭ включаются также системы диагностики неисправностей электрооборудования предприятия [6,61,128].

Одной из основных задач реализации энергосбережения является создание соответствующей законодательной, нормативно–правовой и методической базы, стимулирующей энергосберегающие меры. Энергосбережение осуществляется на основании проведения экспертизы на стадии проектирования и пуска предприятия или энергетического обследования во время его эксплуатации путем сопоставления фактической величины удельной энергоёмкости затрат при производстве продукции с нормативным значением удельной энергоёмкости.

Использование резервов экономии энергоресурсов на действующих предприятиях невозможно без глубокого анализа производственных процессов во взаимосвязи технологии и энергетики [11,52, 63,76]. Эту задачу, как правило, решают путем проведения энергетического обследования – аудита, т.е. периодического детального обследования оборудования, технологических процессов, в ходе которого выявляются величины потребления энергии в отдельных процессах и на отдельных установках, нерациональные расходы и прямые потери энергии. В результате проведения энергоаудита составляется перечень мероприятий по экономии энергоресурсов с указанием приоритетов [75].

Препятствием в решении задач, связанных с энергосбережением, является недостаточное знание главными энергетиками предприятий методов энергоаудита и энергоменеджмента [6,45,70], а также немногочисленность доступных методических пособий по энергоэффективности в промышленности. В настоящее время компьютер на столе руководителя становится основным инструментом в управлении производством. Моделирование процесса выполнения мероприятий в области энергосбережения позволяет произвести анализ и определить экономический эффект принятых решений. Исследование вопросов энергосбережения требует создания информационных систем [11,17,25,54], обеспечивающих детальное изучение отдельных видов потребителей и их

режимов электропотребления. Для решения вышеназванных задач необходимо широкое внедрение информационно – аналитических систем (ИАС) по тематике энергоэффективности [11,18,25].

ИАС имеет два компонента:

информационный – это информационный массив статистических данных, документов, графического материала, а также алгоритмов расчетов, моделирования и прогнозирования;

программный – комплекс программных средств, обеспечивающих работу с информационной компонентой, аналитическую обработку статистической информации. При этом с точки зрения пользователя, информационный компонент имеет определяющую роль. Система управления базами данных обеспечивает возможность многопользовательского доступа к информации, служебные сервисы администратора банка данных, развитые функции поиска, сортировки и представления информации.

Характер, содержание и объем передаваемой информации определяются задачами, решаемыми системой управления, принятым на контролируемых объектах энергоснабжения уровнем автоматизации, функциональными возможностями используемых в системе управления технических средств и зависят также от вида и структуры системы управления, особенностей каждого контролируемого объекта, условий эксплуатации данного энергетического хозяйства.

С понятием «информация» связано понятие «информационная система» [15,25,128], которую определяют как совокупность устройств и каналов связи с протекающими в ней процессами генерирования, сбора, передачи, обработки, хранения и отображения информации. Основной характерной особенностью любой информационной системы являются информационные процессы, которые при заданной структуре полностью определяют ее функционирование.

Естественно, с усложнением системы управления и увеличением объема передаваемой информации возникает проблема автоматизации обработки и оптимального использования больших потоков информации.

Для количественного описания процессов управления используется математический аппарат и методы моделирования [20,31,38,52,61]. Исследуя экономико–математическую модель процесса, можно выявить наиболее эффективные варианты работы объекта управления, оптимальные его параметры, требуемые связи и еще до принятия решения, до выбора управляющих воздействий определить их влияние на управляемый объект и прогнозировать развитие объекта управления во времени.

Экономико–математическая модель представляет собой набор математических или логических формул [137], выражающих основные характеристики деятельности управляемой системы. Следовательно, экономико – математическая модель – это функциональная база АСУ, поскольку она имитирует функционирование объекта управления.

Безусловно, никакая математическая модель не может в полной мере отразить всю сложность и динамику процесса, многообразие функций управления. Поэтому на практике с целью максимального приближения модели к моделируемому объекту формализованное описание объекта управления выражается в виде комплекса экономико–математических моделей, связанных между собой экономической информацией.

Анализ современного состояния системы энергоснабжения объектов энергосистем и дальнейшее развитие систем управления промышленным энергоснабжением подтверждают актуальность широкого внедрения информационно–аналитических систем для повышения энергоэффективности предприятий.

1.2. Информационно – аналитические системы по энергоэффективности в промышленности

В инфраструктуре современного информационного – индустриального общества информационные системы занимает одно из ключевых мест. Это вызвано возрастающей ролью информации в наукоёмком промышленном производстве. Информация в современных условиях выступает, как ресурс, позволяющий минимизировать расходы других ресурсов (сырьевых, материальных, финансовых и т.д.). Энергетические ресурсы вместе с другими (материально-техническими, финансовыми, интеллектуальными, информационными и т.п.) образует взаимосвязанный комплекс ресурсообеспечения производства [25].

В настоящее время имеется несколько вариантов информационно – аналитических систем по экономии энергии в промышленности. Начальные теоретические положения создания такой системы описаны в работе [14]. Система информационно – методического обеспечения для выявления резервов экономии топлива и энергии в промышленности предполагает создание банка первичной (исходной) информации и разработку алгоритмов формирования выходной информации, необходимой для осуществления контроля и анализа эффективности энергоиспользования, а также принятия решений о проведении мероприятий, направленных на снижение расхода энергоресурсов. Методики включают общие положения по решению исследуемого вопроса и выполнению различного рода работ по сбору, отбору, обработке и представлению информации при решении конкретных задач.

Основными задачами системы являются:

- формирование информации, необходимой для контроля, анализа и оценки состояния использования энергоресурсов на предприятиях;

– обработка и получение информации в заданной форме и необходимом объеме для решения задач повышения эффективности энергоиспользования;

– разработка процедур и алгоритмов сбора и обработки входной информации, методов и алгоритмов расчета, способов и средств оформления выходной информации;

– постановка и решение задач получения первичной (исходной) информации и выходной информации, определяемой задачами Общей системы.

Выходная информация определяется конкретно поставленной задачей и формируется в результате обработки исходной (входной) информации, используемой для принятия решения в области энергоиспользования, сюда относятся:

– план (перечень) мероприятий по экономии топлива и энергии (на уровне цеха, предприятия, подотрасли, отрасли);

– научно обоснованные (расчетные) нормы расхода энергоресурсов в энергетических и технологических процессах и установках;

– среднее снижение норм расхода энергоресурсов на производство продукции;

– критерии принятия решений (приведенные затраты, минимум расхода дефицитного топлива, экологические факторы, заданная надежность энергоснабжения и др.);

– коэффициенты полезного действия установок;

– коэффициент полезного использования энергии;

– возможная экономия энергоресурсов (топлива, электрической и тепловой энергии);

– потребность в приборах учета расхода энергоресурсов;

– обобщенные показатели состояния и развития энергохозяйства предприятия (отрасли), такие, как производительность труда,

фондовооруженность, энерговооруженность труда, энергоемкость продукции и др.

Применение ЭВМ для аналитической обработки данных с целью выявления резервов экономии энергии значительно расширяет возможности систем электроснабжения. Хранение информации в памяти ЭВМ придает ей принципиально новое качество динамичности, т.е. способности к быстрой перестройке и непосредственному оперативному ее использованию в решаемых на ЭВМ задачах. ЭВМ обеспечивает хранение и оперативную обработку данных большого объема информации. Устройство автоматической печати позволяет в случае необходимости быстро представлять любую выборку из этой информации.

Электронные версии такой системы описаны в работах [11,76,77], она включает в себя общие сведения о предприятии, основные балансовые таблицы и итоговую таблицу энергосберегающих мероприятий, а также блоки справочной информации, такие как программа обязательных энергообследований [11]. Основное меню программы содержит пункт просмотра базы данных по обследованным предприятиям, а также пункт открытия диалогового окна для ввода информации. Величина фактического суммарного потребления различных видов энергоресурсов автоматически рассчитывается по данным из балансовых таблиц. Также рассчитываются удельные показатели энергопотребления [14,56].

В работе [77] описана компьютерная программа «Система учета и анализа потребления энергоресурсов предприятия», предназначенная для решения задач:

- Обеспечение ежесуточного учета и анализа данных по расходу энергоресурсов.
- Выявление неэффективного расхода энергоресурсов.
- Контроль над соответствием фактических данных нормативным.

- Повышение достоверности учета.
- Объективная оценка работы персонала энергообъектов.
- Проведение энергоаудита предприятия.
- Ежедневный просмотр затрат на энергоресурсы.

Основу системы составляют следующие модули:

1. Оценка энергоменеджмента на предприятии. Применяется для определения состояния дел по энергоуправлению на предприятии. Прямыми ответами на вопросник заказчик сам оценивает себя и видит задачи по улучшению энергоменеджмента.

2. Ежедневная оценка и анализ затрат на энергоресурсы в течение месяца (основной модуль). Обеспечивает обработку ежесуточных данных о потреблении энергоресурсов, анализ работы объектов и вывод результатов в графической форме, визуальный просмотр учета и анализа расхода энергоресурсов в объемном и денежном отношении за каждые сутки месяца, сравнением с планом.

3. Оценка и анализ затрат на энергоресурсы в течение года.

4. Обучение работе и рекомендации заказчику.

В работе [76] описаны следующие информационные системы для выявления резервов экономии электроэнергии в промышленности:

Информационно-расчетная система «ИРС-ТПС» [76] предназначена для оказания практической помощи в выборе, разработке и внедрении энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленности и ЖКХ, а также обоснование их экономической эффективности.

Информационная – справочная система «Энергосбережение: технические решения, оборудование и материалы» [76] является электронным изданием, содержащим специализированную базу данных энергосберегающих мероприятий по энергосбережению. Издание снабжено подсистемой поиска информации, обеспечивающей контекстный поиск по ключевым словам.

В работе [76] описан принцип построения программного обеспечения «Автоматизированный расчет энергосберегающих проектов» (АРЭП). Главная цель разработки среды ПО «АРЭП» состоит в поддержке методики технико – экономического обоснования ЭСМ в составе энергосберегающих проектов

ПО АРЭП предназначено для:

-предварительного анализа и формирования приоритетного ряда ЭСМ;

-формирования бизнес планов и производства автоматизированного расчета ЭСП по исходными данным пользователя;

-проведения анализа рассчитанных ЭСП и сравнения по критериям финансовых затрат и срокам окупаемости, оценка эффективности реализации ЭСП.

В работе [13] описаны принципы построения информационно – аналитической системы, основанной на системного анализа и проектирования. Оценить работу организации, разобраться в том, как она функционирует, построит модели и на их основе предложить способы улучшения работы некоторых звеньев производственного процесса. В ходе решения задач осуществляется обработка результатов обследования и построение моделей деятельности предприятия двух видов:

- Модели «как есть», являющейся отражением положения дел на предприятии на момент обследования и позволяющей с позицией системного анализа выяснить, что делает и как функционирует данное предприятие, а также выявить ряд ошибок и «узких мест» и сформулировать ряд предложений по улучшению ситуации;
- Модели «как должно быть», суммирующей перспективные предложения руководства и сотрудников предприятия, экспертов и системных аналитиков и позволяющей сформировать представление о новых рациональных технологиях работы предприятия.

Построенные модели являются основой для разработки системного проекта, в котором требования заказчика уточняются, формализуются и документируются. Системный проект строится на основе модели «как должно быть» и включает следующее:

- функциональную модель будущей системы;
- информационную модель будущей системы;
- техническое задание на создание автоматизированной системы.

На основе системного проекта и принятых решений по автоматизации осуществляется:

Составление перечня автоматизированных рабочих мест предприятия и способов взаимодействия между ними;

Анализ возможности использовать существующие системы управления предприятия для решения стоящих перед ним задач и формирования рекомендаций по оптимизации действующей или выбору новой системы управления.

Наиболее важны в методическом плане вопросы, связанные с комплексной оптимизацией структуры энергетического баланса промышленных предприятий и узлов [7,65,104,109]. К ним относятся:

- Разработка рациональной схемы энергоснабжения и энергоиспользования на предприятии.
- Выбор рациональной структуры энергетических связей между отдельными элементами предприятия.
- Определение рациональных направлений, способов и объемов использования вторичных энергоресурсов.
- Выбор оптимальных параметров (структурных, конструктивно – компоновочных, расходных, термодинамических) для отдельных элементов предприятия (агрегатов, установок и т.д.) и др.

В работах [11,18,54] описаны структура и принципы построения информационно – аналитических систем по энергоэффективности в промышленности.

В состав ИАС входит:

- распределенное информационное хранилище (совокупность баз данных);
- коммуникационная подсистема (совокупность коммуникационных средств);
- программные средства аналитической обработки данных (автоматизированные рабочие места – АРМ), оперирующие данными информационного хранилища.

Распределенное информационное хранилище ИАС на любом уровне иерархии системы включает совокупность баз данных и средства управления ими. В состав информационного хранилища ИАС входят следующие базы данных:

- нормативно–правовое обеспечение энергосбережения и аналитические обзоры его состояния ;
- техническое нормативно – методическое обеспечение энергосбережения и аналитические обзоры его состояния;
- информация о целевых энергосберегающих программах и ходе их реализации;
- информация о субъектах, участвующих в энергосберегающей деятельности;
- информация об энергосберегающем оборудовании и материалах;
- информация об энергообследовании объектов и аналитические обзоры по обследованиям;
- типовые энергосберегающие мероприятия и опыт их внедрения;
- публикации и другая научно – техническая информация по энергосбережению и аналитические обзоры.

В качестве основных недостатков рассмотренных работ можно перечислить следующее:

1. В работе [15,22] изложены в основном теоретические аспекты построения информационной системы по экономии энергоресурсов, что затрудняет использование данной методики в практических исследованиях по энергосбережению.

2. Отсутствует общая математическая модель промышленного объекта, позволяющая проводить комплексные исследования по выявлению резервов экономии энергоресурсов.

3. Требуется конкретизация методики исследований экономии по отдельным видам энергоресурсов.

4. Сложность автоматизации расчетов по исследованию энергоэффективности объектов для создания прикладных программ на ЭВМ.

5. Основным недостатком электронной версии таких систем является её слабая аналитическая часть. Информационная система содержит в основном статистические данные по электропотреблению. Система не определяет оптимальные регулируемые параметры энергопотребления и наиболее эффективный режим работы системы энергоснабжения.

Для устранения этих недостатков и создания более эффективных (востребованных) методик исследования эффективности энергоиспользования в промышленности требуется решить следующие задачи:

1. Разработать математическую модель системы энергоснабжения предприятия, позволяющую автоматизировать расчеты по выявлению резервов экономии энергоресурсов.

2. Разработать алгоритмы расчетов и прикладные программы на ЭВМ, позволяющие проводить по научно обоснованной методике аналитическую обработку данных для выявления резервов экономии энергоресурсов.

3. Конкретизировать методику расчетов по экономии энергии в элементах системы энергоснабжения и технологического оборудования.

4. Усовершенствовать методику оптимизации регулируемых параметров системы энергоснабжения, дающих дополнительную экономию энергоресурсов.

5. Сформулировать критерии и показатели эффективности системы энергоснабжения, обеспечивающие более детальное исследование возможности экономии энергии и более точную оценку эффективности системы энергоснабжения.

Создание более эффективных методов энергоаудита и информационных систем по энергосбережению предполагает более глубокий и детализированный анализ возможностей экономии энергии с использованием более совершенной математической модели системы энергоснабжения. Автоматизация расчетов по экономии электроэнергии на базе современных информационных систем позволяет получить развернутые данные по всем ступеням системы электроснабжения предприятия и оперативную информацию о показателях эффективности энергоиспользования.

На первом этапе создания такой системы требуется сформировать базы данных о состоянии энергетического хозяйства предприятия. На основе этих данных производится предварительное исследование и определяется целесообразность энергетического обследования с целью выявления резервов экономии электроэнергии. Внедрение современных информационных технологий в производство, применение цифровых приборов контроля и учета в системе электроснабжения, а также развитие программирования, баз данных позволяет создать эффективные информационно – аналитические системы для выявления резервов экономии энергии и контроля потребления энергии. На основе полученных аналитических данных этой системы можно эффективно управлять и автоматизировать процессы потребления энергии.

Анализируя результаты работ по созданию информационных систем по энергосбережению, наиболее оптимальным принципом построения разрабатываемой системы принимаем: создание информационно – аналитической системы на базе математической модели системы электроснабжения предприятия, позволяющей проводить комплексное исследование энергоэффективности предприятия. При создании информационно – методической системы по выявлению резервов экономии электроэнергии будут использованы материалы работ [11,12,16,22].

1.3. Методы исследования возможности экономии электроэнергии в промышленности

Основное назначение ИАС является исследование возможностей экономии электроэнергии на объектах энергосистем. Для разработки метода исследования энергоэффективности объектов энергосистем с использованием ИАС анализируем методы выявления резервов экономии электроэнергии в промышленности. Методы исследования промышленных объектов с целью выявления резервов экономии электроэнергии описаны в работах [11,16,18,25,76,129].

Для выявления резервов экономии электроэнергии проводится энергетическое обследование (энергоаудит) промышленных предприятий. Следующими основными целями энергоаудита являются:

- Выявить источники нерациональных энергозатрат и неоправданных потерь энергии.
- Разработать на основе технико – экономического анализа рекомендации по их ликвидации, программу по экономии энергоресурсов и рациональному энергоиспользованию, определить очередность реализации предлагаемых мероприятий с учетом объемов затрат и сроков окупаемости.

Энергетическое обследование предприятия включает в себя три основных блока задач:

- аналитический, определяющий методологию работ, разработку рекомендаций и объединяющий специалистов по тепло – энергетическому режиму объектов, по инженерным системам и топливно – энергетическому комплексу;
- аудиторский, отвечающий за сбор и анализ информации и проведение измерений энергетических параметров;
- финансовый инжиниринг, формирующий экономическую основу решения задач.

К вопросам аналитической части энергоаудита привлекаются специалисты – технологи.

Все предлагаемые мероприятия разбиваются на три группы по степени требуемых капитальных вложений: беззатратные, средnezатратные и капиталоемкие.

Для создания эффективной системы управления энергосбережением на объектах энергосистем проводится внешний и внутренний энергетический аудит предприятия [6,70,75]. Цель внешнего энергоаудита – государственный контроль за эффективностью использования энергоресурсов и проведением энергосберегающей политики. Внутренний энергоаудит служит инструментом выявления на предприятии резервов экономии энергоресурсов и может быть организован службой главного энергетика предприятия, а также выполнен по договору со специализированной организацией.

Перспективным направлением развития энергоаудита является проведение комплексных энергетических обследований, определяющих оптимальный энергетический баланс и схему электроснабжения исследуемого объекта, выполняющего оптимизацию затрат на энергетические ресурсы [58,72,129]. Типовая программа проведения

энергетических обследований предусматривает изучение частных энергобалансов и удельного энергопотребления по видам энергоресурсов, а также прямых потерь энергии и базы данных о расходе энергоносителей. При этом заполняется детализированная информационная база данных по энергопотребляющему оборудованию. Основная ценность этой части работы состоит в разработке энергетических балансов, позволяющих детализировать энергетические потоки по цехам и подразделениям предприятия, а также дать количественную оценку энергетическим потерям и указать участки и причины их возникновения. Объективность и эффективность результатов работы исследователя во многом зависит от степени детализации и точности расчетов, величина погрешности или невязки баланса должна быть меньше, чем суммарная экономия, ожидаемая после внедрения предложенных аудиторами мероприятий.

Наиболее эффективным методом исследования возможности экономии энергии в промышленности является анализ энергетических балансов предприятия. Исследование аналитических энергетических балансов дает возможность установить фактическое состояние энергоиспользования в СЭС предприятия и на предприятии в целом. При проведении анализа исследуемые элементы классифицируются на группы процессов и установок, однородных по виду используемых энергоносителей и сходных по методике анализа энергоиспользования.

Составление и анализ энергетических балансов промышленных объектов является одним из важных элементов в комплексе работ, связанных с решением задач по экономии топлива и энергии в промышленности. Составление и анализ энергобалансов направлен на решение следующих основных задач:

- оценка фактического состояния и эффективности энергоиспользования на предприятии, выявление причин возникновения и определение объёма потерь энергоресурсов и энергоносителей;

- выявление и оценка резервов экономии топлива и энергии и разработка плана мероприятий, направленных на снижение их потерь;
- улучшение режимов работы технологического и энергетического оборудования;
- определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- установление требований к организации и совершенствованию системы учета и контроля расхода энергоресурсов и энергоносителей;
- оптимизация структуры энергетического баланса предприятия путем выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования подведенных и вторичных энергоресурсов;
- совершенствование внутрипроизводственного хозяйственного расчета и системы стимулирования за экономию топлива и энергия.

Энергетический баланс является важной характеристикой состояния энергетического хозяйства предприятия и отражает полное количественное соответствие между суммарной подведенной энергией (приходной частью), с одной стороны, и суммарной полезной энергией и потерями (расходной частью) – с другой.

По качественному признаку, характеризующему уровень энергоиспользования, энергетические балансы можно разделить на рациональные, нормализованные и оптимальные [15].

Рациональный энергетический баланс отражает уровень энергоиспользования с учетом мероприятий по снижению расхода топлива и энергии без реконструкции основного оборудования. Рационализация предполагает сокращение расхода энергоресурсов и энергоносителей в результате проведения отдельных мероприятий по реализации выявленных резервов экономии.

Нормализованный энергетический баланс отражает уровень энергоиспользования, соответствующий научно – обоснованным нормам

расхода топлива и энергии. Необходимо отметить также, что способ выявления нерационального потребления энергии путем сравнения с нормативами или с энергопотреблением на аналогичных предприятиях и в аналогичных условиях их работы не в полной мере приемлем [144]. Структура норм удельных расходов электроэнергии на различных предприятиях может существенно отличаться, так как зависит от конкретных условий производства каждого предприятия, в частности, от технологии переработки сырья, степени механизации и автоматизации производства, типа и характеристики применяемого оборудования. Сравнение с нормативами вызывает значительную ошибку по двум причинам: во-первых, норма как показывает практика, всегда отстает от реального уровня развития техники и технологий, а во-вторых, норма подразумевает под собой статистический показатель, как правило, осредненный для отрасли в целом, т.е. не учитывает реального положения конкретного предприятия в его конкретных технико-экономических, региональных и климатических условиях. Сравнение с другими предприятиями, работающими в аналогичных условиях или сравнение режимов энергопотребления предприятия в разные периоды времени не отвечает на вопрос – возможно или целесообразно улучшить энергоиспользование на предприятии с наиболее эффективным энергопотреблением и, если возможно, то до какого предела.

Оптимальный энергетический баланс отражает такой вариант энергоснабжения и энергоиспользования, при котором выпуск заданного количества продукции осуществляется с максимальной эффективностью по заданному критерию при соблюдении ограничений, связанных с доставкой энергетических ресурсов, надежностью энергоснабжения, охраной окружающей среды и др.

Аналитический электроэнергетический баланс предприятия разрабатывается в соответствии со структурой предприятия с выделением следующих направлений потребления электроэнергии:

- Технологические затраты каждого вида продукции (на привод силового оборудования, при прямом использовании электроэнергии в технологических целях – электронагрев, аппараты токов высокой частоты и т.п.);
- Общепроизводственные затраты: наружное освещение, освещение и вентиляция административных помещений, а также вспомогательных цехов (ремонтно – механических, энергетических, строительных, транспортных и т.п.), столовых, заводских прачечных;
- Общие цеховые затраты каждого цеха (целесообразность определяется в каждом конкретном случае).

Разработка аналитического баланса расхода электроэнергии на технологические процессы включает этапы:

- разработка материального баланса по перерабатываемому материалу;
- определение расчетных затрат рабочего времени каждым из агрегатов технологической линии исходя из их паспортной производительностей;
- определение величины расхода (потребления) электроэнергии электросиловым оборудованием при номинальной нагрузке единицы оборудования с учетом расчетных затрат рабочего времени.

Для разработки аналитического баланса расхода электроэнергии на технологические процессы составляется структурная схема электроснабжения предприятия с указанием трансформаторных подстанций, точки установки счетчиков внутрипроизводственного учета.

В связи с указанными признаками расчленения производства на отдельные элементы, нормы по составу расходов подразделяются на технологические и общепроизводственные, общецеховые и общезаводские [15,63].

Анализ энергетических балансов состоит в качественной и количественной оценке состояния энергетического хозяйства и энергоиспользования и проводится в направлениях:

- исследование структуры поступления и потребления энергоресурсов и энергоносителей на предприятии;
- определение показателей эффективности энергоиспользования;
- расчет обобщенных показателей состояния и развития энергетического хозяйства предприятия;
- получение исходной информации для постановки и решения задач оптимизации структуры энергетического баланса предприятия.

Анализ структуры потребления подведенных и вырабатываемых на предприятии энергоносителей, а также их стоимости позволяет оценить удельный вес каждого из них на стадии конечного использования и сделать вывод о необходимости акцентировать внимание на анализе использования того или иного энергоносителя.

Анализ структуры энергопотребления по производственно – территориальному признаку позволяет оценить удельный вес каждого объекта на предприятии как по суммарному энергопотреблению, так и по потреблению отдельных видов энергоносителей.

Анализ структуры энергопотребления по целевому назначению дает возможность определить удельный вес различных направлений энергопотребления (технологические нужды, силовые нужды, отопление и др.) как в цехах и по предприятию в целом, удельный вес различных потребителей в каждом направлении энергопотребления, а также

распределение отдельных видов энергоносителей по направлениям потребления.

Качество результатов обработанных данных аналитической части системы находится в прямой зависимости от достоверности исходных данных, получаемых от различных приборов и системы учета. Наличие системы технического учета электроэнергии на предприятии позволяет качественно проводить энергетическое обследование предприятия.

Одним из важнейших инструментов энергосбережения на объектах энергосистем является текущее планирование электропотребления. Существующие методы планирования потребления энергии не могут считаться достаточно научно обоснованными, поскольку, как правило, планирование оказывается слишком ориентировочным, в большой степени субъективным и часто слабо связано с производственной программой предприятия и с теми изменениями, которые эта программа претерпевает в процессе реализации.

Необходимость всемерного повышения научной обоснованности планирования потребления энергии на объектах энергосистем, определяется не только важностью требования обеспечения производственной программы всеми видами энергии, но и требованиями строгого соблюдения хозяйственных пропорций и связей и ограниченностью производства большинства энергоресурсов.

Модели энергетических балансов, при построении которых используется математический аппарат матричной алгебры [8,129], обеспечивает возможность составления внутренне согласованных и полностью сбалансированных планов электропотребления, значительно облегчают исследование межотраслевых пропорций и связей.

Модели позволяют энергетическим цехам точно и оперативно реагировать на всевозможные изменения плановой программы в основных

цехах предприятия и таким образом могут сыграть положительную роль в совершенствовании существующих систем оперативного управления.

Выбор обоснованного перечня приоритетных мероприятий по снижению технических и коммерческих потерь электроэнергии невозможен без детального расчета структуры потерь, расчета фактических и допустимых небалансов электроэнергии по фидерам, центрам питания и электрической сети в целом. Так как технические и особенно коммерческие потери электроэнергии сосредоточены в основном в распределительных сетях, наибольшее внимание должно быть уделено уточнению расчетов балансов и технических потерь именно в этих сетях [21,24,49].

Экономическая эффективность от внедрения модели энергетических балансов в практику внутризаводского планирования выражается в:

- возможном увеличении прибыли в результате повышения точности плановых расчетов;

- возможном увеличении показателя рентабельности производства в результате уменьшения объема запасов складированных энергоресурсов, что также обусловлено повышением точности планирования на основе моделей;

- экономии на заработной плате высвобождающейся части работников отдела главного энергетика в результате использования ЭВМ;

- росте производительности труда работников за счет повышения оперативности и точности управления энергетикой предприятия.

При этом, как показывает опыт, чем сложнее моделируемая система, тем значительней экономический эффект от внедрения моделей энергетических балансов в практику планирования и управления.

Анализ существующих методов исследования экономии электроэнергии в промышленности показывает, что наиболее эффективным методом исследования возможности экономии электроэнергии является анализ энергетических балансов предприятия. Поэтому при построении

аналитической части системы этот метод принимаем в качестве основного метода исследования энергоэффективности предприятий.

Анализ методов оценки эффективности энергосберегающих мероприятий показывает, что точность и ценность результатов зависит от степени детализации модели исследуемого объекта. Поэтому при моделировании СЭС предприятия используем математическое описание объекта, позволяющее проводить поэлементный расчет потерь и построение энергобалансов по всем ступеням СЭС предприятия.

1.4. Информационная составляющая автоматизированной информационно – измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) в промышленности

При определении эффективности использования электроэнергии на промышленных объектах особое значение имеют организация и средства учета электроэнергии [135,149,156]. Рациональное использование топливно–энергетических ресурсов затрудняется на объектах, где отсутствуют необходимые средства учета энергии и контроля мощности. Из за примитивных методов и средств измерения расхода электроэнергии целесообразность проводимых мероприятий теряется, и попытки экономии энергии оказываются малоэффективными.

Для эффективного управления энергохозяйством предприятия службе главного энергетика предприятия, в основном, необходимы следующие данные:

– учет мощности, потребляемой каждым цехом (отдельным участком, энергоёмким оборудованием) в течение суток, в получасовых интервалах в виде графиков или таблиц;

– учет потребления электроэнергии каждым цехом (отдельным участком, энергоёмким оборудованием) в течение суток, недели, месяца, года;

– контроль мгновенного потребления мощности по всем цехам, подразделениям, потребителям.

К этим параметрам добавляются требования от технических руководителей и энергетиков цехов по учету расхода энергоресурсов и контроль их параметров в целом по цеху и по конкретным технологическим объектам.

С целью получения этих данных на промышленных предприятиях предусматривается расчетный и технический учет электроэнергии.

Расчетный (коммерческий) учет электроэнергии предназначен для осуществления финансовых расчетов между энергоснабжающей организацией и потребителями электроэнергии, а также контроля за соблюдением предприятием установленных ему лимитов, норм и режимов электропотребления. Технический (контрольный) учет предназначен для контроля расхода электроэнергии внутри предприятия (отдельными его цехами, участками, агрегатами и пр.).

Если порядок установки приборов коммерческого учета регламентируется рядом действующих нормативных документов, то организация внутрипроизводственного учета расхода энергоресурсов на промышленных предприятиях не регламентируется, хотя именно у внутрипроизводственных потребителей установлена подавляющая доля общего количества приборов учета энергии и сосредоточены основные резервы повышения эффективности ее использования и экономии.

Обеспечение энергосбережения и энергоэффективности производства невозможно без автоматизированного учета, контроля и сбыта в условиях конкурентного рынка. Управление электропотреблением на основе договорной и своевременной информации обеспечивает выравнивание

суточного графика нагрузки, имеющего на большинстве промышленных предприятий утренний и вечерний пики. В настоящее время, учитывая важность совершенствования системы учета энергоресурсов, при решении задач энергосбережения предусмотрены мероприятия по её модернизации на объектах энергосистемы, включающие их оснащение приборами учета более высокой точности, разработку и внедрение автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ) [156,157].

Проблема повышения энергоэффективности объектов энергосистем предприятий является многоплановой, включающей комплекс задач, каждая из которых имеет большое значение при решении вопросов сбережения и рационального использования топливно–энергетических ресурсов. Прежде всего – это задачи учета и анализа расходов электроэнергии, установления электрических характеристик оборудования и его оптимальных режимов работы, нормирования и планирования электропотребления, распределения лимитов на электроэнергию с учетом эффективности ее использования, а также прогнозные оценки энергозатрат на различных уровнях управления производством [26,58,66,137]. Причем, если задачи учета и анализа относятся к информационным, то остальные относятся к задачам управления.

Комплексный подход к решению вопросов управления электропотреблением и применение математических методов и средств вычислительной техники позволили реализовать ряд аппаратных и программных принципов, направленных на создание систем контроля, учета и управления электропотреблением (охватывающих полный состав необходимых функций) и, в конечном счете, на экономичное и эффективное энергоиспользование. Такие условия обеспечивают поэтапный переход к следующей ступени – многофункциональной системе –автоматизированной информационно – измерительной системе коммерческого учета (АИИС КУЭ), дающей достоверность и полноту исходной информации для расчетов

фактических и технических потерь, в связи с этим обеспечивающей качественные измерения, учета и контроля сбыта и потребления электроэнергии в условиях рынка [135,142,149].

Целью создания автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) является обеспечение дистанционного учета электрического режима любой энергосистемы, оперативный расчет балансов, предоставление информации для коммерческих расчетов, определение технологических расходов и потерь, оперативное управление режимами энергопотребления.

Использование системы АИИС КУЭ позволяет решать следующие задачи: измерение, сбор, обработка, накопление, отображение и документирование информации о полученной, переданной, распределенной и отпущенной энергии, формирование отчетов.

Важной задачей системы является контроль и диагностика технического состояния элементов системы АИИС КУЭ. Контролю и фиксации подлежат сбои связи, сбои работы с базой данных и т.п.; о каждом из событий система АИИС КУЭ уведомляет администратора системы, сохраняет событие для последующего анализа.

Благодаря точному учету возможно более эффективно организовать все рабочие процессы на предприятии, уменьшить расходы на электроэнергию за счет выбора наиболее дешевого и выгодного поставщика на оптовом рынке электроэнергии, за счет снижения потерь от хищений и несанкционированных подключений, а также за счет прогнозирования и планирования потребления электроэнергии.

АИИС КУЭ – иерархическая система, функционально объединяющая совокупность измерительно – информационных комплексов точек измерений, информационно – вычислительных комплексов электроустановок, информационно – вычислительного комплекса и системы обеспечения единого времени, выполняющая функции проведения

измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, информации о состоянии объектов и средств измерений, а также передающая полученную информацию в интегрированную автоматизированную систему управления коммерческим учетом на оптовом рынке электроэнергии в автоматизированном режиме [6,142].

Элементами АИИС КУЭ являются:

–информационно – вычислительный комплекс электроустановки (ИВКЭ) –совокупность функционально объединенных программных, информационных и технических средств, предназначенных для решения задач диагностики состояния средств и объектов измерений, а также обеспечения интерфейсов доступа к этой информации. ИВКЭ применяется при распределенной структуре элементов АИИС КУЭ;

– информационно – вычислительный комплекс (ИВК) – совокупность функционально объединенных программных, информационных и технических средств, предназначенных для решения задач диагностики состояния средств и объектов измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, поступающих от ИВКЭ и информационно – измерительного комплекса (ИИК) субъекта оптового рынка электроэнергии, их агрегирования, а также обеспечения интерфейсов доступа к этой информации;

–измерительно–информационный комплекс точки учета (ИИК ТУ) – функционально объединенная совокупность программно – технических средств учета электроэнергии по данной точке, здесь формируется и последовательно преобразуются сигналы, содержащие количественную информацию об измеряемых физических величинах. Измерительно–информационный комплекс точки учета выполняет законченную функцию измерений и имеет нормированные метрологические характеристики.

Экономическая эффективность АИИС КУЭ определяется обобщением всех показателей эффективности автоматизированного учета.

Автоматизированный приборный учет энергоресурсов сводит к минимуму организационно-технические потери в структуре энергопотребления предприятия благодаря снижению или ликвидации их основных следующих составляющих:

- элементами прогнозирования и анализа состава нагрузок с возможностью изменения режимов работы оборудования по времени и величине энергопотребления в заданных зонах суток (пиковых зонах) для оптимизации платежей в рамках одного многозонного тарифа;

- с ведением хозрасчета по энергоресурсам между подразделениями предприятия устраняется технологические потери связанной с нарушением технологического цикла и неэффективным использованием оборудования;

- с расчетом реальных удельных норм на выпуск единицы продукции устраняется использование персоналом производственного оборудования в личных целях;

- с введением внутреннего хозрасчета по энергоресурсам между подразделениями предприятия и при материальном стимулировании работников по показателям. Устраняется незаинтересованность, безразличие персонала на рабочих местах к энергопотерям.

Обследование состояния учета расхода энергоресурсов на предприятиях наиболее энергоемких отраслей промышленности показало, что одним из существенных недостатков, тормозящих повышение уровня энергоиспользования, является недостаточной научно обоснованной методики построение рациональной системы внутрипроизводственного учета расхода энергоресурсов.

Система коммерческого учета является закрытой системой: доступ к её программе разрешен по специальному паролю только работникам Энергосбыта. Все электросчетчики и УСПД опломбированы и могут быть заменены лишь с разрешения Энергосбыта. Система обязательно имеет

сертификат средств измерений и при сдаче в эксплуатацию подлежит проверке областными органами стандартизации.

Система технического учета является полностью открытой для энергетического персонала предприятия. Программное обеспечение, поставляемое с системой, позволяет инженерам службы главного энергетика свободно видоизменять систему под требования производства, создавать по выбору группы учета, вводить лимиты потребления по подразделениям предприятия, устанавливать при необходимости новые приборы учета, заменять их.

Система технического учета позволяет управлять потреблением мощности предприятия в период максимума: диспетчер на экране своего монитора видит данные потребляемой мощности всех подразделений и потребителей, и в случае превышения ими установленных лимитов, либо даёт подразделению директивное указание о немедленном снижении потребляемой мощности, либо в соответствии с имеющейся у него технологической картой, дистанционно принудительно выключает подразделение. Причем выполнение всех указаний диспетчера моментально контролируется по графику на мониторе.

Система информирует визуальным и звуковым сигналом о подходе потребляемой предприятием мощности к предельно установленному значению, а также о превышении лимитов мощности по отдельным потребителям и подразделениям. Система технического учета позволяет контролировать использование электроэнергии всеми потребителями предприятия, в том числе наиболее энергоёмким оборудованием, состояние линейной электроаппаратуры, управлять дистанционно вакуумными и масляными выключателями.

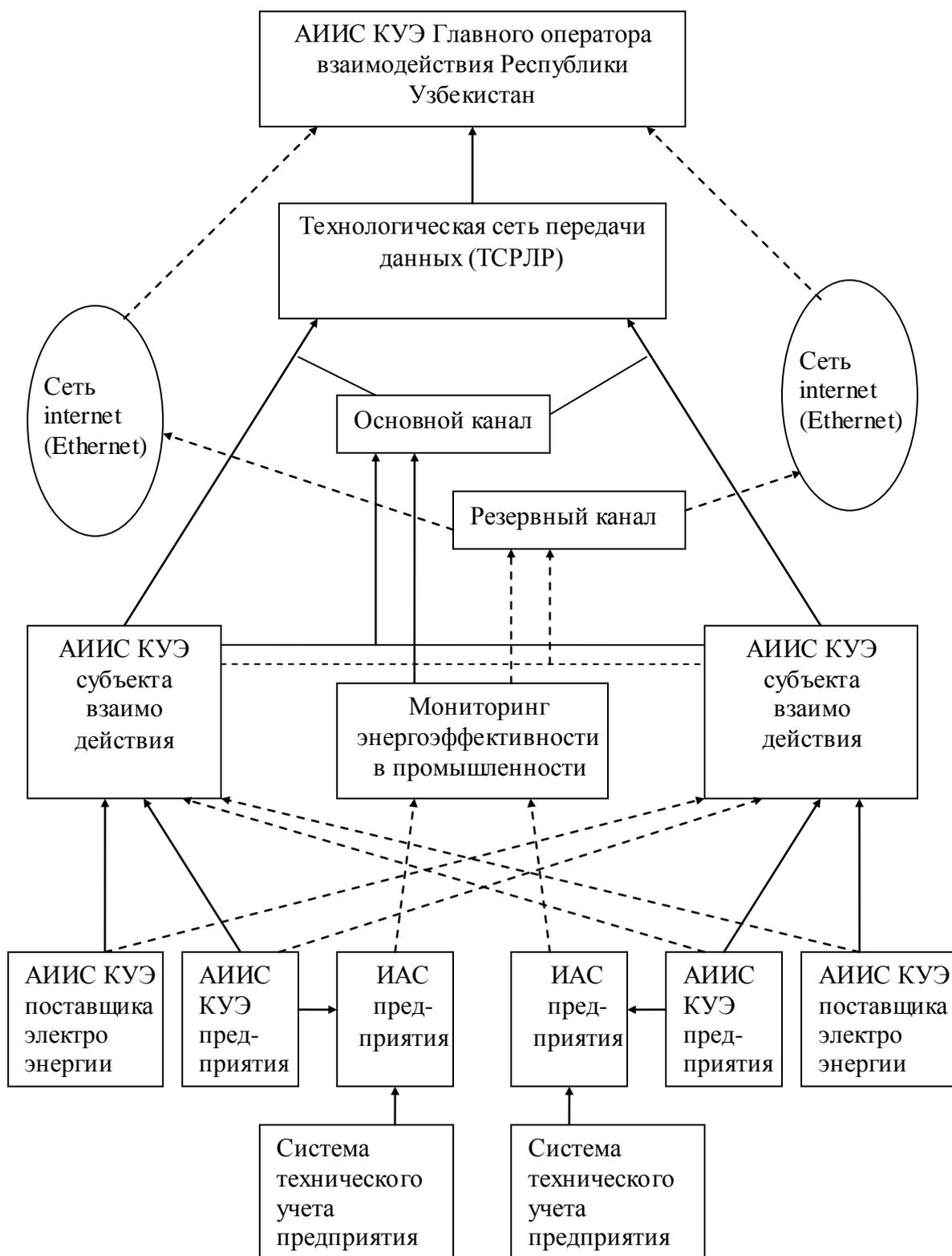


Рис. 1.1. Структура информационной сети АИИС КУЭ совместно с ИАС по энергоэффективности в промышленности

Решение вопроса рациональной организации учета расхода энергоресурсов на промышленных предприятиях возможно лишь на основе системного подхода, в увязке с другими элементами рациональной организации энергоиспользования (составлением и анализом энергобалансов предприятия, отдельных цехов и наиболее энергоемких агрегатов; разработкой и внедрением научно обоснованных норм энергопотребления; разработкой и проведением организационно–технических мероприятий по улучшению энергоиспользования).

С ростом технических возможностей управляющих средств СЭС, усиливается необходимость в аналитической информации по управляемому объекту для принятия обоснованных решения. В нормальных режимах функционирования СЭС нужны дополнительные данные о специфике работы изношенного оборудования, число единиц которого в СЭС постоянно увеличивается. При аварийных, послеаварийных и переходных процессах обнаруживается неопределенность в информации, для принятия адекватного текущей ситуации управляющего решения. Проблема характеризуется увеличением объема поступающих данных и недостаточностью информации для принятия решения. К другим проблемам относится возрастание объема неупорядоченных данных и сокращение времени на переработку информации, увеличивающаяся избыточность информации и неумение воспользоваться нужными данными.

Отсутствие теоретических разработок в сфере коммерческого учета электроэнергии делает актуальным рассмотрение всего спектра взаимосвязанных организационных и технических проблем выполнения измерений, обработки и передачи их результатов, определения составляющих балансов. Такой анализ позволит наметить пути совершенствования технологического обеспечения использования электроэнергии. Для более эффективного функционирования производства необходима организация точного и надежного учета электроэнергии с

наличием оперативных данных о производстве, передаче и потреблении электроэнергии. Для решения задач учета и управления энергопотреблением (в целом энергоресурсами) на промышленных предприятиях необходимо дополнительно к АСКУЭ внедрение систем технического учета [158] электропотребления (как первый этап системы учета всех энергоресурсов).

Главным шагом в решении проблемы энергосбережения на объектах энергосистем является внедрение разветвленной по всей иерархии предприятия автоматизированной системы учета, контроля и управления потреблением энергоресурсов в идеале – вплоть до рабочего места или токоприёмника [12].

Совместное функционирование системы коммерческого и технического учета обеспечивается использованием информационно–аналитической системы по энергоэффективности предприятия в качестве связывающего звена в АИИС КУЭ предприятия. Для реализации более эффективной системы учета предлагается модель АИИС КУЭ предприятия, представленная на рис. 1.1 [6].

Основу ИАС составляет компьютерная модель системы электроснабжения объекта энергосистем, предоставляющая возможность построения энергобалансов по всем уровням СЭС промышленного объекта. Выходные данные систем коммерческого и технического учета поступают в ИАС предприятия в качестве исходных данных.

Коэффициенты математической модели СЭС предприятия характеризуют параметры схемы электроснабжения предприятия [8]. На основе аналитической обработки текущих данных систем коммерческого и технического учета, а также расчетных данных математической модели СЭС предприятия определяются показатели электроэффективности предприятия.

Одна из главных особенностей интегрированной системы управления состоит в необходимости стыковки двух совершенно разноплановых технических систем – управления энергетикой и информационной. У каждой

из них свои принципы, приборы, аппараты, нормативная база. Их объединение в единое целое является очень интересной технической, метрологической и организационной задачей. Основное назначение системы – автоматизированный сбор, обработка и передача в единый центр данных о потоках электрической энергии на всех уровнях (от источника до потребителя).

1.5. Методы оценки технико–экономической эффективности энергосберегающих мероприятий в промышленности

Энергетическая эффективность производства характеризуется показателями энергосбережения, которые входят показатели энергоэффективности энергопотребляющей продукции, технологических процессов, энергетических ресурсов, использования материалов и строительных конструкций, а также показателями использования вторичных энергоресурсов. Показатели энергоэффективности устанавливаются в стандартах на оборудование, материалы, конструкции, транспортные средства, энергетические ресурсы [12,51,57,80].

Показатели энергоэффективности энергопотребляющей продукции применяются в виде:

- абсолютных значений, характеризующих расход энергоносителя (энергии) или потери энергии в регламентированных условиях (режимах) работы (использования) продукции и удельных нормативов;
- отношения расхода энергоносителя или потерь энергии к выработанной энергии, произведенной продукции (работе) в регламентированных условиях (режимах) работы.

Показатели использования вторичных энергоресурсов характеризуется их полезно используемой долей.

Основные показатели, определяющие эффективности использования электроэнергии в промышленности следующие [57]:

–электроёмкость по лидинговому параметру (отношение величины годового электропотребления к объёму выпуска основного вида продукции по предприятию в целом), кВт·ч на единицу продукции;

–электроёмкость по реализации (отношение величины годового электропотребления к общей стоимости выпускаемой основного вида продукции по предприятию в целом), кВт·ч/сум;

–индивидуальный, групповой, технологический, общепроизводственный удельный расход электроэнергии по лидинговому параметру (расход электроэнергии на производство единицы объёма продукции), кВт·ч на единицу продукции;

– доля электрозатрат в себестоимости, %.

Технико–экономическая эффективность на объектах энергосистем достигается главным образом за счет автоматизации производства, повышения производительности и надежности работы энергетического и технологического оборудования, бесперебойности и ритмичности производственного процесса, сокращения времени простоя оборудования и обслуживающего персонала, повышения оперативности управления.

Выбор наиболее целесообразного варианта решения технической задачи осуществляется на основе расчета сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, которая определяется в результате комплексного анализа стоимостных и натуральных показателей. К последним относят производительность труда, расход данных видов сырья, металла, материалов, топлива и т.п., уровень безотходности, простоту эксплуатации, санитарно – гигиенические условия труда и др.

При выборе оптимального варианта могут быть использованы вариантный, экстремальный методы расчетов или их сочетание, а также разностный метод и метод обобщенной разности единовременных затрат.

Вариантный метод заключается в определении приведенных затрат по каждому варианту и сопоставлении полученных значений. Экстремальный метод состоит в нахождении минимума функции, отражающей в аналитической форме изменение приведенных затрат под влиянием искомого параметра.

Следует иметь в виду, что экономический оптимум (минимум приведенных затрат), как правило, не совпадает с энергетическим оптимумом (максимальным значением КПД).

Методы оценки технико – экономической эффективности энергосберегающих мероприятий опирается на сложившиеся в мировой практике основные принципы оценки эффективности инвестиционных проектов [76]. Главными являются следующие пять принципов:

1. Принцип сопоставления полезных результатов проекта, выраженных в стоимостной форме (доходов, прибыли), с другими альтернативными возможностями вложения инвестиций.

2. Принцип моделирования потоков продукции, ресурсов и денежных средств. Все потоки должны быть привязаны к конкретным временным периодам.

3. Принцип соизмеримости результатов путем дисконтирования будущих поступлений разновременных денежных средств. Реализация этого принципа обеспечивает соизмерение результатов и затрат, осуществляемых в различные моменты времени. Используемая при этом ставка дисконтирования выбирается исходя из конкретных альтернатив помещения капитала.

4. Принцип определения интегральных результатов и затрат предполагает учет всех положительных и отрицательных потоков денежных средств за расчетный период. Это означает, что при расчетах экономической эффективности определяется интегральный экономический эффект за весь период функционирования объекта (расчетный период). Аналогичным

образом в основе расчета экономической эффективности должны лежать полные затраты за расчетный период.

5. Принцип учета неопределенности и рисков, связанных с осуществлением проекта.

В зависимости от базы сравнения различают оценку абсолютной эффективности проекта (ЭСМ), оценку эффективности замены техники, оценку эффективности при сравнении проектов, оценку эффективности дополнительных затрат. Проект оценивается или методом сопоставления капиталовложений с получаемым доходом, или методом сопоставления затрат по проекту с затратами базы сравнения.

Абсолютный эффект показывает результаты проекта при отсутствии замены техники аналогичного назначения, а также при нецелесообразности дальнейшего использования заменяемой техники.

Эффект замены аналогичной по назначению техники показывает результаты проекта при условии, что заменяемый (базовый) вариант конкурентоспособен. Он будет реализован при отказе от проекта. Оценка проекта выполняется в чистом виде. Сравнительный эффект позволяет определить лучший вариант из проектов аналогичного назначения. Проекты сравниваются в чистом виде.

Эффект дополнительных затрат показывает целесообразность увеличения затрат для достижения большего полезного результата.

При оценке эффективности ЭСМ соизмерение разновременных показателей осуществляется с помощью специального приема, называемого дисконтированием [56,76]. Понимается приведение всех будущих доходов и расходов к первоначальному моменту времени (началу реализации проекта). Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов используется процентная ставка (норма дисконта) E . Она определяется исходя из приемлемой и реально достижимой для инвестора нормы дохода на

капитал. Норма дисконта играет роль базового уровня, в сравнении с которым оценивается эффективность ЭСМ.

К основным показателям эффективности инвестиционных проектов относятся [56, 76]:

Чистый дисконтированный доход (интегральный эффект, чистая нынешняя стоимость, чистая текущая стоимость и т. д.), ЧДД;

Индекс доходности инвестиций (коэффициент эффективности проекта), ИД;

Внутренняя норма дохода, ВНД;

Срок окупаемости капиталовложений:

- динамический, T_0 ;

- статический, $T_0^{ст}$.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) равен разности между текущей ценностью потока будущих доходов или выгод и текущей ценностью будущих затрат на осуществление, эксплуатацию и техническое обслуживание проекта на всем протяжении срока его жизни.

ЧДД можно рассматривать как текущую ценность потока доходов или выгод от сделанных капиталовложений. В финансовом анализе рентабельности ЧДД представляет собой текущую ценность потока чистых поступлений, получаемых лицом или фирмой, в интересах которых предпринимается проект.

Для калькуляции ЧДД по проекту необходимо определить соответствующую ставку дисконта, использовать ее для дисконтирования потоков выгод и затрат, а затем суммировать полученные приведенные ценности. В анализе финансовой рентабельности ставка дисконта обычно является стоимостью капитала для фирмы. В случае экономического анализа ставка дисконта должна представлять собой альтернативную стоимость капитала, т.е. прибыль, которая могла бы быть получена при инвестировании в альтернативные проекты. Если сумма дисконтированных ценностей имеет

положительное значение, проект окажет положительное влияние на результаты деятельности фирмы или экономики в целом и может быть рекомендован для финансирования.

$$\text{ЧДД}(NPV) = \sum_1^n \frac{\Pi_t - Z_t}{(1 + E_n)^t}, \quad (1.1)$$

где: Π_t – суммарные выгоды или затраты проекта в год; Z_t – затраты на реализацию проекта в год t ; E_n – ставка дисконта, n – экономический срок жизни проекта.

Реальная ставка дисконта определяется по следующей формуле:

$$E_p = \frac{1 + E_n}{1 + E_u} - 1, \quad (1.2)$$

где: E_n – номинальная ставка в относительных единицах; E_u – ожидаемый среднегодовой темп инфляции.

Внутренняя норма дохода (или – внутренняя норма рентабельности) по проекту равна ставке дисконта, при которой выгоды равны затратам. Иными словами, внутренняя ставка дохода – это ставка дисконта, при которой чистый дисконтированный доход по проекту равен нулю. Рассчитывается методом последовательных приближений.

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений

$$\text{ИД}(NPVQ) = \frac{1}{I_0} \cdot \sum_1^n (\Pi_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E_n)^t}. \quad (1.3)$$

Индекс доходности тесно связан с ЧДД, он строится из тех же элементов и его значение связано со значением ЧДД: если ЧДД положителен, то ИД > 0 и наоборот. Если ИД > 0, проект эффективен, если ИД < 0 – неэффективен.

Период окупаемости капиталовложений указывает на число лет, требуемых для возмещения капиталовложений в проект за счет чистых выгод

от проекта. Этот показатель иногда удобен для быстрого расчета и может указать на вариант проекта, заслуживающий дальнейшего рассмотрения.

Различают статический и динамический срок окупаемости. Статический срок окупаемости показывает, за какой срок инвестор возвращает первоначальные капиталовложения и определяется по следующей формуле:

$$T_0 = \frac{K}{D_\tau}. \quad (1.4)$$

Динамический срок окупаемости T_0 соответствует времени, за которое инвестор вернет израсходованные средства и получит нормативный доход на уровне принятой ставки. Он рассчитывается исходя из уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T_0} \frac{D_t}{(1+E)^t} - K = 0, \quad (1.5)$$

решаемого относительно T_0 .

Основным критерием экономической эффективности разработки и внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) является рост прибыли промышленного предприятия на основе роста производительности коллективного труда и в основном за счет снижения затрат на производство продукции. В качестве количественного выражения экономической эффективности АСУ принимается годовая экономия от внедрения АСУ (Э год.), расчётный коэффициент затрат (E_p), срок окупаемости капитальных затрат (Т).

Величина годовой экономии рассчитывается по формуле:

$$\text{Э} = \left(\frac{A_2 - A_1}{A_1} \right) \cdot \Pi_1 + \left(\frac{C_1 - C_2}{100} \right) \cdot A_2, \quad (1.6)$$

где A_1 , A_2 – годовой объём реализуемой продукции до и после внедрения АСУ, млн.сум;

C_1 , C_2 – затраты на тыс.сум реализуемой продукции после внедрения АСУ;

Π_1 – прибыль от реализации продукции до внедрения АСУ, тыс. сум;

$\left(\frac{C_1 - C_2}{100}\right) \cdot A_2$ – годовой прирост прибыли за счет снижения издержек

производства, млн. сум.

Годовой экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{год}} - E_n \cdot K_{\text{АСУ}}, \quad (1.7)$$

где E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений в данной отрасли;

$K_{\text{АСУ}}$ – капитальные вложения, связанные с созданием и внедрением АСУ.

Эффективность затрат определяется показателями:

$$T = \frac{K_{\text{АСУ}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}; \quad E_p = \frac{\mathcal{E}_{\text{год}}}{K_{\text{АСУ}}}, \quad (1.8)$$

Внедрение системы считается достаточно эффективным, если расчётный коэффициент (E_p) затрат равен или больше нормативного ($E_{\text{нвт}}$),

т.е. $E_p \geq E_{\text{нвт}}; \quad T \leq \frac{I}{E_{\text{нвт}}},$

Сумма капитальных затрат определяется следующим образом:

$$K_{\text{АСУ}} = K_n + K_e, \quad (1.9)$$

где K_n – предпроизводственные затраты на проектирование АСУ;

K_e – капиталовложения в технические средства системы.

K_n – включают в себя затраты на составление технического задания, проектирование и внедрение системы.

K_e – включает в себя затраты на приобретение, монтаж технических средств АСУ, определится по формуле:

$$K_e = K_T + K_{\text{см}}, \quad (1.10)$$

где K_T – стоимость технических средств;

$K_{\text{см}}$ – затраты на транспортировку и монтаж технических средств.

Эксплуатационные расходы АСУ ($Z_{\text{экс}}$) определяются по формуле:

$$Z_{\text{экс}} = Z_{\text{зн}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{э}} + Z_{\text{пр}}, \quad (1.11)$$

где $Z_{\text{зн}}$ – расходы за год по зарплате и отчислениям на соцстрах персонала, занятого обслуживанием технических средств системы, тыс.сум.;

$Z_{\text{ам}}$ – сумма годовых амортизационных отчислений технических средств системы, тыс.сум.;

$Z_{\text{м}}$ – расход материалов и запчастей на текущий ремонт и содержание технических средств, руб.;

$Z_{\text{э}}$ – стоимость потребляемой электроэнергии, руб.;

$Z_{\text{пр}}$ – прочие расходы.

Эффективность энергоиспользования в энергетической установке характеризуется КПД, который определяется для различных видов используемой энергии как:

$$\eta_j = \mathcal{E}_{\text{пол}j} / \mathcal{E}_{\text{под}j}, \quad (1.12)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пол}j}$ – количество энергии, полезно использованной в j -й установке; $\mathcal{E}_{\text{под}j}$ – количество энергии, подведенной к j -й установке (включает энергию, выделяющуюся внутри установки в результате проведения технологических процессов).

В том случае, когда технологический агрегат является энерготехнологической установкой, вырабатывающей полезную неэнергетическую $A_{\text{под}}$ и энергетическую $\mathcal{E}_{\text{втор}j}$ продукцию, $\mathcal{E}_{\text{пол}j} = k \cdot A_{\text{пол}j} + \mathcal{E}_{\text{втор}j}$ и КПД агрегата определяется из выражения

$$\eta_j = (k \cdot A_{\text{пол}j} + \mathcal{E}_{\text{втор}j}) / \mathcal{E}_{\text{под}j}, \quad (1.13)$$

где k – переводной коэффициент.

Эффективность использования энергоносителя на участке (без учета потерь энергоносителя в системе распределения и преобразования) характеризуется коэффициентом полезного использования энергоносителя на этом участке, который для каждого вида энергоносителя (электроэнергии, теплоты топлива) рассчитывается по формуле:

$$\eta_{Jy} = \sum_{J=1}^N y_{ij}^{iie} / \sum_{J=1}^N y_{ij}^{iia}, \quad (1.14)$$

где \mathcal{E}_{ij}^{nol} , \mathcal{E}_{ij}^{nod} – соответственно количество i – го вида энергоносителя, полезно использованного в k –й установке и подведенного к ней; n – число установок на участке, использующих i – й вид энергоносителя.

Коэффициент полезного использования энергетических ресурсов на участке (в отделении, цехе, на предприятии) определяется по формуле:

$$\eta_{en} = \left(\sum_{J=1}^M \sum_{J=1}^N \mathcal{E}_{IJ}^{nol} \cdot K_I \right) / \left(\sum_{J=1}^M \sum_{J=1}^N \mathcal{E}_{IJ}^{nod} \cdot K_{nepI} \right), \quad (1.15)$$

где i, m – виды и число энергоносителей; j, n – виды и число установок конечного использования (без учета установок преобразования топлива и энергии); K_i, K_{nepi} – коэффициенты пересчета i –го энергоносителя и условное топливо; $K_{nepi} = K_i$ или $K_{nepi} = K_i / \eta_{ni}^{\Sigma}$; отсюда η_{ni}^{Σ} суммарный коэффициент полезного действия цепочки энергоснабжения при производстве i –го энергоносителя, определяемый с учетом КПД ступеней энергетического потока (добычи топлива, транспорта и переработки топлива, преобразования топлива в другой вид энергии, транспорта энергии):

$$\eta_{ni}^{\Sigma} = \eta_{доб.м} \cdot \eta_{тр.пер.т} \cdot \eta_{пр.т} \cdot \eta_{тр.э} \quad . \quad (1.16)$$

В первом случае будем иметь коэффициент полезного использования (КПИ) приведенных энергетических ресурсов, во втором – КПИ природных энергетических ресурсов.

Важнейшей предпосылкой эффективного использования энергетических ресурсов на объектах энергосистем является правильная организация их учета и контроля. Контроль над рациональным использованием энергоресурсов требует организации оперативного и стратегического мониторинга энергоэффективности. К числу мер оперативного и стратегического мониторинга можно отнести систематизацию учета количества и качества используемых энергоносителей.

Эта система строится в виде иерархической структуры – от учета энергопотребления на каждом рабочем месте до сбора интегральных показателей энергоэффективности предприятия и энергоёмкости ВВП.

Экономический эффект от внедрения систем учета формируется за счет: уменьшения оплаты за заявленную максимальную электрическую мощность; сокращения расхода электроэнергии; сокращения расхода топлива - и энергоресурсов; льготного тарифа на электроэнергию при оптимизации потребления реактивной энергии; снижения себестоимости продукции при повышении ее качества; снижения потерь на брак; уменьшения численности обслуживающего персонала энергохозяйства.

Экономический эффект Π_n при применении приборного способа учета расхода энергетических ресурсов отдельным внутрипроизводственным потребителем энергии (цехам, участкам, агрегатам) определяется по выражению

$$\Pi_n = \Delta Z_{\text{э}} - \Delta Z_{\text{п}}, \quad (1.17)$$

где $\Delta Z_{\text{э}}$ – снижение приведенных затрат, которое достигается в результате экономии энергии от установки прибора учета и проведения комплекса работ по улучшению энергоиспользования, сум/год; $\Delta Z_{\text{п}}$ – дополнительные приведенные затраты, связанные с работами по улучшению энергоиспользования, сум/год.

Установка приборов учета для внутрипроизводственного потребителя энергии экономически целесообразна при условии $\Pi_n > 0$.

Снижение приведенных затрат $\Delta Z_{\text{э}}$ определяется по выражению

$$\Delta Z_{\text{э}} = C \Delta \cdot W, \quad (1.18)$$

где C – стоимость единицы энергии, сум/ед. энергии; ΔW – ожидаемая экономия энергии, ед. энергии/год. В свою очередь

$$\Delta W = \Delta e \cdot W, \quad (1.19)$$

где W – годовой расход энергии рассматриваемым потребителем, ед.энергии/год; Δe – относительное значение ожидаемого снижения расхода энергии в долях ее общего расхода данным внутрипроизводственным потребителем:

$$\Delta e = \Delta e_1 + \Delta e_2 + \Delta e_3 + \Delta e_4, \quad (1.20)$$

где $\Delta e_1, \Delta e_2, \Delta e_3, \Delta e_4$ – относительная экономия энергии за счет нормализации, соответственно, технического состояния энергопотребляющего оборудования, режимов работы энергетического оборудования, режимов работы технологического оборудования и за счет проведения организационно–технических мероприятий по улучшению энергоиспользования в условиях внедрения комплексной системы учета.

Экономический эффект при применении расчетного способа учета для отдельного внутрипроизводственного объекта ориентировочно может быть оценен по выражению

$$P_p = a \cdot \Delta Z_{\text{э}} - b \cdot \Delta Z_{\text{п}}, \quad (1.21)$$

где a – доля снижения приведенных затрат $\Delta Z_{\text{э}}$, обеспечиваемая при использовании расчетного способа учета по сравнению с приборами; b – доля дополнительных приведенных затрат $\Delta Z_{\text{п}}$, связанная с использованием расчетного учета по сравнению с приборами.

В укрупненных расчетах по определению величины P_p значения коэффициентов a и b рекомендуется принимать в пределах $a=0,05 \div 0,1$ и $b=0,03 \div 0,08$ (верхний из указанных пределов – при использовании нормализованных инженерных расчетов, нижний – в случае применения ориентировочных методов оценки).

Суммарный экономический эффект при применении приборного и расчетного способов учета для предприятия в целом определяется по выражению:

$$P_c = \sum P_{\text{п}} + \sum P_p, \quad (1.22)$$

где $\Sigma P_{\text{п}}$ – суммарный экономический эффект при применении приборного способа внутрипроизводственного учета по предприятию, сум/год; ΣP_p – суммарный экономический эффект при применении расчетного способа внутрипроизводственного учета по предприятию, сум/год.

Уровень эффективности учета по предприятию в целом оценивается коэффициентом эффективности учета

$$K_{\text{э}} = P_c / P_0, \quad (1.23)$$

где P_0 – суммарный экономический эффект при внедрении рациональной системы учета на данном предприятии, сум/год; определяется для рассматриваемых условий по выражению, аналогичному определению P_c . В условиях полного внедрения системы учета $K_{\text{э}} = 1,0$.

В условиях проектируемых предприятий минимальная величина ожидаемой экономии Δe^{min} в долях единицы, ниже которой внедрение автоматизированной системы учета электроэнергии экономически нецелесообразно, определяется выражением

$$\Delta e^{\text{min}} = \frac{E_n \cdot \Delta K^a + I_y^a + I_n + I_{\text{отм}}}{(1 - \Pi) \cdot C \cdot W}, \quad (1.24)$$

где E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений; ΔK^a – дополнительные единовременные затраты на создание автоматизированной системы учета электроэнергии, разработку норм электропотребления и внедрения организационно–технических мероприятий по экономии электроэнергии; I_y^a , I_n , $I_{\text{отм}}$ – дополнительные эксплуатационные расходы, связанные соответственно, с обслуживанием автоматизированной системы учета электроэнергии; Π – доля общей экономии, расходуемая на премирование работников, обеспечивающих экономию электроэнергии; C – стоимость единицы электроэнергии; W – расчетный годовой расход электроэнергии.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1. Обоснование структуры математической модели системы электроснабжения промышленного предприятия

Основой аналитической части системы является математическая модель СЭС объекта энергосистем, позволяющая комплексно исследовать показатели энергоэффективности промышленного объекта. В этой связи проанализируем методы моделирования энергетических объектов с учетом задач энергосбережения [23,26,38,50,64,69]. Качества результатов, получаемых от энергетических обследований, зависят от степени детализации расчетных параметров элементов схемы электроснабжения, т.е. от выбора метода моделирования СЭС, от точности расчета нагрузок и потерь в элементах СЭС. Применение более точных методов расчета электрических нагрузок позволит рациональнее использовать элементы электрических сетей, снизить установленные мощности силовых трансформаторов, сократить расход цветного металла, кабельной продукции. Анализ результатов многочисленных экспериментальных исследований показывает, что загрузка электрооборудования оказывается значительно ниже номинальной. Это относится, прежде всего, к промышленным предприятиям, имеющим резкопеременный характер графиков нагрузки [20,38].

Решение задачи эффективного использования электроэнергии возможно на основе изучения закономерностей формирования электропотребления, получения достоверных прогнозных оценок расхода электроэнергии, повышения научной обоснованности и точности его плановых значений и норм, управления режимами электропотребления

[32,66]. Одной из важнейших систем управления энергетическим хозяйством предприятия является планирование энергопотребления. Необходимость всемерного повышения научной обоснованности планирования потребления энергии на промышленном предприятии, определяется не только важностью требования обеспечения производства, но и ограниченностью производства большинства энергоресурсов. Особое значения планирование энергопотребления и повышение его точности приобретают в связи с переходом промышленности на рыночные отношения.

Решение задач повышения эффективности и надежности работы СЭС тесно связано с вопросами расчета и прогнозирования электрических нагрузок. Расчет электрических нагрузок занимает важное место при проектировании СЭС объектов энергосистем. Поскольку расчет является одним из первых этапов проектирования, то значения электрических нагрузок существенно влияют на выбор всех элементов СЭС ее технико-экономические показатели. От точности расчетов электрических нагрузок зависят инвестиции, расход металла, потери электроэнергии. Ошибки в расчетах в сторону уменьшения электрических нагрузок вызывают повышение потерь электроэнергии, износ изоляции. Увеличение расчетных нагрузок связано с неоправданными капитальными затратами.

Важным достижением теории электрических нагрузок является [38] метод вероятностного моделирования, достаточно достоверно описывающий физическую природу формирования процессов изменения электрических нагрузок. Практической реализацией метода вероятностного моделирования является метод коэффициента максимума k_m .

В методе вероятностного моделирования используется математическая модель «случайная величина», основными вероятностными характеристиками которой являются математическое ожидание и дисперсия. Этой математической модели соответствует минимальная по объему информационная база исходных данных: индивидуальные коэффициенты

использования k_n или математические ожидания P_c нагрузок ЭП, выраженные в системе относительных единиц. Метод k_m позволяет определять две статические расчетные характеристики графика: среднюю нагрузку P_{cp} и нагрузку по нагреву P_{co} .

В основу этого подхода положены иерархическая модель структуры СЭС, расширенная информационная база исходных данных и метод вероятностного моделирования. Сущность иерархической модели структуры СЭ состоит в выделении нижних (напряжением до 1 кВ) и высших (напряжением выше 1 кВ) уровней, состоящих из групп ЭП и подстанций с соединяющей их электрической сетью. Нижние и высшие уровни иерархии формируются из ступеней. Порядковые номера ступеней соответствуют порядковым номерам последовательно соединенных элементов СЭ, через которые электроэнергия подается к группам ЭП.

Типовая программа проведения энергетических обследований [75] предусматривает изучение частных энергобалансов и удельное энергопотребление по видам энергоресурсов, а также прямые потери энергии и базу данных о расходе энергоносителей. На основе статистического анализа выявляются потребители с регулярными объемами потребления и аномальными потреблением. Аномальные объекты подлежат детальному энергетическому обследованию, при этом заполняется детализированная информационная база данных по энергопотребляющему оборудованию, установленному на объектах. Собираются проектные, среднестатистические и фактические показатели, которые определяются на основе сравнения исходных данных. Решение этих задач предполагает математическую модель СЭС, позволяющую сохранение всех исходных и расчетных данных, а также создание базы данных, с аналитической обработкой этих данных математическими методами.

Основное содержание этой части работы состоит в разработке энергетических балансов, позволяющих детализировать энергетические

потоки по цехам и подразделениям предприятия, а также дать количественную оценку энергетическим потерям и указать участки и причины их возникновения. Трудоемкость работы аудитора во многом зависит от степени детализации, которая в итоге определяет точность результатов обследования.

Методика моделирования, описанная в работе [38], достаточно четко устанавливает нагрузки элементов СЭС, но не позволяет получить общую математическую модель СЭС. При этом уравнения, используемые в расчетах, достаточно сложны для аналитической обработки обобщенных показателей электроэффективности. Уравнения, описывающие расчетные параметры элементов СЭС, расположенных на различных ступенях, имеют идентичную форму. Обобщение этих уравнений и программирование с базой данных позволяет создать [8] математическую модель СЭС предприятия, основанную на машинных методах расчета.

Матричные модели энергетических балансов позволяют существенно повысить точность плановых расчетов; внутренне увязать баланс; упростить балансовую работу; облегчить проведение плановых, многовариантных, корректировочных расчетов; обеспечивают применение вычислительных средств, при составлении планов энергоснабжения [100].

При построении динамической модели энергетического баланса предприятия особое значение имеет анализ энергопотребления. Начальной процедурой анализа является составление энергопотоков предприятия. В общем случае для повышения эффективности планирования энергопотребления необходима максимальная детализация элементов системы энергоснабжения. Особое внимание следует уделять этапу расчета коэффициентов прямых затрат (удельных расходов). Коэффициент прямых затрат энергии представляет собой норму расхода энергии или удельный расход энергии при производстве единицы продукции.

В связи с разработкой на объектах энергосистем информационных и управляющих систем, эти модули могут иметь большое значение. В этом случае модель энергетического баланса необходима для алгоритмизации плановых расчетов, как наиболее экономичная форма систематизации, хранения и переработки информации в части энергетических технико-экономических показателей оперативного управления энергетикой предприятия. Модели позволяют энергетическим цехам точно и оперативно реагировать на всевозможные изменения плановой программы в основных цехах предприятия и таким образом могут сыграть положительную роль в совершенствовании существующих систем оперативного управления. Матричные модели, прежде всего, могут рассматриваться как инструмент плановых расчетов и анализа, необходимый энергетическим службам промышленных предприятий.

Для определения структуры математической модели и с учетом вышеперечисленных задач сформулируем основные требования этой математической модели СЭС:

1. Универсальность модели, обеспечивающая исследование всевозможных вариантов схемы электроснабжения различных предприятий.
2. Единый расчетный цикл, обеспечивающий построение энергетических балансов по всем уровням системы электроснабжения.
3. Программирование последовательности расчетов и создание базы данных по СЭС ОЭС.
4. Автоматический поиск, просмотр, редактирование, добавление, отбор и сортировка данных по запросу исследователя.
5. Возможность автоматического чтения и обмен данных с внешними программами.

Для обеспечения требований исследований энергосбережения предлагается следующая структура обобщенной модели СЭС ОЭС. Математическая модель СЭС ОЭС представляет собой информационный

массив (таблицу) с различными видами переменных (текстовые, числовые, файловые и т.п.) и с изменяющейся размерностью. Размеры массива зависят от ступеней СЭС, числа распределительных пунктов и технологического электрооборудования. В математической модели СЭС ОЭС имеют место совокупность уравнений, используемых при расчете нагрузок, при расчете потерь, технико–экономических показателей СЭС и т.п. С помощью модели осуществляют расчет существующей СЭС ОЭС и составляют энергобалансы предприятия во всех уровнях СЭС, и в целом по ОЭС.

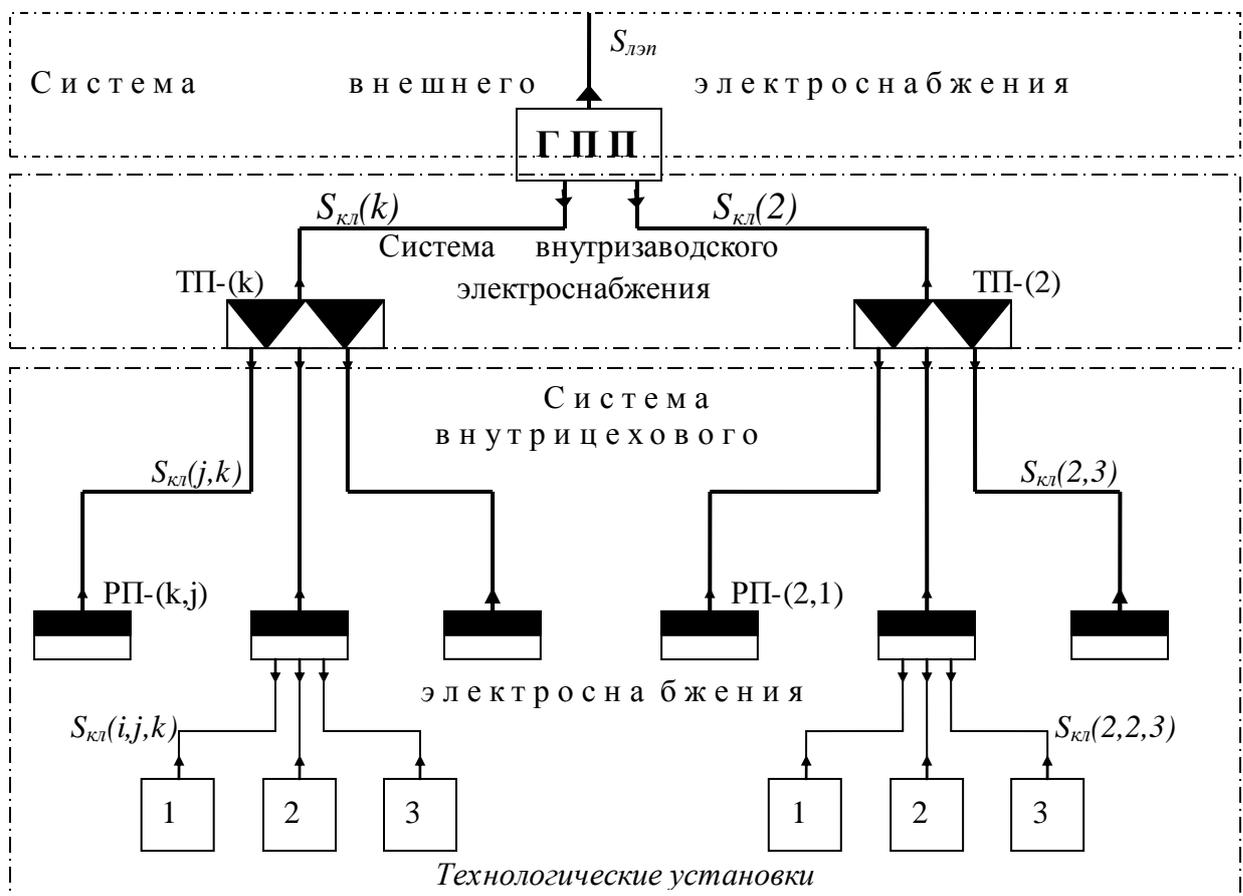


Рис. 2.1. Схема обобщенной системы электроснабжения объекта энергосистемы

На рис. 2.1 показана схема обобщенной СЭС промышленного предприятия (ПП), включающая в себя четыре уровня СЭС предприятия. Электрические сети между технологическим электрооборудованием (ТЭО) и распределительными пунктами (РП) составляют первый уровень СЭС.

Второй уровень СЭС включает в себя сети от трансформаторных подстанций (ТП) до РП. Высоковольтные кабельные линии (КЛ) и цеховые ТП составляют третий уровень СЭС. Четвертым уровнем СЭС является внешняя система электроснабжения ОЭС, включающая как главную понизительную подстанцию (ГПП) (или центральную распределительного пункта), так и линию электропередач до сетевой подстанции. Для расчета этих сетей используется трехмерный массив $P(k,j,i)$, где k – определяет номер трансформаторной подстанции и высоковольтной кабельной линии; j – номер РП; i – номер ТЭО.

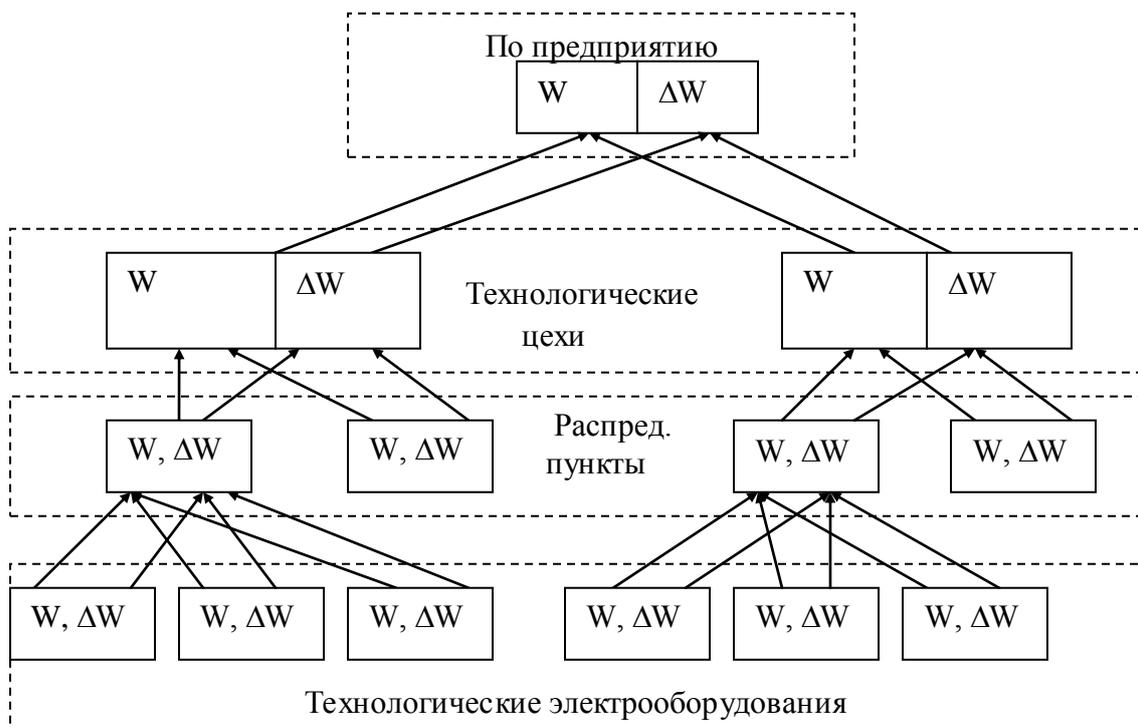


Рис. 2.2. Структурная схема формирования расчетных данных энергодансы объекта энергосистемы.

На рис. 2.2. показана структурная схема формирования расчетных данных (технологического расхода и потерь мощности) энергетического баланса ОЭС. Расчет осуществляется по иерархической схеме (по ступеням СЭС) т.е. снизу вверх. Расчет нагрузок и потерь в элементах СЭС осуществляется многоциклическими алгоритмами расчета. Каждый цикл

определяет уровень СЭС. Расчетные параметры элементов СЭС верхнего уровня определяются суммированием этих же параметров нижнего уровня.

Такое построение модели СЭС позволяет сохранить все исходные и расчетные показатели для создания базы данных по СЭС ПП, а также построить энергетические балансы СЭС единым расчетным процессом.

2.2. Математическое описание системы внутрицехового электроснабжения промышленного предприятия

Цеховые электрические сети являются концевыми участками разветвленных сетей энергосистем и как объекты проектирования имеют ряд особенностей. Схема, конфигурация электрической сети, ее конструктивное исполнение связаны с требованиями технологического процесса рассматриваемого цеха [57,160]. Поскольку одни и те же цеха или установки могут многократно использоваться на предприятии, то в технологии их проектирования целесообразно предусматривать такие приемы, при которых проектные решения типизировались для групп аналогичных объектов.

Основную часть потребляемой электроэнергии на объектах энергосистем составляет расход на технологические нужды. В начале составляется расчетная модель части СЭС, включающая сети непосредственно питающие ТЭО. Расчет производится по структурным схемам, показанным на рис. 2.1 и 2.2.

Система внутрицехового электроснабжения включает в себя две ступени СЭС предприятия. Электрические сети между технологическим электрооборудованием (ТЭО) и распределительными пунктами (РП) составляют первый уровень СЭС. Второй уровень СЭС включает в себя сети, от трансформаторных подстанций (ТП) до РП.

Расчет энергобалансов СЭС предприятия начинается с определения технологического расхода мощности ТЭО, по следующей формуле:

Расход активной мощности, кВт:

$$P_{cp}(i, j, k) = P_{yc}(i, j, k) \cdot k_u(i, j, k); \quad (2.1)$$

Расход реактивной мощности, кВАр:

$$Q_{cp}(i, j, k) = P_{cp}(i, j, k) \cdot tg\varphi(i, j, k), \quad (2.2)$$

где P_{yc} – установленная мощность ТЭО, кВт; k_u – коэффициент использования ТЭО; $tg\varphi$ – коэффициент мощности ТЭО.

Для расчета потерь мощности на КЛ, определяется расчетная мощность нагрузки КЛ. Расчетная активная мощность, кВт:

$$P_{p.кл}(i, j, k) = P_{cp}(i, j, k) \cdot k_m(j, k); \quad (2.3)$$

Расчетная реактивная мощность, кВАр:

$$Q_{p.кл}(i, j, k) = P_{p.кл}(i, j, k) \cdot tg\varphi(i, j, k); \quad (2.4)$$

Расчетная полная мощность нагрузки КЛ, кВА:

$$S_{p.кл}(i, j, k) = \sqrt{P_{p.кл}^2(i, j, k) + Q_{p.кл}^2(i, j, k)}, \quad (2.5)$$

где k_m – коэффициент максимума группы электроприемников, включенных к РП – (k, j) , определяется по их эффективному числу следующей формулой:

$$n_{эф}(j, k) = \frac{(\sum_{i=1}^i P_{yc}(i, j, k))^2}{\sum_{i=1}^i P_{yc}(i, j, k)^2}; \quad (2.6)$$

Расчетный ток КЛ – (k, j, i) , питающий ТЭО:

$$I_{p.кл}(i, j, k) = \frac{S_{p.кл}(i, j, k)}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_3}, \quad (2.7)$$

где U_3 – номинальное напряжение нижней ступени СЭС, кВ.

Потери активной и реактивной мощности в КЛ – (k, j, i) :

$$\Delta P_{кл}(i, j, k) = 3 \cdot I_{p.кл}^2(i, j, k) \cdot R_0(i, j, k) \cdot l_{кл}(i, j, k); \quad (2.8)$$

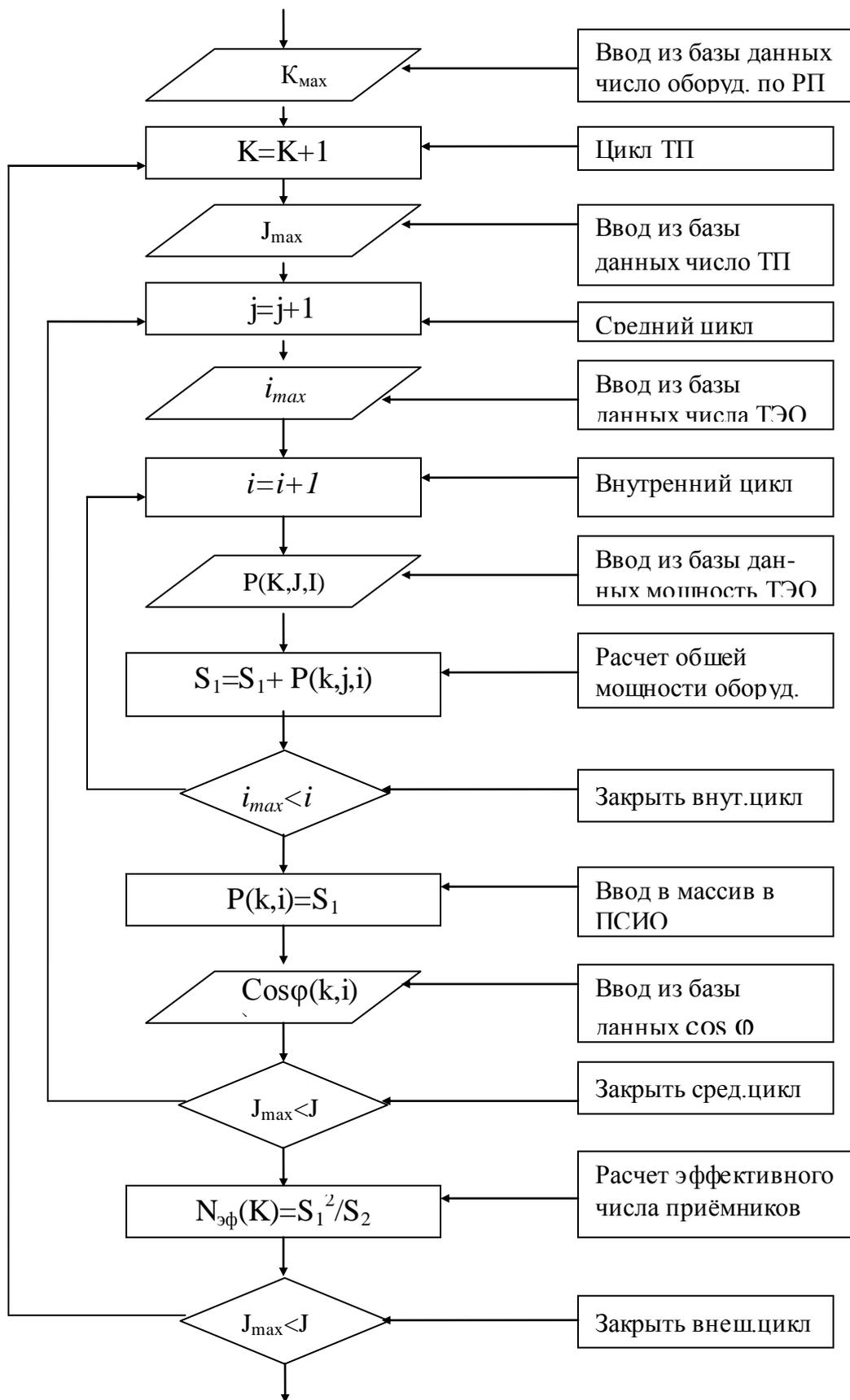


Рис. 2.3. Алгоритм ввода исходных данных внутрицеховой СЭС

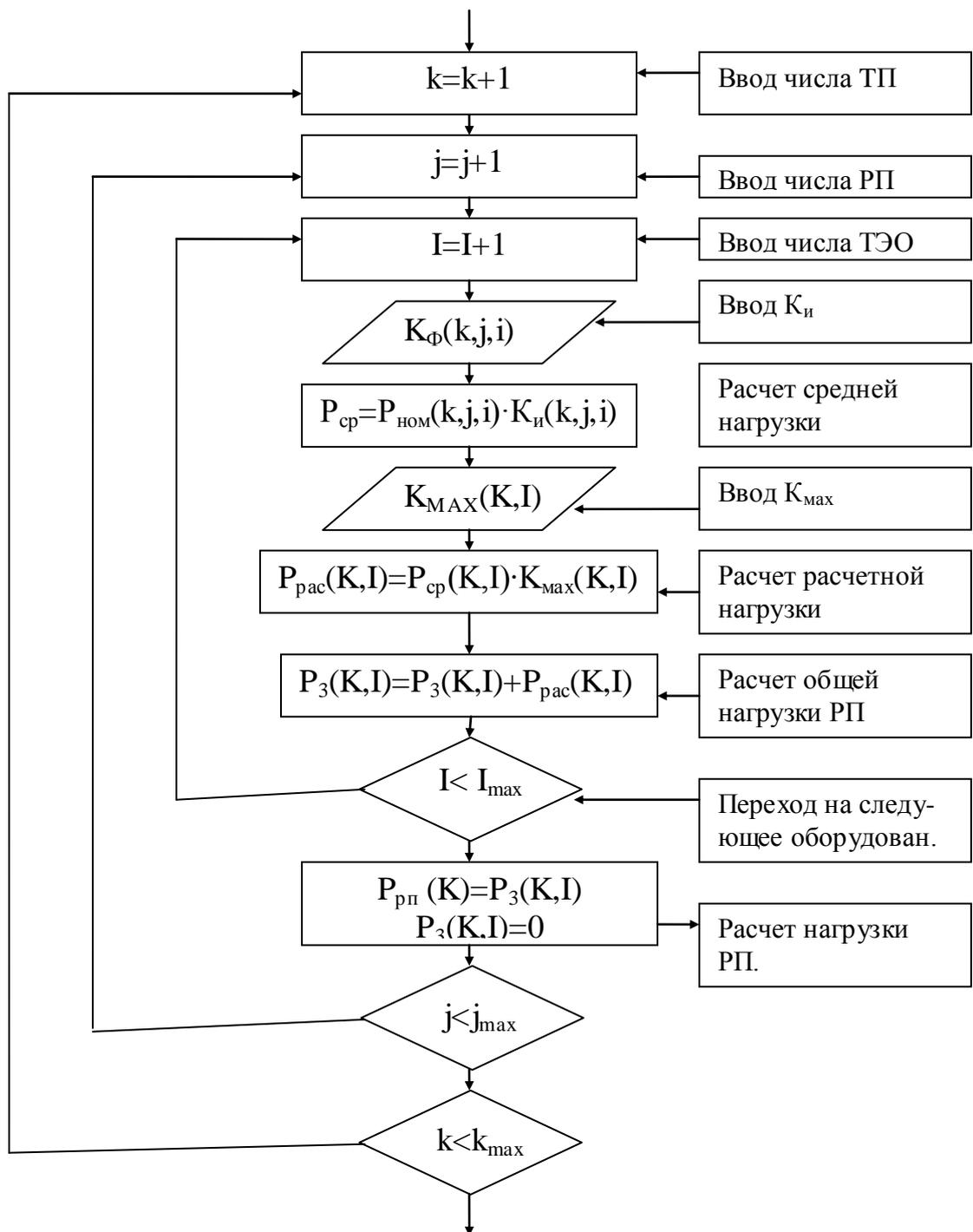


Рис. 2.4. Алгоритм формирования расчетных данных внутрицехового электроснабжения

$$\Delta Q_{кл}(i, j, k) = 3 \cdot I_{р.кл}^2(i, j, k) \cdot X_0(i, j, k) \cdot l_{кл}(i, j, k) \quad (2.9)$$

где l —длина кабельных линий, км.

Активная, реактивная и полная мощность в начале КЛ в нижней ступени СЭС:

$$P_{кл}(i, j, k) = P_{ср}(i, j, k) + \Delta P_{кл}(i, j, k); \quad (2.10)$$

$$Q_{кл}(i, j, k) = Q_{ср}(i, j, k) + \Delta Q_{кл}(i, j, k); \quad (2.11)$$

$$S_{кл}(i, j, k) = \sqrt{P_{кл}^2(i, j, k) + Q_{кл}^2(i, j, k)}. \quad (2.12)$$

Следующая ступень СЭС внутрицехового электроснабжения включает в себя кабельные линии, питающие РП (k, j) . Расчетная мощность КЛ – (k, j) , питающая РП – (k, j) , определяется суммированием мощностей КЛ, присоединенных к данной РП:

$$P_{кл}(j, k) = \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{кл}(i, j, k); \quad (2.13)$$

$$Q_{кл}(j, k) = \sum_{i=1}^{i_{max}} Q_{кл}(i, j, k); \quad (2.14)$$

$$S_{р.кл}(j, k) = \sqrt{P_{р.кл}^2(j, k) + Q_{р.кл}^2(j, k)}, \quad (2.15)$$

где i_{max} – число ТЭО, включенных на РП – (k, j) .

Расчетный ток КЛ, питающий РП – (k, j)

$$I_{р.кл}(j, k) = \frac{S_{р.кл}(j, k)}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_2}. \quad (2.16)$$

Потери активной и реактивной мощности в КЛ – (k, j)

$$\Delta P_{кл}(j, k) = 3 \cdot I_{р.кл}^2(j, k) \cdot R_0(j, k) \cdot l_{кл}(j, k); \quad (2.17)$$

$$\Delta Q_{кл}(j, k) = 3 \cdot I_{р.кл}^2(j, k) \cdot X_0(j, k) \cdot l_{кл}(j, k). \quad (2.18)$$

Расчетная мощность в начале КЛ – (k, j) :

$$P_{кл}(j, k) = P_{кл}(j, k) + \Delta P_{кл}(j, k); \quad (2.19)$$

$$Q_{кл}(j, k) = Q_{кл}(j, k) + \Delta Q_{кл}(j, k); \quad (2.20)$$

$$S_{кл}(j, k) = \sqrt{P_{кл}^2(j, k) + Q_{кл}^2(j, k)}. \quad (2.21)$$

На этом этапе заканчивается расчет энергетических балансов внутрицехового электроснабжения. Общий технологический расход электроэнергии по предприятию определяется по формуле:

$$P_{mex} = \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{cp}(k, j, i). \quad (2.22)$$

Общие потери кабельных линий цеха, определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{кл}(k) = \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \Delta P_{кл}(k, j) + \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} \Delta P_{кл}(k, j, i); \quad (2.23)$$

Алгоритмы ввода исходных данных системы внутрицехового электроснабжения показаны на рис. 2.3. Алгоритм определения расчетных данных и построения энергетических балансов цехового электроснабжения показаны на рис. 2.4.

2.3. Математическое описание системы внутризаводского электроснабжения

Результаты внутрицехового электроснабжения будут исходными данными для внутризаводского электроснабжения. Система внутризаводского электроснабжения включает в себя кабельные сети, питающие отдельные цеха и цеховые трансформаторные подстанции. Следующей ступенью СЭС предприятия будут электрические сети, включающие высоковольтные кабельные линии, питающие цеховые трансформаторные подстанции. Мощность нагрузки трансформаторов определяется суммированием мощности КЛ – (j,k), присоединенных к этой ТП:

$$P_{mp}(k) = \sum_{j=1}^{j_{max}} (P_{кл}(j, k) + \Delta P_{кл}(j, k)); \quad (2.24)$$

$$Q_{mp}(k) = \sum_{j=1}^{j_{max}} (Q_{кл}(j, k) + \Delta Q_{кл}(j, k)); \quad (2.25)$$

$$S_{mp}(k) = \sqrt{P_{mp}(k)^2 + Q_{mp}^2(k)}; \quad (2.26)$$

где j_{max} – число РП подключенных к ТП – (k).

Потери активной и реактивной мощности на цеховых трансформаторах:

$$\Delta P_{mp}(k) = n(k) \cdot \left(\Delta P_{\kappa}(k) \cdot \left(\frac{S_{m.p}(k)}{n(k) \cdot S_{m.n}(k)} \right)^2 + \Delta P_0(k) \right); \quad (2.27)$$

$$\Delta Q_{mp}(k) = n(k) \cdot \left(\frac{U_k(k) \cdot U_1^2}{100 \cdot S_{mm}(k)} + \frac{i_0(k) \cdot S_{mm}(k)}{100} \right), \quad (2.28)$$

где ΔP_{κ} , U_k – потери и напряжения короткого замыкания; ΔP_0 , i_0 – потери и ток холостого хода трансформатора; n – число трансформаторов ТП.

Мощность КЛ в третьей ступени СЭС, питающая цеховых ТП, определяется суммой мощности нагрузки и потери мощности трансформаторов:

$$P_{кл}(k) = P_{mp}(k) + \Delta P_{mp}(k); \quad (2.29)$$

$$Q_{кл}(k) = Q_{mp}(k) + \Delta Q_{mp}(k); \quad (2.30)$$

$$S_{кл}(k) = \sqrt{P_{кл}(k)^2 + Q_{кл}^2(k)}. \quad (2.31)$$

Расчетный ток КЛ в третьей ступени СЭС, питающей цеховые ТП:

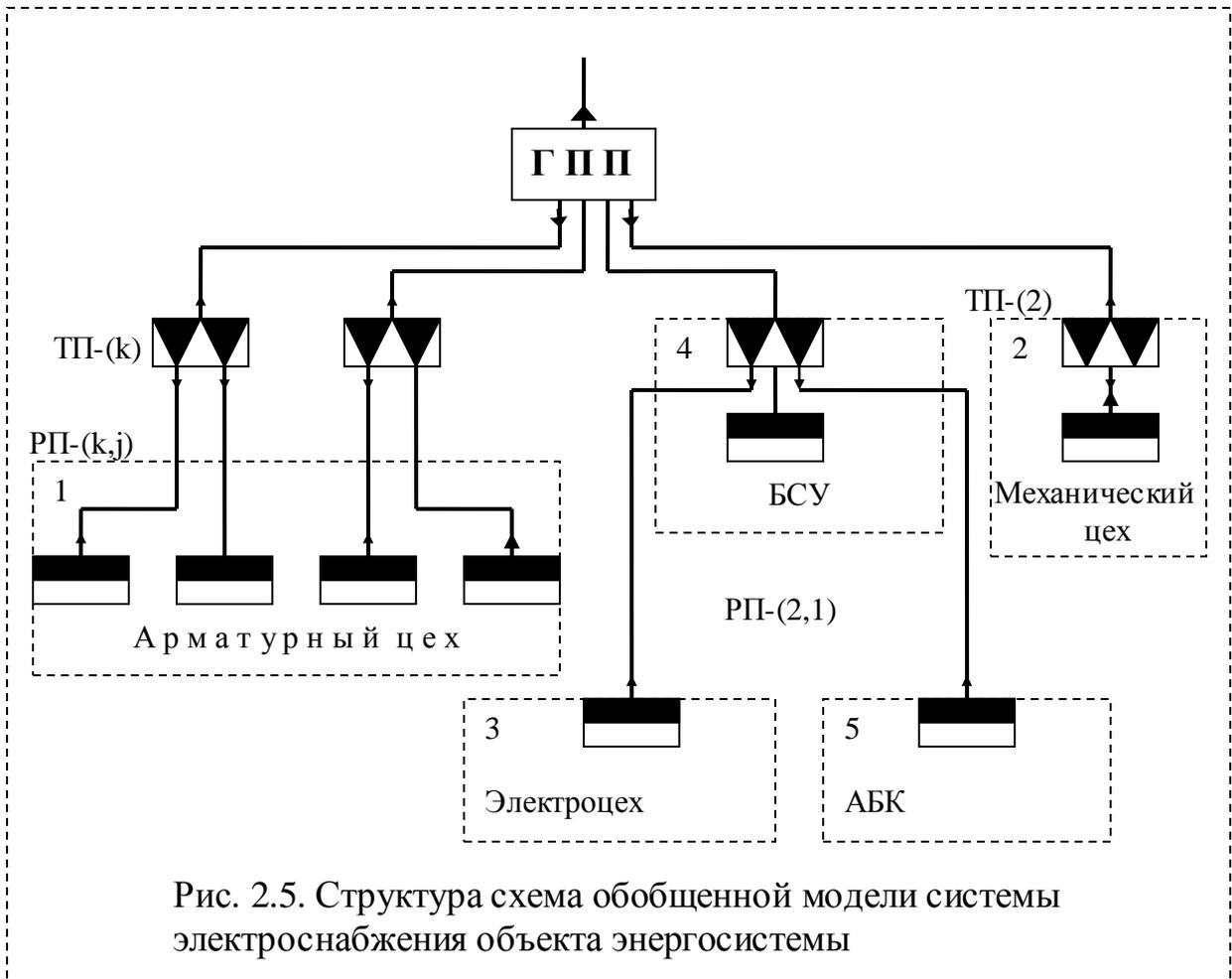
$$I_{p.кл}(k) = \frac{S_{p.кл}(k)}{n(k) \cdot \sqrt{3} \cdot U_2}. \quad (2.32)$$

Потери мощности КЛ в третьей ступени СЭС, питающей цеховые ТП:

$$\Delta P_{кл}(k) = 3 \cdot I_{p.кл}^2(k) \cdot R_0(k) \cdot l_{кл}(k). \quad (2.33)$$

Следующей ступенью СЭС будет система внешнего электроснабжения предприятия, включающая ЛЭП между подстанций энергосистемы и

предприятием, а также главной понизительной подстанцией (или распределительным пунктом) предприятия.



Мощность нагрузки ГПП (или ГРП)

$$P_{общ} = \sum_{k=1}^{k_{max}} (P_{кл}(k) + \Delta P_{кл}(k)); \quad (2.34)$$

$$Q_{общ} = \sum_{k=1}^{k_{max}} (Q_{кл}(k) + \Delta Q_{кл}(k)); \quad (2.35)$$

$$S_{общ}(k) = \sqrt{P_{общ}^2 + Q_{общ}^2}, \quad (2.36)$$

где k_{max} – число ТП или высоковольтных КЛ на предприятии.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{mp} = n \cdot \left(\Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{m.p}}{n \cdot S_{m.н}} \right)^2 + \Delta P_0(k) \right) \quad (2.37)$$

$$\Delta Q_{mp} = n \cdot \left(\frac{U_k \cdot U^2}{100 \cdot S_{шт}} + \frac{i_0 \cdot S_{шт}}{100} \right) \quad (2.38)$$

Мощность ЛЭП, питающей ГПП (или ГРП), определяется суммой мощности нагрузки предприятия и потери мощности трансформаторов ГПП:

$$P_{лэп} = P_{mp} + \Delta P_{mp}; \quad (2.39)$$

$$Q_{лэп} = Q_{mp} + \Delta Q_{mp}; \quad (2.40)$$

$$S_{лэп} = \sqrt{P_{лэп}^2 + Q_{лэп}^2}. \quad (2.41)$$

Расчетный ток ЛЭП

$$I_{лэп} = \frac{S_{лэп}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_c}. \quad (2.42)$$

Потери мощности ЛЭП, питающие предприятия:

$$\Delta P_{лэп} = 3 \cdot I_{лэп}^2 \cdot R_0 \cdot l_{лэп}. \quad (2.43)$$

Такое построение структуры модели СЭС позволяет создать таблицы энергобалансов по кабельным линиям и трансформаторным подстанциям предприятия. Для создания таблицы данных по цехам, следуют дополнительные преобразования расчетов внутризаводского электроснабжения. Создание таблицы данных по цехам рассмотрим на примере схемы, показанной на рис.2.5. Здесь число трансформаторных подстанций не соответствует числу цехов предприятия.

Энергобалансы по цехам строятся перераспределением расходов электроэнергии трансформаторных подстанций разработанным алгоритмом по цехам (рис. 2.7). При этом задается граничное значение нумерации распределительных щитов и подстанций, находящихся в данном цеху.

Технологический расход электроэнергии отдельного цеха определяется по следующей формуле:

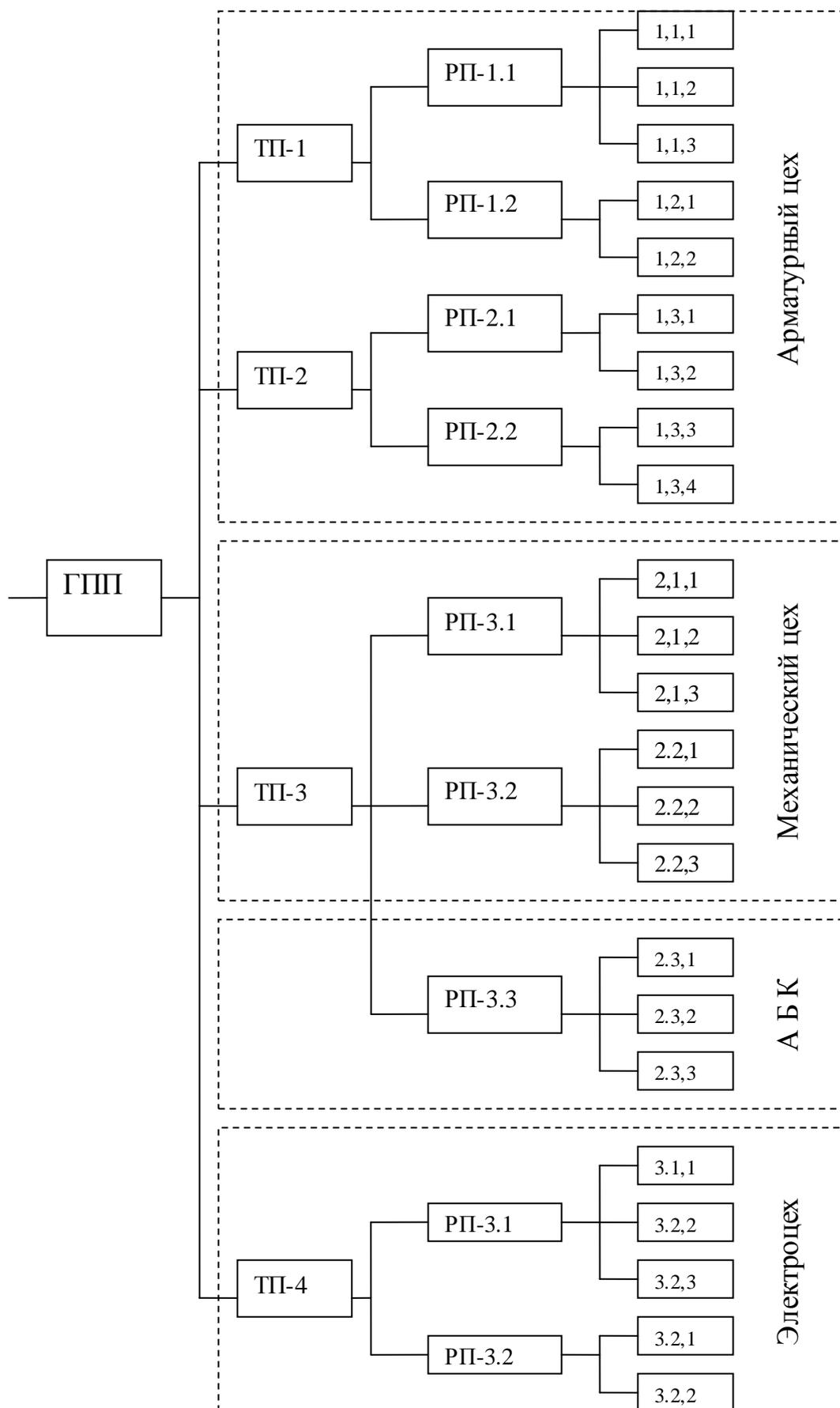


Рис. 2.6. Схема для расчета энергобаланса по цехам предприятия

$$P_{cp.u}(n) = \sum_{k_{min}}^{k_{max}} \sum_{j_{min}}^{j_{max}} P_{cp}(k, j), \quad (2.44)$$

где n – порядковый номер цеха; k_{max} и k_{min} – максимальный и минимальный номер ТП, находящиеся в данном цеху; J_{max} и J_{min} – максимальный и минимальный номер РЩ, находящихся на ТП с нумерацией в пределах k_{max} и k_{min} .

Из рис. 2.6. видно, что цеховые ТП неоднозначно распределяются по цехам предприятия. Некоторые цеха имеет несколько ТП (Арматурный цех), некоторые отдельные ТП (Механический цех) и некоторые цеха питаются от ТП других цехов (АБК, Электроцех).

Поэтому, базы данных по цехам формируются по данным второго уровня СЭС, т.е. по данным РП. Например, технологический расход электроэнергии арматурного цеха определяется по следующей формуле:

$$P_{cp.u}(1) = \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 P_{cp}(k, j); \quad (2.45)$$

Механический цех питается от отдельного ТП–3. Поэтому, технологический расход электроэнергии механического цеха будет равным потребляемой мощности ТП – 3. т.е. определяется суммой мощностей всех РП этого ТП:

$$P_u(2) = \sum_{k=3}^3 \sum_{j=1}^{j_{max}} P_{кл}(k, j). \quad (2.46)$$

Электроцех, бетоносмесительный узел (БСУ) и административный корпус (АБК) питаются от общей ТП–4. Например, питание этих цехов осуществляется от ТП – 4 в следующем порядке. Электроцех питается от РП с порядковым номером от 1 до 3, БСУ от 4 до 8 и АБК от 9 до 10. При этом расход электроэнергии определяется по следующим формулам:

По электроцеху:

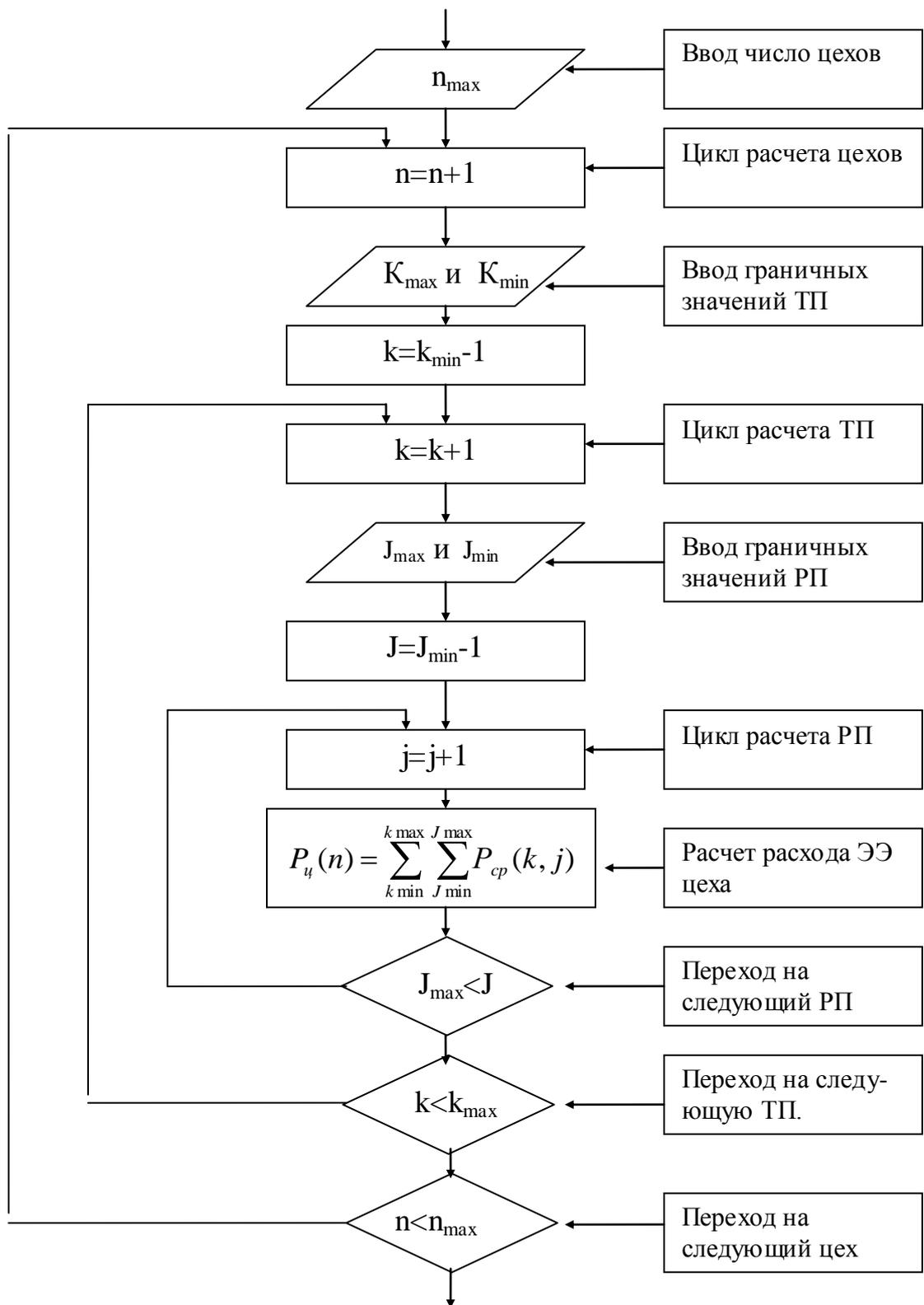


Рис. 2.7 Алгоритм формирования расчетных данных по цехам предприятия

$$P_u(3) = \sum_{k=4}^4 \sum_{j=1}^3 P_{кл}(k, j); \quad (2.47)$$

По БСУ

$$P_u(4) = \sum_{k=4}^4 \sum_{j=4}^8 P_{kl}(k, j); \quad (2.48)$$

По АБК

$$\Delta P_u(5) = \sum_{k=4}^4 \sum_{j=9}^{10} P_{kl}(k, j). \quad (2.49)$$

Предложенный алгоритм расчета позволяет построить энергобаланс предприятия с любой конфигурацией внутривозводской схемы электроснабжения. Создается новая таблица энергобаланса по цехам предприятия, позволяющая структурировать расход электроэнергии в соответствии с таблицами энергетического паспорта и определить удельные расходы по видам выпускаемой продукции.

Такое построение структуры модели позволяет создать единую таблицу базы данных по предприятию, а также проводить автоматизированный расчет энергетических балансов по кабельным линиям, трансформаторным подстанциям, по цехам и в целом по предприятию.

2.4. Обобщенная модель системы электроснабжения промышленного предприятия

Создание универсальной системы управления системой электроснабжения, которая могла бы найти применение на любом крупном предприятии независимо от характера производства, можно рассматривать как первый шаг к созданию интегрированной автоматизированной системы управления, объединяющей непосредственное управление электроснабжением с управлением энергохозяйством, технологией производства и административно – хозяйственными вопросами. Комплекс управляющих вычислительных машин следует использовать для решения

задач оптимального управления производством с учетом всех сторон деятельности предприятия.

Создание обобщенной модели СЭС ОЭС позволяет смоделировать различные режимы электропотребления объекта энергосистем, определить наиболее энергоэффективное производство продукции, эффективное управление энергохозяйством производственного объекта, а также определяет предпосылки к созданию интегрированной автоматизированной системы управления энергохозяйством предприятия на основе аналитических данных.

Обобщая уравнения математической модели СЭС всех ступеней, получим обобщенную модель системы электроснабжения объекта энергосистем. Математическая модель первой ступени СЭС будет представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{cp}(i, j, k) = P_{yc}(i, j, k) \cdot k_u(i, j, k) \\ Q_{cp}(i, j, k) = P_{cp}(i, j, k) \cdot \operatorname{tg} \varphi(i, j, k) \\ P_{p.kл}(i, j, k) = P_{cp}(i, j, k) \cdot k_m(j, k) \\ Q_{p.kл}(i, j, k) = P_{p.kл}(i, j, k) \cdot \operatorname{tg} \varphi(i, j, k) \\ S_{p.kл}(i, j, k) = \sqrt{P_{p.kл}^2(i, j, k) + Q_{p.kл}^2(i, j, k)} \\ I_{p.kл}(i, j, k) = \frac{S_{p.kл}(j, k)}{\sqrt{3} \cdot U_2} \\ \Delta P_{кл}(i, j, k) = 3 \cdot I_{p.kл}^2(i, j, k) \cdot R_0(i, j, k) \cdot l_{кл}(i, j, k) \\ W_{кл}(i, j, k) = P_{cp}(i, j, k) \cdot T_{нб} + \Delta P_{кл}(i, j, k) \cdot \tau \end{array} \right. \quad (2.51)$$

На этом этапе расчета энергетических балансов предприятия определяется технологический расход электроэнергии на производимую продукцию, а также потери при передаче электроэнергии на технологическое оборудование. Устанавливается технологический удельный расход электроэнергии на единицу продукции.

На следующем этапе определяется расход электроэнергии по распределительным пунктам, включая технологические, вспомогательные, собственные и хозяйственные нужды.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{p.кл}(j, k) = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P(i, j, k) \\ Q_{p.кл}(j, k) = \sum_{i=1}^{i_{\max}} Q_{p.кл}(i, j, k) \\ S_{p.кл}(j, k) = \sqrt{P_{p.кл}^2(j, k) + Q_{p.кл}^2(j, k)} \\ I_{p.кл}(j, k) = \frac{S_{p.кл}(j, k)}{\sqrt{3} \cdot U_2} \\ \Delta P_{кл}(j, k) = 3 \cdot I_{p.кл}^2(j, k) \cdot R_0(j, k) \cdot l_{кл}(j, k) \\ \Delta W_{кл}(j, k) = \Delta P_{кл}(j, k) \cdot \tau \end{array} \right. \quad (2.52)$$

Модель внутриводской системы электроснабжения представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{н.мп}(k) = \sum_{j=1}^{j_{\max}} P(j, k) \\ Q_{н.мп}(k) = \sum_{j=1}^{j_{\max}} Q_{p.кл}(j, k) \\ \Delta P_{мп}(k) = n(k) \cdot \left(\Delta P_{к}(k) \cdot \left(\frac{S_{м.р}(k)}{n(k) \cdot S_{м.н}(k)} \right)^2 + \Delta P_0(k) \right) \\ \Delta Q_{мп}(k) = \left(\frac{U_k(k) \cdot S_n^2(k)}{100 \cdot S_{н.м}(k)} + \frac{i_0(k) \cdot S_{нм}(k)}{100} \right) \\ P_{p.кл}(k) = P_{н.мп}(k) + \Delta P_{мп}(k) \\ Q_{p.кл}(k) = Q_{н.мп}(k) + \Delta Q_{мп}(k) \\ S_{p.кл}(k) = \sqrt{P_{p.кл}^2(k) + Q_{p.кл}^2(k)} \\ I_{p.кл}(k) = \frac{S_{p.кл}(k)}{\sqrt{3} \cdot U_1} \\ \Delta P_{кл}(k) = 3 \cdot I_{p.кл}^2(k) \cdot R_0(k) \cdot l_{кл}(k) \\ \Delta W_{кл}(k) = \Delta P_{кл}(k) \cdot \tau \end{array} \right. \quad (2.53)$$

Общий расход электроэнергии на предприятии определяется по следующим формулам:

$$P_{общ} = \sum_{k=1}^{k_{max}} (P_{кл}(k) + \Delta P_{кл}(k)); \quad (2.54)$$

$$Q_{общ} = \sum_{k=1}^{k_{max}} (Q_{кл}(k) + \Delta Q_{кл}(k)); \quad (2.55)$$

$$S_{общ} = \sqrt{P_{общ}^2 + Q_{общ}^2}; \quad (2.56)$$

2.5. Математическая модель энергобаланса промышленного предприятия

На основе полученной математической модели СЭС объекта энергосистемы составляем математическое описание электробаланса по всем ступеням СЭС предприятия. Его структурная схема была дана на рис. 2.2. Определяем математическое описание составляющих (элементов) энергобаланса предприятия по ступеням СЭС.

Технологический расход электроэнергии определяется по формуле (2.12):

$$P_{mex} = \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i). \quad (2.57)$$

Потери мощности в КЛ на i -уровне СЭС предприятия, с учетом уравнений (2.12) и (2.13), определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{кл}(i, j, k) = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i \frac{(P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j))^2 + (P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j, i))^2}{(U_1 - \Delta U_1(k, j, i))^2} \times$$

$$\times R_0(i, j, k) \cdot l_{кл}(i, j, k), \quad (2.58)$$

где $\Delta U_{кл}(k, j, i)$ – потери напряжения в КЛ на i -уровне СЭС, определяются по следующей формуле:

$$\Delta U_2(k, j, i) = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k(j, i) \cdot R_0(k, j) \cdot l(k, j, i) / U_3 +$$

$$+ \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j, i) \cdot X_0(k, j) \cdot l(k, j, i) / U_3. \quad (2.59)$$

Потери мощности в КЛ на j -уровне СЭС предприятия, с учетом уравнений (2.12) и (2.13), определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{кл}(k, j) = \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} \frac{\left(\sum_{i=1}^i P_u(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i)^2 + \sum_{i=1}^i P_u(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j)^2 \right)}{(U_2 - \Delta U_2(k, j))^2} \cdot R_0(j, k) \cdot l_{кл}(j, k). \quad (2.60)$$

Потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{мп}(k) = n(k) \cdot \left(\Delta P(k)_к \cdot \frac{\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i))^2 + \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j))^2}{n^2(k) \cdot S_{н.м}^2(k)} + \Delta P_0(k) \right) \quad (2.61)$$

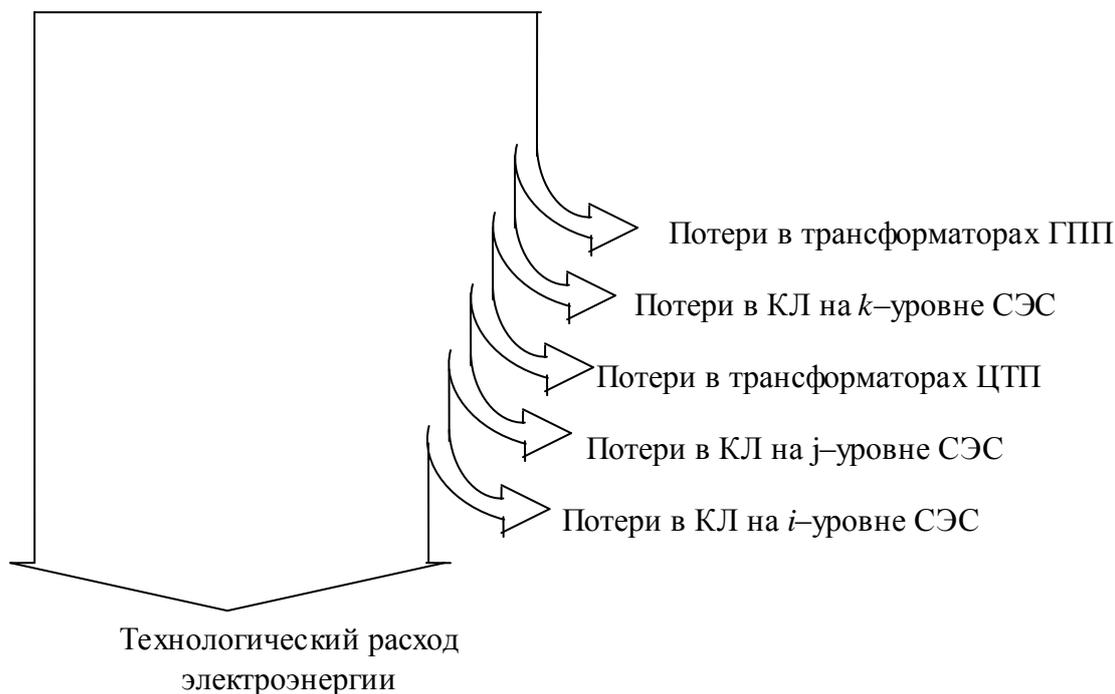


Рис. 2.8. Структура энергобаланса предприятия по ступеням СЭС.

Потери мощности в КЛ на j -уровне СЭС предприятия, с учетом уравнений (2.12) и (2.13) определяется по следующей формуле:

$$P_{\kappa l}(k) = \sum_{k=1}^{k_{\max}} \frac{\left(\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i))^2 + \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j))^2 \right)}{(U_3 - \Delta U_3(k))^2} \times (2.62)$$

$$\times R_0(k) \cdot l_{\kappa l}(k)$$

Потери мощности в трансформаторах ГПП устанавливаем по следующей формуле:

$$\Delta P_{znn} = n \cdot \left(\Delta P_{\kappa} \cdot \left(\frac{S_{\text{обш}}}{n \cdot S_{m.n}} \right)^2 + \Delta P_0 \right). \quad (2.63)$$

Суммируя эти составляющие, получим общее математическое описание энергобаланса предприятия:

$$P = \sum_{k=1}^{k_{\max}} \frac{\left(\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i))^2 + \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j))^2 \right)}{(U_3 - \Delta U_3(k))^2} \cdot R_0(k) \cdot l_{\kappa l}(k) +$$

$$+ n(k) \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i))^2 + \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (P(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j))^2}{n^2(k) \cdot S_{m.m}^2(k)} + \Delta P_0(k) \right) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} \frac{\left(\sum_{i=1}^i P_u(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(j, i)^2 + \sum_{i=1}^i P_u(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j)^2 \right)}{(U_2 - \Delta U_2(k, j))^2} \cdot R_0(j, k) \cdot l_{\kappa l}(j, k) +$$

$$+ \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i \frac{(P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j))^2 + (P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i) \cdot k_m(k, j) \cdot \operatorname{tg} \varphi(k, j, i))^2}{(U_1 - \Delta U_1(k, j, i))^2} \times$$

$$(2.64)$$

$$\times R_0(i, j, k) \cdot l_{\kappa l}(i, j, k) + \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i P_y(k, j, i) \cdot k_u(k, j, i).$$

В приложение П–1 показана Структурная схема для составления программы расчета энергобалансов предприятия. В приложение П–2 дана схема энергобаланса предприятия для составления таблицы энергобаланса и для визуального программирования. В приложение П–3- паспорт алгоритм для составления программы расчета энергобалансов предприятия.

Результаты расчетов выводятся в общую таблицу в виде энергобаланса предприятия, а также трех отдельных таблиц «Электрические нагрузки», «Трансформаторы» и «Кабельные линии». В приложение П–1 показаны общая таблица (паспорт алгоритм) программы, схемы формирования расчетных данных таблицы.

Такое построение математической модели СЭС ПП позволяет сохранить все исходные и расчетные данные, а также создать базы данных по СЭС предприятия и произвести сортировку данных по различным критериям. Например, технологический расход мощности по предприятию:

$$P_{mex} = \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{cp}(k, j, i). \quad (2.65)$$

общие потери предприятия можно узнать по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P_{общ} = & \Delta P_{тр.зпп} + \Delta P_{лэп} + \sum_{k=1}^{k_{max}} (\Delta P_{тр}(k) + \Delta P_{кл}(k)) + \\ & + \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \Delta P_{кл}(k, j) + \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} \Delta P_{кл}(k, j, i); \end{aligned} \quad (2.66)$$

К.п.д. СЭС предприятия в передаче электроэнергии внутривозовским сетям.

$$\eta_{сэс} = \frac{\sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{cp}(k, j, i)}{\sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{cp}(k, j, i) + \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} \Delta P_{кл}(k, j, i) + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k \Delta P_{кл}(k, j) + \sum_{k=1}^k \Delta P_{кл}(k)}; \quad (2.67)$$

Технологический удельный расход электроэнергии на единицу продукции:

$$\gamma_{mex} = \frac{\sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \sum_{i=1}^{i_{max}} P_{cp}(k, j, i)}{V_{час}}; \quad (2.68)$$

где $P_{час}$ – часовой выпуск продукции по предприятию.

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1. Принцип построения рациональной системы электрообеспечения промышленного предприятия

В энергетических обследованиях эффективность СЭС определяется сравнением существующей и рациональной схем ЭС объектов энергосистем. В качестве рациональной схемы ЭС принимается схема с наилучшими технико-экономическими показателями, которая достигается оптимизацией параметров схемы ЭС предприятия [58,65,104]. Оптимизация СЭС промышленных предприятий требует рассмотрения множества вариантов с тысячами исходных данных. Создание автоматизированных систем даст возможность существенно повысить качество проектирования [58,76,104,153]. Применение ЭВМ позволит проанализировать в сжатые сроки при ограниченных разнообразных нагрузках и для каждого варианта получить достоверные развернутые технико-экономические данные в объеме, не доступном при ручном расчете даже одного варианта.

Современные персональные компьютеры позволяют использовать более точные и подробные математические модели, открывая новые возможности в применении теоретических разработок. Здесь первоочередными задачами являются создание математических моделей элементов распределительной сети как основы оптимизации проектирования, разработка простых алгоритмов, описывающих отдельные этапы проектирования СЭС и весь процесс в целом. При проектировании СЭС ПП предъявляются следующие основные требования: надежность, экономичность, гибкость, позволяющая без существенных изменений схемы

обеспечивать питание установок, а также требуемые показатели качества электроэнергии.

При автоматизированном проектировании СЭС ОЭС проектировщики основываются на следующих общих принципах проектирования [153]:

1. Принцип глубокого ввода высокого напряжения, в максимальном приближении высшего напряжения к электроустановкам с минимальным количеством трансформации.

2. Принцип децентрализации приёма и распределения электроэнергии, заключающийся в дроблении подстанций.

3. Принцип глубокого секционирования всех звеньев СЭС, от ГПП до сборных шин низкого напряжения.

4. Принцип отказа от «холодного» резерва, все элементы системы должны нести постоянную нагрузку.

5. Принцип раздельной работы линий и трансформаторов, обеспечивающий снижение токов короткого замыкания.

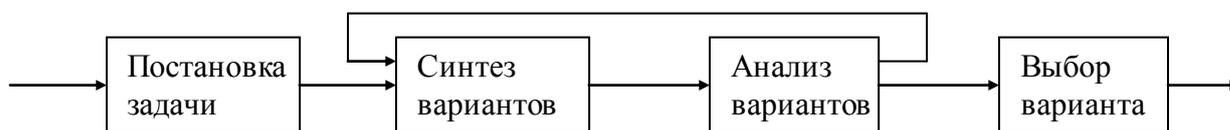


Рис.3. 1. Основные этапы проектирования СЭС

В самом общем виде процесс проектирования СЭС может быть представлен состоящим из четырех основных этапов:

- постановка задачи или так называемые «внешнее проектирование» - определение свойств и характеристик будущей системы, ориентировочная оценка стоимости проектирования, производства и эксплуатации будущей системы;

- синтез проекта, в сущности - формирование вариантов системы из отдельных элементов;

- анализ вариантов, на этом этапе производится окончательный расчет всех синтезированных элементов системы;
- выбор наилучшего варианта по одному (главному) критерию.

Указанная на рис. 3.1. обратная связь между блоками 3 и 2 означает, что в процессе анализа вариантов возможно появление (синтез) нового варианта, который также подлежит расчету.

В начале определяются цели и задачи проектирования. В процессе проектирования целями могут быть: снижение начальных капитальных затрат, стоимости эксплуатации или обслуживания, повышение надежности СЭС и чаще всего – снижение приведенных расчетных затрат. Для принятия некоторых решений используется теория оптимизации. Оптимизация – это процесс определения значений регулируемых параметров, приводящих к экстремальному значению оптимизируемого параметра [78,117, 118].

Задача оптимизации может быть представлена в виде

$$\min_{x \in S} f(x). \quad (3.1)$$

где $f(x)$ -наиболее важный параметр из выходов системы; x - независимые переменные, S -множество, представляющее область их возможного изменения.

Целевая функция может быть задана либо алгоритмически, при которой оптимизация достигается методом перебора вариантов и выбора наилучшего из них по заранее известному критерию, либо аналитически, в которой оптимизация достигается нахождением условного экстремума целевой функции. Возможен промежуточный путь, сочетанием обоих методов оптимизации СЭС. При этом предварительно с помощью оптимизирующей модели следует выбрать для сравнения лишь варианты, находящиеся вблизи оптимального решения. Затем, применяя метод перебора вариантов, тщательно сравнить их и окончательно выбрать один.

положительным и получаем область допустимых решений. По граничным значениям этих переменных последовательно определяются максимумы.

Во многих постановках задачи на распределение электрической энергии часто приходят к нелинейным целевым функциям или к ограничениям, или к тому и другому вместе. Задача оптимального распределения реактивной мощности в заданной СЭС может служить типичным примером, так как в этом случае потери активной мощности, а следовательно и стоимость потерь энергии являются квадратичной функцией тока. При большом количестве синхронных электродвигателей на промышленном предприятии необходимо правильно назначать загрузку этих двигателей реактивной мощностью с целью получить наивыгоднейшие режимы распределения реактивных мощностей и напряжения в электрической сети. Несмотря на то, что неразрывная связь между режимами напряжения и реактивной мощности в СЭС совершенно очевидна, в теории и на практике оптимизацию этих режимов производят отдельно. Это объясняется отсутствием методики расчета оптимальных режимов напряжения совместно с режимами реактивной мощности, для современных достаточно сложных СЭС.

Задачи оптимизации должны решаться с точки зрения системного подхода. При этом выбор рациональных режимов работы всего предприятия необходимо производить, оценивая экономическую эффективность работы всего предприятия в целом [112]. Системный подход при решении оптимизационных задач предполагает управление качеством электроэнергии, направленным на уменьшение ее потерь в СЭС, а также на повышение производительности механизмов и качества выпускаемой продукции.

Технико–экономический анализ на основе сравнения удельных приведенных затрат не является исчерпывающим, поскольку не учитывает существенные качественные отличия электроустановок [111,118]. По ресурсной обеспеченности, по характеру воздействия на окружающую среду,

по техническим возможностям электроустановки существенно отличаются между собой. Дать экономическую оценку этих и других важнейших качественных особенностей часто практически невозможно. Одним из методов, позволяющих преодолеть эти трудности, является метод многокритериального анализа, сущность которого состоит в оценке комплексного показателя эффективности [108,112].

Системы электроэнергетики являются столь сложными объектами, что в целом ряде случаев решение о выборе оптимального варианта их структуры или направления развития не может быть сделано на основе какого-либо одного показателя: затрат, прибыли или рентабельности. Очень часто приходится принимать решение с учетом достижения различных, иногда даже противоречивых целей. При этом степень достижения каждой цели характеризуется количественно величиной соответствующего критерия оптимальности. Так, например, наряду с минимумом затрат стараются обеспечить максимум надежности, минимум воздействия на окружающую среду, максимум производительности труда и т.п. Такого рода задачи называются задачами векторной оптимизации, а также многоцелевыми или многокритериальными, поскольку совокупность критериев эффективности по разным целям образует вектор критериев.

С математической точки зрения, одновременное достижение экстремальных значений n -функциями лишено смысла. Поэтому решение многокритериальных задач связано с следующей проблемой - выбор принципа оптимальности, определяющего, в каком смысле оптимальное решение лучше всех других решений. Только после этого формально-математический аппарат может быть использован для количественного исследования задачи.

Дополнительные затруднения возникают в задачах, где локальные критерии имеют различные единицы измерения. В этом случае требуется нормализовать критерии, т.е. привести их к единому, желательно

безразмерному масштабу измерения. В настоящее время разработано большое количество схем нормализации. Большинство их основывается на ведении идеальных значений критериев $F_u = (f_1^u, \dots, f_j^u, \dots, f_n^u)$, с помощью которых вектор приводится к безразмерной форме:

$$E = (e_1^u, \dots, e_j^u, \dots, e_n^u) = \left(\frac{f_1}{f_1^u}, \dots, \frac{f_j}{f_j^u}, \dots, \frac{f_n}{f_n^u} \right). \quad (3.4)$$

Каждая компонента вектора (4.4) может принимать значения в диапазоне (0-1).

Часто компоненты идеального вектора задаются исходя из экстремальных значений локальных критериев (максимальных – для максимизируемых и минимальных для минимизируемых критериев). Анализируя возможные решения по всем локальным критериям, можно установить, что область допустимых решений в большинстве случаев может быть разделена на две непересекающиеся части:

- Область согласия, где противоречий между критериями нет и качество решения может быть одновременно улучшено по всем критериям или, во всяком случае, без снижения уровня любого из критериев;

- Область компромисса, в которой улучшение качества решения по одним критерием ухудшает качество по другим.

При противоречивости целей оптимальное решение должно принадлежать зоне компромисса. Поэтому первый этап решения задачи векторной оптимизации и состоит в выявлении этой зоны. Это позволит сузить зону возможных решений, а значит, и улучшить его качество. Число возможных схем компромисса велико, но во всех случаях его задача – это сведение векторной задачи оптимизации к эквивалентной скалярной (т.е. однокритериальной) задаче.

Традиционный выбор оптимального решения по минимуму приведенных затрат практически означает, что этой цели присвоен весовой коэффициент, равный единице. Выбор решения на основе

многокритериального подхода может не удовлетворять оптимальным условиям ни для одного критериального свойства, но оказывается наилучшим для обеспечения совокупности рассматриваемых свойств.

Недостатком метода многокритериального анализа является субъективизм экспертов, которые привлекаются для оценки значимости целей (ранжирование целей).

Анализируя методы оптимизации СЭС предприятий, можно сделать следующий вывод: при определении рациональной схемы ЭС предприятия следует наряду с экономическими показателями использовать технические, характеризующие возможности СЭС в различных режимах работы.

3.2. Определение оптимальных параметров отдельного элемента схемы электроснабжения

Одной из основных задач оптимизации СЭС промышленного предприятия считается определение оптимальных параметров схемы электроснабжения, обеспечивающей наилучшие технико-экономические показатели. При этом на стадии проектирования предусматривается регулирование параметров схемы электроснабжения (ЭС) для экономии электроэнергии в СЭС [65,132,160]. Оптимизируемая схема СЭС состоит из нескольких ступеней, которые, в свою очередь, могут состоять из нескольких элементов сети. Некоторые ступени СЭС включают всего лишь отдельный элемент, например, линию электропередачи. Определяем оптимальное сочетание параметров ЛЭП (сечения, уровня напряжения и значения мощности ККУ), обеспечивающее наибольший экономический эффект при передаче электроэнергии.

Общую экономию мощности в ЛЭП от регулирования параметров можно определить по следующей формуле:

$$P_{э} = \Delta P_0 - \Delta P_p = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U^2} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s_0} - \frac{P_l^2 + (Q_l - Q_{ку})^2}{(U + \Delta U)^2} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s}, \quad (3.5)$$

где ΔP_0 и ΔP_p – соответственно потери мощности в ЛЭП до и после регулирования параметров схемы ЭС, кВт; s_0 и s – соответственно сечения ЛЭП до и после реконструкции ЛЭП, мм²; ΔU – регулировочное напряжение, кВ; $Q_{ку}$ – мощность компенсирующего устройства, кВА.

Оптимизация параметров схемы ЭС предусматривает отдельное изучение составляющих экономии мощности от регулирования параметров. Поэтому, в начале уравнения потерь с регулируемыми параметрами записываем отдельно. Уменьшение потерь от увеличения сечения составляет:

$$P_{э.с} = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U^2} \cdot \frac{(s - s_0)}{s_0 \cdot s} \cdot \rho_0 \cdot l. \quad (3.6)$$

При увеличении напряжения в сети уменьшение потерь определяется по следующей формуле:

$$P_{э.и} = 3 \cdot I_n^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s}. \quad (3.7)$$

Экономия мощности, полученная от компенсации реактивной мощности (КРМ) в ЛЭП, определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_l = \frac{2 \cdot Q_l \cdot Q_{ку} - Q_{ку}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s}. \quad (3.8)$$

Обычно определение оптимальных параметров схемы ЭС и экономический эффект от регулирования параметров для каждого параметра определяют отдельно, не учитывая связи между этими параметрами. Для учета этих зависимостей определяем совместное уравнение потерь ЛЭП с использованием регулируемых параметров схемы ЭС. Для получения результирующего значения экономии мощности, уравнения (3.6), (3.7) и (3.8) описываем совместно:

$$\begin{aligned}
P_{\text{эк}} &= \frac{P_{\text{л}}^2 + Q_{\text{л}}^2}{U^2} \cdot \frac{(s - s_0) \cdot \rho_0 \cdot l}{s \cdot s_0} + \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{кв}} - Q_{\text{кв}}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s_0} + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} = \\
&= \left(3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s - s_0)}{s_0} + \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{кв}} - Q_{\text{кв}}^2}{U^2} + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s}
\end{aligned} \quad (3.9)$$

Первая составляющая описывает экономию мощности от изменения сечения, вторая – полученную от КРМ, третья – от увеличения напряжения.

Современная СЭС позволяет регулировать напряжение и мощность компенсирующего устройства (ККУ). Экономия электроэнергии при этом определяется суммированием уменьшения потерь мощности, полученных от регулирования отдельных параметров схемы ЭС. Однако анализ уравнений (3.6), (3.7) и (3.8) показывает, что все параметры схемы ЭС взаимосвязаны и есть связи с обратными воздействиями. Например, увеличение сечения ЛЭП уменьшает эффективность КРМ и эффективность регулирования напряжения. КРМ увеличивает напряжения и это уменьшает эффективность КРМ. Эти обстоятельства требуют комплексных решений этой задачи и оптимизации параметров схемы ЭС с учетом этих обратных связей.

Оптимизация параметров осуществляется по двум характеристическим критериям: по минимальным потерям и по минимальным затратам СЭС. Целевая функция оптимизации будет суммой экономии потерь мощности и прибыли от экономии электротрат, полученной от оптимизации параметров СЭС. После преобразований уравнений (3.9) получаем следующее уравнение:

$$P_{\text{эк}} = -Q_{\text{кв}}^2 \cdot \frac{\rho_0}{U^2 \cdot s} + Q_{\text{кв}} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot \rho_0}{U^2 \cdot s} \right) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{(s - s_0)}{s_0} + \frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} \quad (3.10)$$

Прибыль от оптимизации определяется вычитанием от сэкономленных электротрат затрат на реконструкцию СЭС по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Pi_{он} = & -Q_{кв}^2 \cdot \frac{\rho_0 \cdot l \cdot m}{U^2 \cdot s} + Q_{кв} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_{л} \cdot \rho_0 \cdot l \cdot m}{U^2 \cdot s} + k_{\varphi} \cdot m - p_0 \cdot m - K_{0,кв} \cdot e_n \right) + \\ & + 3 \cdot I_n^2 \cdot m \cdot \left(\frac{(s - s_0)}{s_0} + \frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} - K_{0,кл} \cdot e_n \cdot l, \end{aligned} \quad (3.11)$$

где $K_{0,кв}$ и $K_{0,кл}$ - капитальные затраты на ККУ и ЛЭП, тыс.сум ; e_n - общий коэффициент отчислений от капиталовложений; p_0 -удельные потери мощности конденсаторов, $кВт/кВАр$; s_0 -удельная стоимость конденсаторов, тыс.сум/кВАр; m - ставка оплаты электроэнергии, сум/кВт·ч; k_{φ} - коэффициент, характеризующий уменьшение оплаты за реактивную «энергию» и штрафы за сверхнормативный коэффициент мощности.

Решение уравнений (3.10) и (3.11) относительно $Q_{кв}$ дает квадратное уравнение, график которого будет перевернутая парабола (рис.3.2). Корни этих уравнения определяют граничные значения мощности компенсирующего устройства, в котором экономический эффект от КРМ будет нулевым [101,105].

Основным составляющим экономической эффективности КРМ будет уменьшения оплаты за реактивную энергию ($U_p = Q_{кв} \cdot k_{\varphi} \cdot m$). Поэтому, форма кривая экономической эффективности отличается от кривой экономии активной мощности (рис.3.2).

Изменение значений регулируемых параметров ЛЭП приводит к изменению напряжения сети. Поэтому такие изменения напряжения выражаем через регулируемые параметры ЛЭП: через сопротивление и мощности компенсирующего устройства. С учетом того, что в промышленных сетях индуктивное сопротивление значительно меньше, чем активное сопротивление, принимаем следующее допущение:

$$\Delta U \approx \Delta U_r = \frac{(Q_{л} - Q_{кв}) \cdot \rho_0 \cdot l}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s} \quad (3.12)$$

Изменение напряжения, вызванного из за изменения регулируемых параметров принимаем, как регулировочное напряжение и определяем уменьшение потерь мощности в ЛЭП по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{эк.и}} &= 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot R_{\text{л}} = \\
 &= 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot (Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot U} + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}})^2 \cdot R_{\text{л}}^2}{(\sqrt{3})^2 \cdot U^2 \cdot U^2} \right) \cdot R_{\text{л}} = \\
 &= \frac{6 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot (Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}) \cdot R_{\text{л}}^2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot U} + \frac{I_{\text{н}}^2 \cdot (Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}})^2 \cdot R_{\text{л}}^3}{U^2 \cdot U^2} = \\
 &= \frac{6 \cdot I_{\text{н}}^2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot U} \cdot \frac{\rho_0^2 \cdot l^2}{s^2} (Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}) + \frac{I_{\text{н}}^2}{U^2 \cdot U^2} \cdot \frac{\rho_0^3 \cdot l^3}{s^3} \cdot (Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}})^2 = (3.13) \\
 &= d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} + c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3},
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{6 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \rho_0^2 \cdot l^2}{\sqrt{3} \cdot U^2} = 3,46 \cdot \left(\frac{I_{\text{н}} \cdot \rho_0 \cdot l}{U} \right)^2; \quad (3.14) \\
 c &= \frac{I_{\text{н}}^2 \cdot \rho_0^3 \cdot l^3}{U^4} = \frac{I_{\text{н}}^2}{U} \cdot \left(\frac{\rho_0 \cdot l}{U} \right)^3.
 \end{aligned}$$

Подставляя это выражение в уравнение (3.9), получаем уравнение с двумя переменными. При этом s_0 будет равным необходимому сечению ЛЭП по нагреву, а напряжение принимается как постоянная величина $U = \text{const}$:

$$P_{\text{эк}} = \frac{P_{\text{л}}^2 + Q_{\text{л}}^2}{U^2} \cdot \frac{(s - s_0) \cdot \rho_0 \cdot l}{s \cdot s_0} + \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{кв}} - Q_{\text{кв}}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s_0} - d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} - c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3}, \quad (4.15)$$

где ΔQ - некомпенсированная реактивная мощность нагрузки, *кВАр*.

Производим следующее преобразование:

$$P_{\text{эк}} = -Q_{\text{кв}}^2 \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{U^2 \cdot s} + Q_{\text{кв}} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot \rho_0 \cdot l}{U^2 \cdot s} \right) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s - s_0) \cdot \rho_0 \cdot l}{s_0 \cdot s} - d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} - c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3}. \quad (3.16)$$

Последнее две составляющие характеризует изменение экономии мощности за счет регулирования параметров.

Прибыль от оптимизации определяется стоимостью экономии энергии, а также уменьшением оплаты за компенсированную реактивную мощность:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{эк}} = & -Q_{\text{кв}}^2 \cdot \left(\frac{\rho_0 \cdot l}{U^2 \cdot s} \right) \cdot m + Q_{\text{кв}} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot \rho_0 \cdot l}{U^2 \cdot s} + k_{\varphi} - p_0 \right) \cdot m + \\ & + \left(3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s - s_0)}{s_0} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} \right) \cdot m - e_{\text{кв}} \cdot K_{0,\text{кв}} \cdot Q_{\text{кв}} - e_{\text{л}} \cdot a_{\text{л}} \cdot s - \left(d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} + c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3} \right) \cdot m. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Для оптимизации параметров используем метод нелинейного программирования с применением ЭВМ [78]. Уравнения (3.16) и (3.17) являются нелинейными квадратичными функциями. Поэтому, эти задачи относятся к задачам нелинейного программирования с линейными ограничениями.

Определяем граничные значения параметров (ограничений), в которых экономический эффект будет положительным. По уравнению (3.11) определяем значение мощности ККУ, при которой экономический эффект будет положительным. Годовой экономический эффект от компенсации реактивной мощности в ЛЭП определяется разностью стоимости экономленной энергии и приведенных затрат на ККУ по следующей формуле:

$$\Pi_{\text{кв}} = \left(\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{кв}} - Q_{\text{кв}}^2}{U^2} \cdot R_{\text{л}} + k_{\varphi} \cdot Q_{\text{кв}} \right) \cdot m - (e_{\text{н}} \cdot c_0 + p_0 \cdot m) \cdot Q_{\text{кв}} \quad (3.18)$$

Здесь экономический эффект будет нулевым при следующем равенстве:

$$\left(\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}}{U^2} \cdot R_{\text{л}} + k_{\varphi} \right) \cdot m \cdot Q_{\text{кв}} = (e_{\text{н}} \cdot c_0 + p_0 \cdot m) \cdot Q_{\text{кв}} \quad (3.19)$$

Это уравнение означает, что, минимальным значением мощности компенсирующего устройства будет нулевая значение $Q_{\text{кв}}$, т.е. $Q_{\text{мин}}=0$

Определяем максимальную мощность ККУ, при которой экономический эффект будет положительным:

$$\frac{2 \cdot Q_{л} \cdot R_{л} \cdot m}{U^2} + k_{\varphi} \cdot m - e_{н} \cdot c_0 - p_0 \cdot m = \frac{Q_{кк} \cdot R_{л} \cdot m}{U^2},$$

$$\left(\frac{2 \cdot Q_{л} \cdot R_{л}}{U^2} + k_{\varphi} - p_0 \right) \cdot m - e_{н} \cdot c_0 = \frac{Q_{кк} \cdot R_{л} \cdot m}{U^2}, \quad (3.20)$$

$$\frac{2 \cdot Q_{л} \cdot R_{л}}{U^2} + k_{\varphi} - p_0 - \frac{e_{н} \cdot c_0}{m} = \frac{Q_{кк} \cdot R_{л}}{U^2},$$

$$Q_{кк, \max} = 2 \cdot Q_{л} - \left(k_{\varphi} - p_0 - \frac{e_{н} \cdot K_{0,кк}}{m} \right) \cdot \frac{U^2}{R_{л}}, \quad (3.21)$$

Однако, мощность компенсирующего устройства не может быть большим реактивной мощности нагрузки. Поэтому, максимальным значением мощности ККУ принимается равным максимально потребляемой реактивной мощности нагрузки, т.е. $Q_{\max} = Q_{л}$

Из (4.21) видно, что экономической эффект компенсации зависит от параметра (сопротивления) ЛЭП. Поэтому определяем минимальное сопротивление ЛЭП, при котором экономический эффект будет положительным:

$$R_{\min} = \left(k_{\varphi} - p_0 - \frac{e_{н} \cdot K_{0,кк}}{m} \right) \cdot \frac{U^2}{(2 \cdot Q_{л} - Q_{кк, \min})}. \quad (3.22)$$

Максимальное сечение ЛЭП, соответствующее минимальному сопротивлению:

$$S_{\max} = \frac{(2 \cdot Q_{л} - Q_{кк}) \cdot \rho_0 \cdot l}{\left(\frac{e_{н} \cdot K_{0,кк}}{m} + p_0 + k_{\varphi} \right) \cdot U^2}. \quad (3.23)$$

Напомним, что за минимальное значение сечения проводника - S_{\min} принимаем сечение проводника по условиям нагрева.

Для определения точки экстремума экономии электроэнергии и прибыли определяем производную уравнений (4.15) и (4.16):

$$P'_{\text{ЭК}} = -2 \cdot Q_{\text{КУ}} \cdot \frac{\rho_0}{U^2 \cdot s} + \frac{2 \cdot Q_{\text{Л}} \cdot \rho_0}{U^2 \cdot s}, \quad (3.24)$$

$$\Pi' = -2 \cdot Q_{\text{КУ}} \cdot \frac{\rho_0 \cdot m}{U^2 \cdot s} + \frac{2 \cdot \rho_0 \cdot m}{U^2 \cdot s}. \quad (3.25)$$

Отрицательный знак производной указывает на то, что $P_{\text{ЭК}}$ имеет максимум. Определяем точки максимума, в котором экономия мощности будет максимальной:

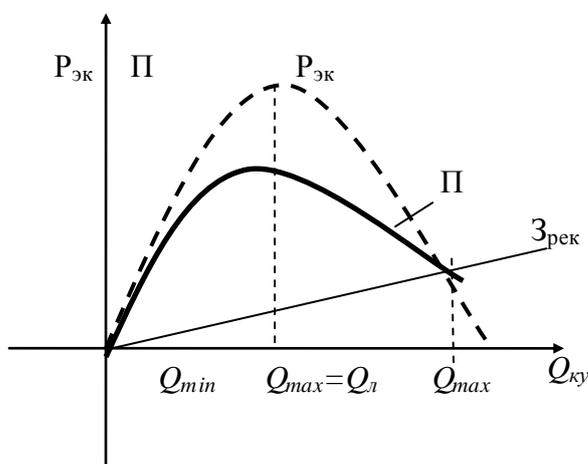


Рис.3.2 Кривые экономии мощности и прибыли от реконструкции СЭС.

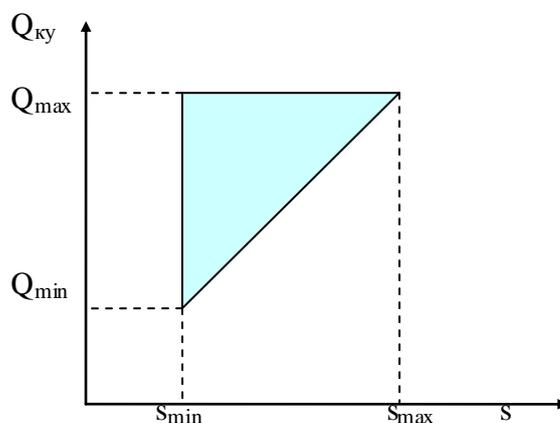


Рис.3.3 Граничные значения регулируемых параметров

$$2 \cdot Q_{\text{КУ}} \cdot \frac{\rho_0}{U^2 \cdot s} = \frac{2 \cdot Q_{\text{Л}} \cdot \rho_0}{U^2 \cdot s}; \quad (3.26)$$

$$Q_{\text{КУ.макс}} = \frac{2 \cdot Q_{\text{Л}} \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot s}{2 \cdot U^2 \cdot s \cdot \rho_0} = Q_{\text{Л}}. \quad (3.27)$$

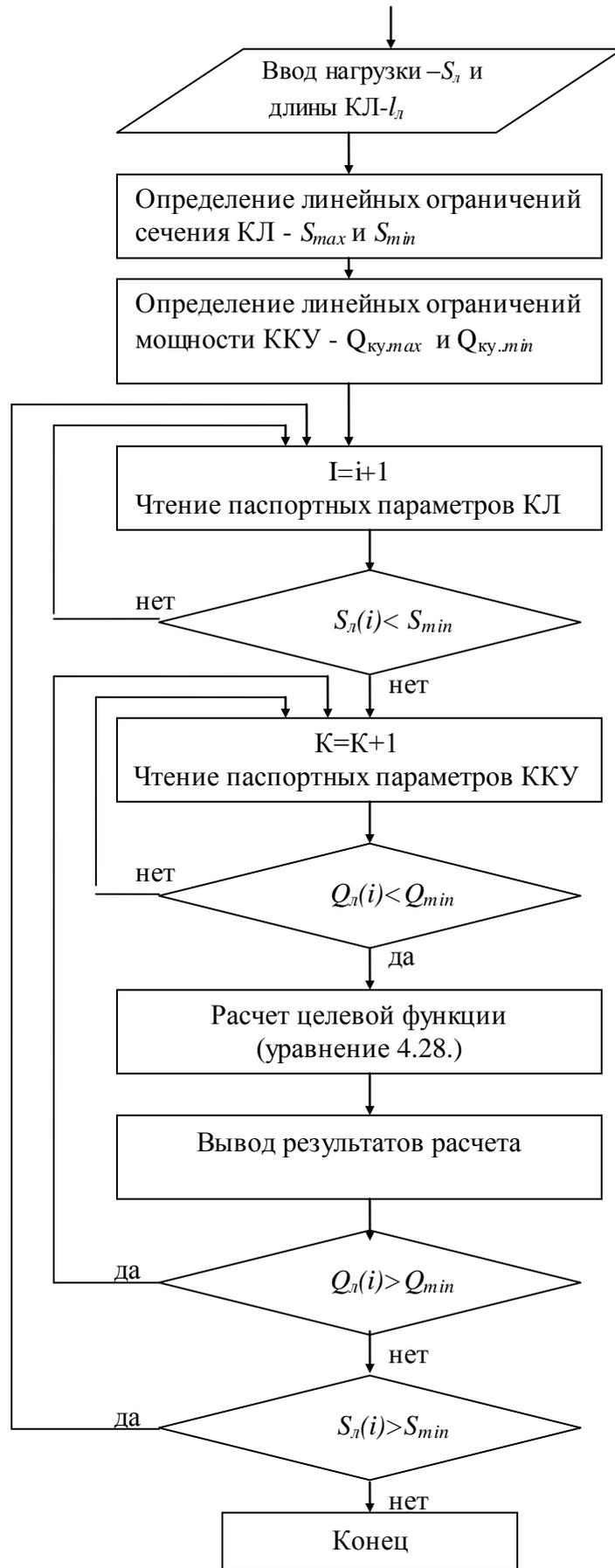


Рис. 3.4. Алгоритм определения оптимальных регулируемых параметров ЛЭП.

Таким образом, получаем целевую функцию с двумя переменными, со следующими линейными ограничениями (рис.4.3):

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\min.ky} < Q_{ky} < Q_l \\ s_{\min} < s < s_{\max} \end{array} \right\} \quad (3.28)$$

Для автоматизации расчетов составляется алгоритм расчета на ЭВМ, показанный на рис.3.4. Вначале определяется линейное ограничение целевой функции, в котором экономический эффект будет положительным. Для этого используется форма «Ограничения» (рис. 3.5). При вводе нагрузки и длины КЛ определяются коэффициенты квадратного уравнения и корни уравнения, характеризующего нулевой эффект от оптимизации.

Рис. 3.5. Форма «Ограничения» для расчета линейных ограничений параметров оптимизации

Для оптимизации радиальной сети используется форма «Оптимизация» (рис. 3.6), в которой определяются оптимальные параметры радиальной сети и экономический эффект от оптимизации. Принимая $U = \text{const}$, изменяя значения s и Q_{ky} , определяем оптимальное сочетание параметров, в котором

экономический эффект от регулирования параметров будет максимальным. Определяются возможные номинальные значения сечения проводника и мощности ККУ в пределах граничных значений этих параметров; они последовательно рассчитываются компьютером. Так как число этих номинальных значений параметров не превышает 2-3, то оптимальное сочетание этих параметров определяется через 8-10 циклических расчетов целевой функции. Варьируя этими значениями, можно вывести на печать результаты всевозможных вариантов расчета экономического эффекта.

The screenshot shows a software window titled "Оптимизация" (Optimization) with the following data:

Данные кабельной линии

Активная мощность: 1000 кВт Реактивная мощность: 950 кВАр Полная мощность: 1414 кВА
 Длина КЛ: 500 м Сечения КЛ: 70 мм² Уд. сопротив: 0,031 ом.мм²/м
 Ставка оплаты: 132000 сум/кВт Ток нагрузки: 82 А Доп напряжения: 0,05 кВ
 Напряжения КЛ: 10 кВ Сопротив КЛ: 0,16316 ом Эфф. сечения: 50 мм²

Данные компенсирующего устройства

Со: 15000 сум/кВАр Ро: 0,003 кВт/кВАр Qкку: 200 кВАр Коэф ЭЭ: 0,2 ек: 0,1

Линейные ограничения оптимизации

Qmin: 23 кВАр Qmax: 1000 кВАр Smin: 23 мм² Smax: 150 мм²

ТЭП оптимизации КЛ

изм. сечения: 1701 Вт комп реакт м.: 753 Вт изм. напряжения: 43 Вт
 Экономия мощности: 2497 Вт Затраты: 330450 сум Прибыль оптимизации: 7668250 сум

At the bottom, there is a status bar with "Запись: 1 из 1", "Нет фильтра", and "Поиск".

Рис. 3.6. Форма «Оптимизация» для определения оптимальных значений регулируемых параметров сети

3.3. Определение оптимальных параметров схемы отдельной ступени системы электроснабжения промышленного предприятия

Определение рациональной схемы электроснабжения промышленного предприятия, обеспечивающее наилучшие технико-экономические показатели, достигается оптимальным сочетанием параметров схемы электроснабжения. Оптимизацию параметров схемы ЭС обычно производят по ступеням системы электроснабжения (СЭС). В начале проектируется схема внутрицехового электроснабжения, после этого определяются оптимальные параметры схемы внутризаводского электроснабжения. Система внешнего и внутризаводского электроснабжения обычно состоит из последовательно включенной ЛЭП и трансформатора. Предлагается оптимизация параметров схемы ЭС, которую производят по радиальной схеме ЭС, т.е. от источника к потребителю (рис. 3.7). В качестве регулируемых параметров СЭС принимаются сечение ЛЭП, мощность компенсирующего устройства и напряжение сети. Производим оптимизацию регулируемых параметров схемы внутризаводского электроснабжения, включающую в себя высоковольтные КЛ и цеховые трансформаторы.

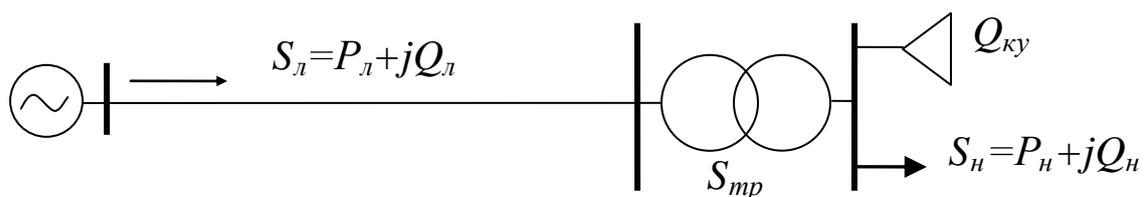


Рис.4.7. Радиальная схема внутризаводского электроснабжения.

Критерием оптимизации будет определение наиболее экономичного варианта схемы ЭС. Составим совместное уравнение, определяющее общие потери мощности в КЛ и трансформаторах.

Общая экономия мощности от компенсации реактивной мощности в ЛЭП и трансформаторах:

$$P_{\text{эк}\Sigma} = \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{к}} - Q_{\text{кы}}^2}{U^2} \cdot R_0 \cdot l_{\text{л}} + \Delta P_{\text{к}} \cdot \frac{2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot Q_{\text{кы}} - Q_{\text{кы}}^2}{n \cdot S_{\text{шт}}^2}. \quad (3.29)$$

По схеме, показанной рис. 3.7, видно, что $Q_{\text{л}} = Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{мп}}$. Если не учитывать потери реактивной мощности в трансформаторах, т.е.: $Q_{\text{л}} \approx Q_{\text{н}}$, тогда выражение (4.29) можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{эк}\Sigma} = \left(\frac{R_0 \cdot l}{U^2} + \frac{\Delta P_{\text{к}}}{n \cdot S_{\text{шт}}^2} \right) \cdot (2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot Q_{\text{кы}} - Q_{\text{кы}}^2). \quad (4.30)$$

Для получения результирующего значения экономии мощности, уравнения (3.1), (3.2) и (3.3.) описываем совместно:

$$\begin{aligned} P_{\text{эк}\Sigma} &= \frac{P_{\text{л}}^2 + Q_{\text{л}}^2}{U^2} \cdot \frac{(s-s_0) \cdot \rho_0 \cdot l}{s \cdot s_0} + \left(\frac{R_0 \cdot l}{U^2} + \frac{\Delta P_{\text{к}}}{n \cdot S_{\text{шт}}^2} \right) \cdot (2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot Q_{\text{кы}} - Q_{\text{кы}}^2) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} = \\ &= 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s-s_0)}{s_0} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} + \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) \cdot (2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot Q_{\text{кы}} - Q_{\text{кы}}^2) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s}, \end{aligned} \quad (3.31)$$

Анализ уравнения (4.31) показывает, что все параметры (напряжения, сечения проводника и мощность ККУ) схемы ЭС взаимосвязаны. Поэтому решение этой задачи требует оптимизации параметров схемы ЭС с учетом этих зависимостей.

Оптимизация параметров осуществляется по двум характеристическим критериям: по минимальным потерям и по минимальным затратам СЭС. Целевая функция оптимизации будет суммой экономии потерь мощности и прибыли от оптимизации параметров СЭС. После преобразований уравнений (4.31) получаем следующее уравнение:

$$\begin{aligned} P_{\text{эк}} &= -Q_{\text{кы}}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) + Q_{\text{кы}} \cdot 2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s-s_0)}{s_0} \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s} = \\ &= -Q_{\text{кы}}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) + Q_{\text{кы}} \cdot 2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s_2 - s_1)}{s_1} \cdot R_{\text{л}} + \\ &\quad - d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} - c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3}. \end{aligned} \quad (3.32)$$

Чистая прибыль от оптимизации определяется вычитанием из прибыли от оптимизации затрат на реконструкцию СЭС по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Pi = & -Q_{\text{кы}}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) \cdot m + Q_{\text{кы}} \left(2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{U^2} \right) - p_0 + k_{\varphi} \right) \cdot m + \\ & \left(3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s-s_0)}{s_0} \cdot R_{\text{л}} \right) \cdot m - K_{0,\text{кы}} \cdot e_{\text{н}} - a_{\text{л}} \cdot e_{\text{л}} - \left(d \cdot \frac{\Delta Q}{s^2} + c \cdot \frac{\Delta Q^2}{s^3} \right) \cdot m, \end{aligned} \quad (4.33)$$

Принимая напряжение в виде переменной в функции от регулируемых параметров, в качестве целевой функции оптимизации с учетом взаимосвязи регулируемых параметров СЭС можно использовать следующую форму записи уравнения (3.33):

$$U = f(s, Q_{\text{кы}}) = U + \Delta U = U + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кы}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U}. \quad (3.34)$$

Поставляя это выражение в уравнение (4.31) получаем следующее уравнение:

$$P_{\text{эк}} = -Q_{\text{кы}}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{\left(U + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кы}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2} \right) + Q_{\text{кы}} \cdot 2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{\left(U + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кы}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2} \right) + 3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s_2 - s_1)}{s_1} \cdot R_{\text{л}}. \quad (3.35)$$

Прибыль от оптимизации определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Pi = & -Q_{\text{кы}}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{\left(U + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кы}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2} \right) \cdot m + Q_{\text{кы}} \left(2 \cdot Q_{\text{н}} \cdot \left(\frac{R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}}{\left(U + \frac{(Q_{\text{л}} - Q_{\text{кы}}) \cdot R_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2} \right) - p_0 + k_{\varphi} \right) \cdot m + \\ & + \left(3 \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot \frac{(s-s_0)}{s_0} \cdot R_{\text{л}} \right) \cdot m - K_{0,\text{кы}} \cdot e_{\text{н}} - a_{\text{л}} \cdot e_{\text{л}}, \end{aligned} \quad (3.36)$$

где $K_{\text{кы}}$ и $K_{\text{л}}$ - капитальные затраты на ККУ и ЛЭП, тыс.сум ; $e_{\text{н}}$ - общий коэффициент отчислений от капиталовложений; p_0 -удельные потери мощности конденсаторов, кВт/кВар; c_0 -удельная стоимость конденсаторов, тыс.сум/кВар; m - ставка оплаты электроэнергии, сум/кВт·час; k_{φ} -

коэффициент, характеризующий уменьшение оплаты за реактивную энергию и штрафы за сверхнормативный коэффициент мощности.

Решение уравнений (3.35) и (3.36) относительно $Q_{ку}$ дает квадратное уравнение, график которого будет в виде перевернутой параболы (рис.3.8). Корни уравнения (3.35) определяют граничные значения мощности компенсирующего устройства, при которых экономический эффект от КРМ будет нулевым [109,127].

Для оптимизации параметров используем метод нелинейного программирования с применением ЭВМ [78]. Уравнения (3.35) и (3.36) являются нелинейной квадратичной функцией. Следовательно, эти задачи относятся к задачам нелинейного программирования с линейными ограничениями.

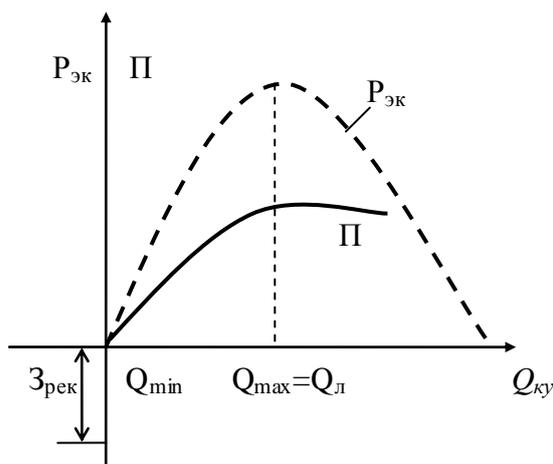


Рис.3.8 Кривые экономии мощности и прибыли от реконструкции СЭС.

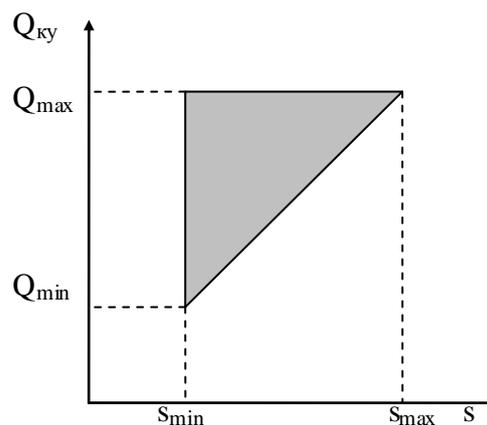


Рис.3.9 Граничные значения регулируемых параметров

Определяем граничные значения параметров, в которых экономический эффект будет положительным. По уравнению (3.36) определяем значение мощности ККУ, при котором экономический эффект будет положительным. Годовой экономический эффект от компенсации реактивной мощности в ЛЭП определяется разностью стоимости сэкономленной энергии и приведенных затрат на ККУ по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{кв}} = \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot Q_{\text{кв}} - Q_{\text{кв}}^2}{U^2} \cdot (R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}) \cdot m - (e_{\text{н}} \cdot c_{0,\text{кв}} + p_0 \cdot m) \cdot Q_{\text{кв}}. \quad (3.37)$$

При этом экономический эффект будет нулевым при следующем равенстве:

$$\frac{2 \cdot Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}}{U^2} \cdot (R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}) \cdot m = (e_{\text{н}} \cdot c_0 + p_0 \cdot m) \quad (3.38)$$

Определяем максимальную мощность ККУ, при которой экономический эффект будет положительным:

$$Q_{\text{кв},\text{max}} = 2 \cdot Q_{\text{л}} - \frac{(e_{\text{н}} \cdot c_{0,\text{кв}} + (p_0 - k_{\varphi} \cdot m) \cdot U^2)}{(R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}) \cdot m}. \quad (3.39)$$

Из (3.36) видно, что экономической эффект компенсации зависит от параметра (сопротивления) ЛЭП. Поэтому определяем минимальное сопротивление ЛЭП, при котором экономический эффект будет положительным:

$$R_{\text{min}} = \frac{(e_{\text{н}} \cdot c_0 + p_0 \cdot m) \cdot U^2}{(2 \cdot Q_{\text{л}} - Q_{\text{кв}}) \cdot m} - R_{\text{мп}}. \quad (3.40)$$

Максимальное сечение ЛЭП, соответствующее минимальному сопротивлению, получаем из выражения:

$$S_{\text{max}} = \frac{\rho_0 \cdot l}{R_{\text{min}}}. \quad (3.41)$$

За минимальное значение сечения проводника - s_{min} принимаем сечение проводника по условиям нагрева.

Для определения точки экстремума экономии электроэнергии и прибыли определяем производные уравнения (4.32) и (4.33):

$$P'_{\text{эк}} = -2 \cdot Q_{\text{кв}} \cdot \frac{(R_{\text{л}} + R_{\text{мп}})}{U^2} + \frac{2 \cdot Q_{\text{л}} \cdot (R_{\text{л}} + R_{\text{мп}})}{U^2}, \quad (3.42)$$

$$\mathcal{E}' = -2 \cdot Q_{\text{кв}} \cdot \frac{(R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}) \cdot m}{U^2} + \frac{2 \cdot (R_{\text{л}} + R_{\text{мп}}) \cdot m}{U^2}. \quad (3.43)$$

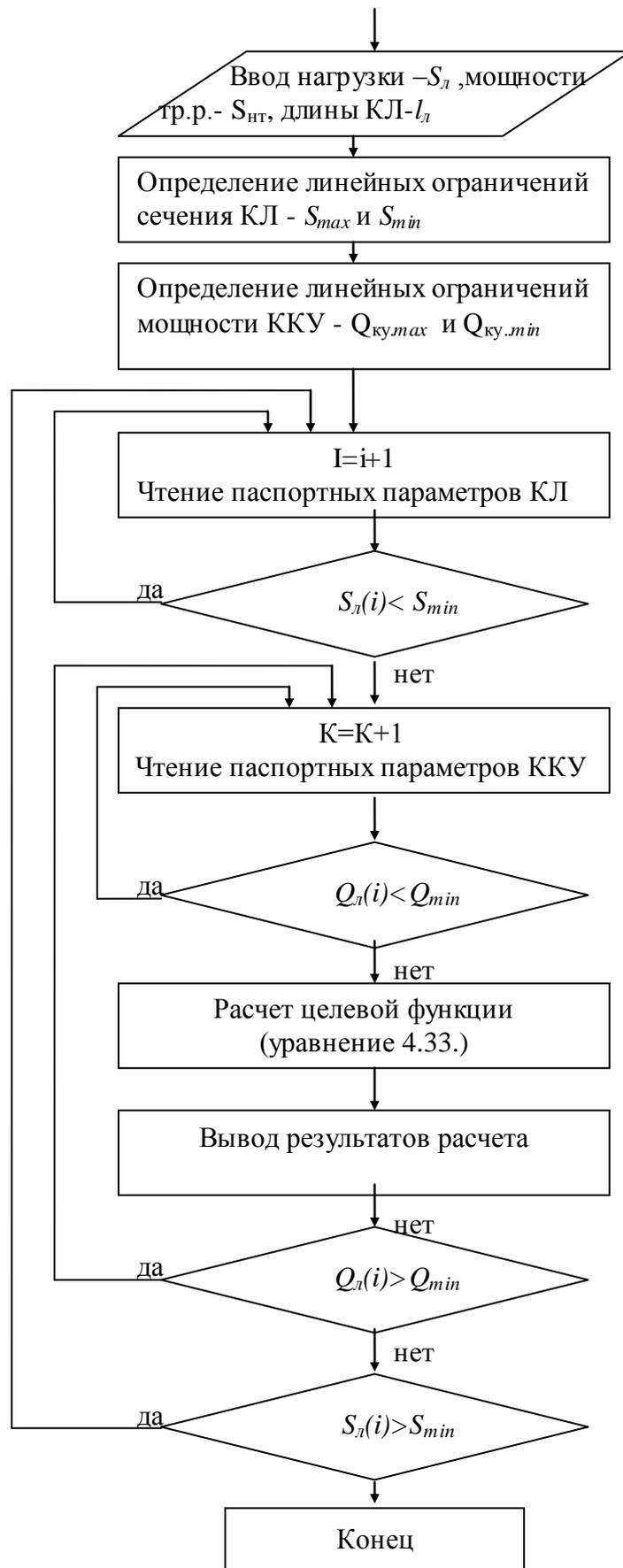


Рис. 3.10. Алгоритм определения оптимальных регулируемых параметров ступени СЭС

Отрицательный знак производной указывает на то, что $P_{ж}$ имеет максимум. Определяем точку максимума, в которой экономия мощности будет максимальной:

$$2 \cdot Q_{ky} \cdot \frac{(R_l + R_{mp})}{U^2} = \frac{2 \cdot Q_l \cdot (R_l + R_{mp})}{U^2}; \quad (3.44)$$

$$Q_{ky.max} = \frac{2 \cdot Q_l \cdot (R_l + R_{mp}) \cdot U^2}{2 \cdot U^2 \cdot (R_l + R_{mp})} = Q_l. \quad (3.45)$$

Таким образом, получаем целевую функцию с двумя переменными, со следующими линейными ограничениями (рис. 3.7):

$$\left. \begin{array}{l} Q_{min.ky} < Q_{ky} < Q_l \\ s_{min} < s < s_{max} \end{array} \right\} \quad (3.46)$$

Составляется алгоритм расчета на ЭВМ, имеющий два цикла (3.8). Определяются возможные номинальные значения сечения проводника и мощности ККУ в пределах граничных значений этих параметров. Так как число этих номинальных значений параметров не превышает 2-3, возможное число вариантов расчета будет не более 8-10. Варьируя этих значения, выводятся результаты расчета экономического эффекта, и определяется вариант с максимальным значением прибыли, а также соответствующие параметры схемы ЭС.

3.4 Система автоматизированного проектирования внутрицехового электроснабжения

Проектирование внутрицехового электроснабжения заключается в последовательном определении общецеховой нагрузки, числа и мощности трансформаторных подстанций; равномерном распределении электрической нагрузки между отдельными подстанциями; определении схемы и конфигурации питающей и распределительной сетей; определении сечения проводов, кабелей [22, 160].

В общем виде задача автоматизированного проектирования оптимальной цеховой электрической сети, включающая выбор схемы, конфигурации сети и расчет ее параметров, очень сложна и относится к числу многофакторных нелинейных задач, не поддающихся аналитическому решению. Поэтому наиболее приемлемый метод решения подобных задач – рационализированный перебор возможных вариантов построения электрической сети и выбор одного из них по определенному критерию, например, по минимуму единовременных затрат [118,138].

Основная цель разработки рациональной СЭС – выявление резервов экономии электроэнергии в элементах существующей СЭС. Резервы экономии электроэнергии в элементах СЭС устанавливаются сравнением показателей разработанной рациональной схемы ЭС с показателями существующей схемы ЭС предприятия. Поэтому методическая часть автоматизированной информационной системы для выявления резервов экономии в промышленности состоит из двух блоков: методическое обеспечение для расчета рациональной схемы (предлагаемый вариант) электроснабжения и методическое обеспечение для расчета существующего варианта СЭС. Первый блок на основе научно обоснованной методики и нормативных данных обеспечивает автоматизированное проектирование рациональной СЭС для данного предприятия. Во втором блоке рассчитывается существующая схема электроснабжения. Основными исходными данными для второго блока являются фактические графики суточных нагрузок, фактические показатели электропотребления, паспортные данные действующего электрооборудования, существующая схема ЭС. При этом для выявления резервов экономии электроэнергии составляются энергобалансы по всем ступеням ЭС, анализируются потери на элементах СЭС [111,115].

Методика расчета существующей схемы ЭС предприятия подробно описана во второй главе. Основными задачами расчета существующей схемы

является: поэлементный расчет потерь мощности, построение энергетических балансов по всем ступеням СЭС и определение технико –экономических показателей СЭС.

Для разработки рациональной схемы электроснабжения используется метод, сочетающий алгоритмический (многовариантный) и аналитической оптимизацией [94,115]. В начале, исходя из анализа результатов существующей схемы ЭС предприятия предварительно выбираются несколько вариантов СЭС. Эти варианты отличаются в основном конфигурацией схемы ЭС и техническими данными элементов СЭС. На втором этапе определяется оптимальное значение регулируемых параметров схемы ЭС.

Методика расчета нагрузок, потерь в элементах СЭС, построение энергетических балансов и технико – экономические показатели СЭС предлагаемого варианта одинаковы с методикой расчета существующего варианта. Основное отличие в методике расчета предлагаемого варианта заключается в выборе элементов схемы ЭС. Последовательность расчета предлагаемого варианта показана на рис. 4.11.

Основным недостатком данного алгоритма расчета является то, что в расчетах не учитываются число и мощность двигателей технологического электрооборудования. Поэтому для внутрицехового ЭС разработана отдельная программа расчета нагрузок, устраняющих этот недостаток. Для определения расхода электроэнергии во внутрицеховом электроснабжении используется трехмерный массив $P(k,i,j)$, где k -количество распределительных щитов в цеху, i -количество технологического оборудования подключенного к k -щиту, j -количество двигателей i -технологического оборудования. Расчет кабельных линий от ТЭО до распределительных щитов осуществляется с двумерным массивом $P_{кл}(k, j)$, где k -индекс кабеля до РП, j -индекс кабеля от РП до электрооборудования. Для автоматического поиска и снабжения исходными данными, разработаны

алгоритмы ввода данных в подсистему методического обеспечения. На рис. 4.12. показан алгоритм ввода в базу исходных данных для расчета нагрузок внутрицехового ЭС.

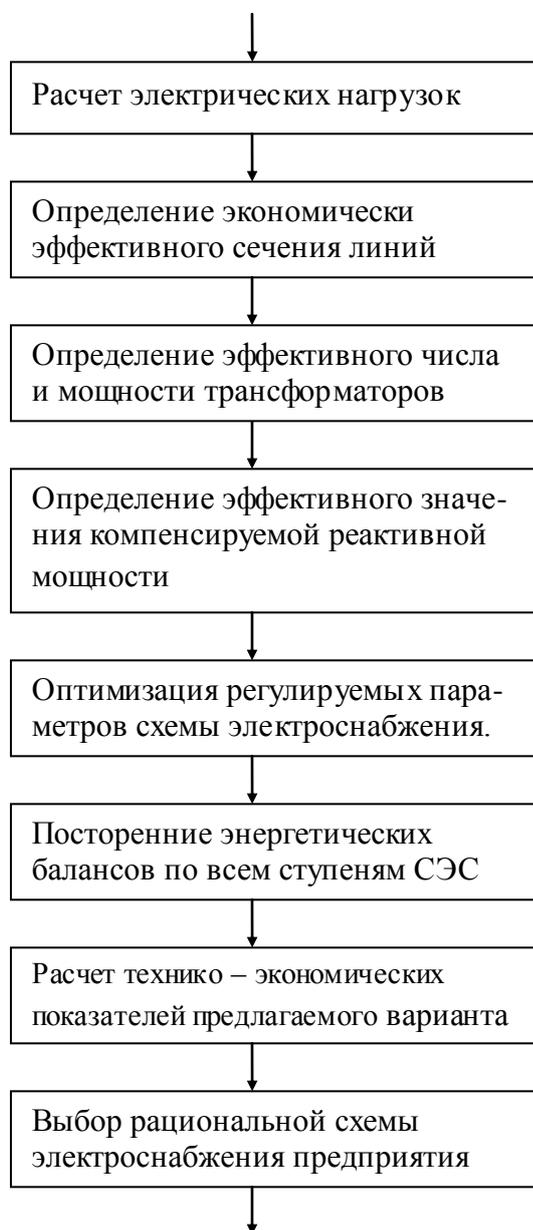
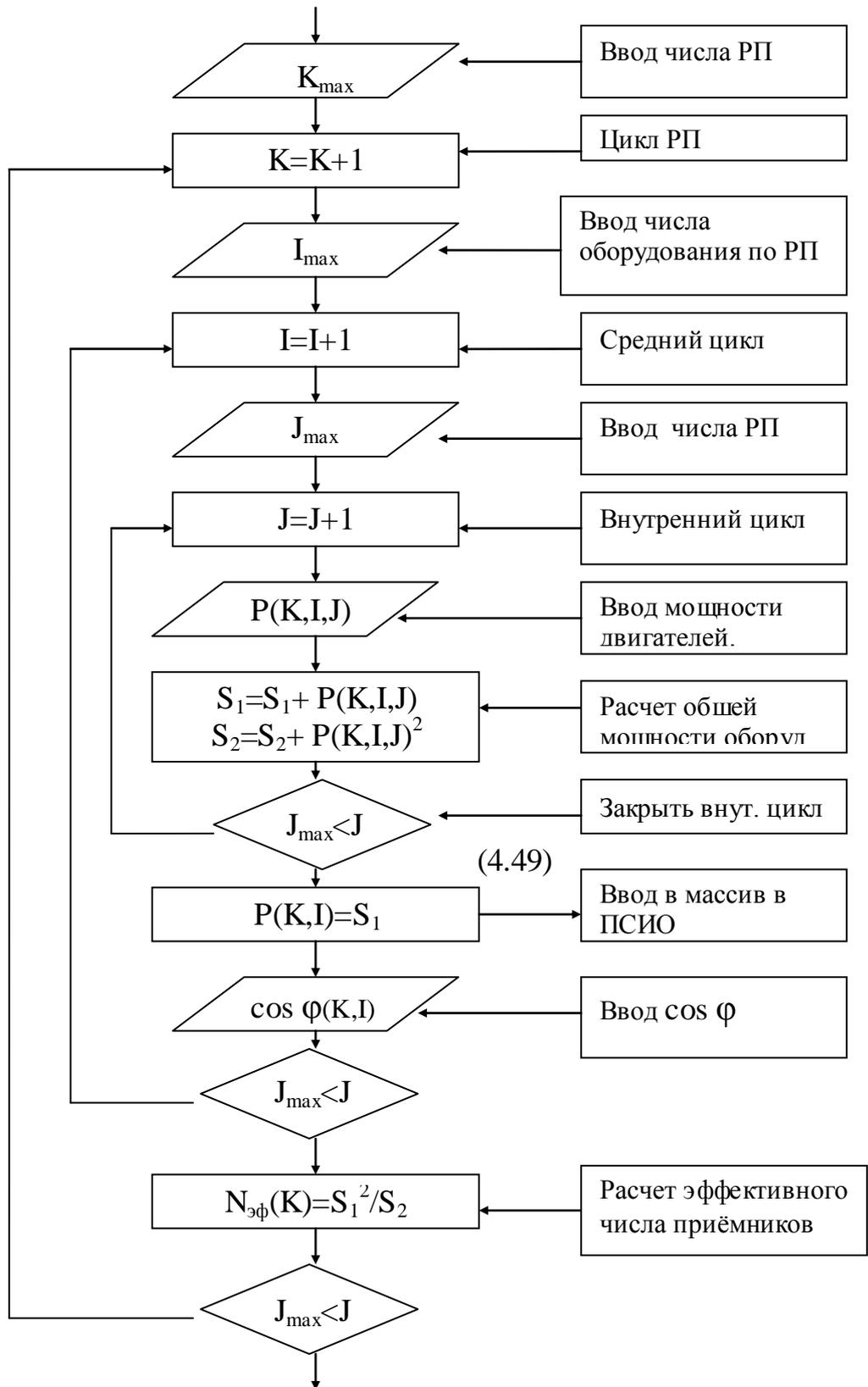


Рис. 3.11. Последовательность расчета внутрицехового электроснабжения предлагаемого варианта

Расчетная нагрузка ТЭО определяется по методу упорядоченных диаграмм по следующей формуле:



3.12. Алгоритм ввода в базу исходных данных системы внутрицехового электроснабжения

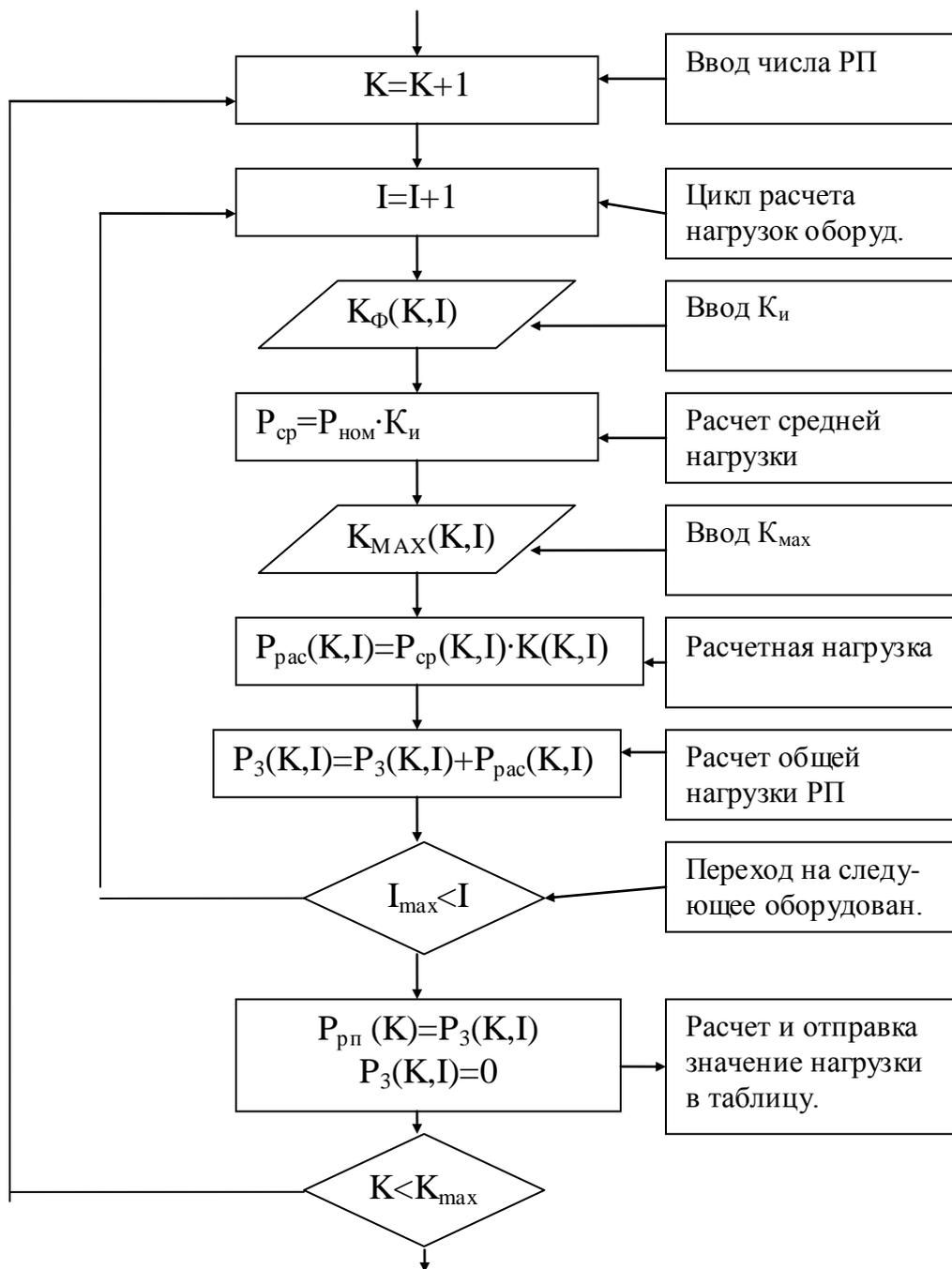


Рис. 3.13. Алгоритм ввода данных и формирование расчетных данных по таблице энергобаланса

$$P_{pac}(i, j, k) = P_{ном}(i, j, k) \cdot k_u(i, j, k) \cdot k_m(j, k); \quad (3.47)$$

где k_m -коэффициент максимума группы электроприёмников определяется как:

$$K_m(j,k) = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot K_u^2(i,j,k) - 12,7 \cdot K_u(i,j,k) + 8,235}{(K_u(i,j,k) + 0,05) \cdot n_3^{1,04 - 0,4 \cdot K_u(j,k)}}} \quad (3.48)$$

где $n_{эф}$ - эффективное число электроприёмников определяется по следующей формуле:

$$n_{эф}(j,k) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i_{\max}} P_u(i,j,k) \right)^2}{\sum_{i=1}^{i_{\max}} P_u^2(i,j,k)}. \quad (3.49)$$

По значению расчетной нагрузки определяется экономическое эффективное значение сечения проводника ЛЭП по минимуму единовременных затрат по формуле (3.12.):

$$s_{\mathcal{E}} = I \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot m}{e_{кл} \cdot a_{кл}}}, \text{ мм}^2. \quad (3.50)$$

Выбираются два сближающие стандартное значение сечения ЛЭП. По этим значениям производится оптимизация (перерасчет) параметров СЭС.

Кабельные линии первой и второй ступени (КЛ до точки компенсации) оптимизируются по минимуму единовременных затрат, т.е. задаются сечения s_1 и s_2 с меньшими затратами:

$$Z = e_{л} \cdot K + \frac{3 \cdot I^2 \cdot \rho \cdot m \cdot l}{s_i}, \quad (3.51)$$

Оптимизацию КЛ первой ступени производят по целевой функции (3.22):

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{a.on} = & -Q_{ky}^2 \cdot \frac{(R_l + R_{mp}) \cdot m}{U^2} + Q_{ky} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_l \cdot (R_l + R_{mp}) \cdot m}{U^2} + k_{\varphi} - p_0 \cdot m - K_0 \cdot e_n \right) + \\ & + 3 \cdot I_n^2 \cdot m \cdot \left(\frac{(s_2 - s_1)}{s_1} + \frac{2 \cdot \Delta U}{U} + \frac{\Delta U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{\rho_0 \cdot l}{s_2} - K_l \cdot e_n. \end{aligned} \quad (3.52)$$

На следующем этапе определяются потери в элементах схемы ЭС и строятся энергетические балансы по внутрицеховому ЭС.

В качестве исходных данных в предлагаемом и существующем вариантах, используются одни те же паспортные данные ТЭО цеха. Данные энергетического оборудования цеха предлагаемого варианта (кабельных линий трансформаторов, компенсирующих устройств и т.п.) могут отличаться от существующей схемы ЭС.

3.5. Система автоматизированного проектирования внутризаводского электроснабжения

Основная сложность автоматизации проектирования СЭС ОЭС обусловлена множеством элементов схемы электроснабжения, ступенчатым изменением номинальных параметров и многочисленными условиями выбора [57,160], а также проверкой элементов после выбора по различным критериям. Например, при проектировании кабельных линий выбираются тип, сечение, напряжение и число кабельных линий. После выбора линии проверяются на потери напряжения и аварийные токи. Учитываются факторы, обусловленные конструкцией кабельных сооружений, и климатические условия. При выборе трансформаторов определяют тип, мощность, число, месторасположение и напряжение трансформатора, проверяют на аварийные режимы работы.

Построение устойчивых алгоритмов предполагает предельное уменьшение условия выбора, упорядочение последовательности расчета, а также определение четкого математического выражения условия выбора. При этом важным аспектом является определение приоритетов критериев, если элемент схемы выбирается по нескольким. Например, трансформатор выбирается по коэффициенту загрузки, по надежности СЭС, по минимальным приведенным затратам и т.п.

Создание автоматизированных систем даст возможность существенно повысить качество проектирования, позволит проанализировать большое количество вариантов состава оборудования при разнообразных нагрузках и

для каждого варианта получить достоверные развернутые технико-экономические данные в объеме, недоступном при ручном счете одного варианта.

Известно, что никакая автоматизированная система не может работать без высококачественной и достоверной информации. Поэтому система автоматизированного электротехнического проектирования сочетается с автоматизированной системой информации об электротехническом оборудовании, кабельной продукции, материалах и т.п.

На этом этапе проектирования рассчитываются сети внутризаводского электроснабжения и выбираются, в основном, трансформаторы цеховых подстанций и высоковольтные КЛ. Оптимизация параметров этих элементов производится по методике, описанной в 3.3.

В начале, исходя из числа резервных трансформаторов предприятия, а также с учетом плотности нагрузки в цехах, определяются число и значение номинальных мощностей трансформаторов [85]. Для этого рассчитывается плотность нагрузки в цехах и устанавливается его среднеарифметическое значение. Расчетное значение мощности трансформатора находится по следующей формуле:

$$S_{p.mp} = P_0 \cdot F_{ц}, \quad (3.53)$$

где $F_{ц}$ -оптимальная площадь цеха, в которой устанавливается цеховая подстанция, $м^2$; P_0 -среднеарифметическое значение плотности нагрузки по предприятию, $кВт/м^2$.

Предварительно принимается ближайшее значение номинальной мощности трансформаторов к расчетному значению мощности. После этого находится месторасположение цеховых подстанций. Условием выбора цеха, в котором стоит цеховая подстанция, будет следующее выражение:

$$S_{min} = n \cdot S_{min.шт} \cdot \beta, \quad (3.54)$$

где β_{min} -минимальный коэффициент загрузки трансформатора; $S_{min.шт}$ -минимальная номинальная мощность трансформатора, устанавливаемая на цеховых подстанциях; n -число трансформаторов на подстанции.

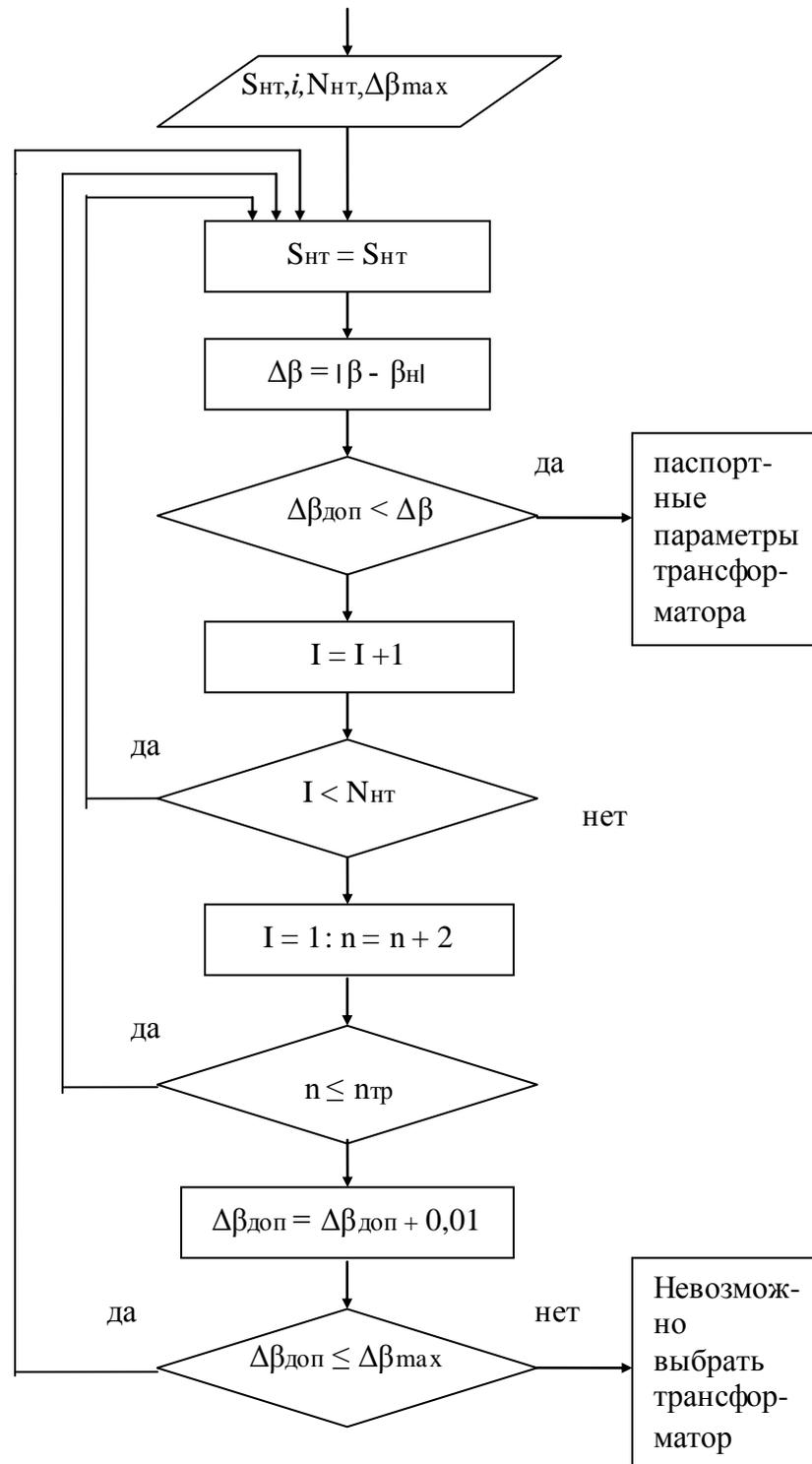


Рис. 3.14 Алгоритм выбора трансформатора цеховой подстанции

Если расчетная нагрузка больше, чем S_{min} , выбираются цеховая подстанция и высоковольтная кабельная линия, если меньше – выбирается низковольтная кабельная линия с распределительным пунктом. Цехи, питающиеся от низковольтных кабельных линий, подключаются к цехам, в которых есть цеховые подстанции. Уточняются нагрузки цехов с учетом подключенной нагрузки.

Основной критерий выбора мощности трансформаторов – соответствие с категорией потребителей данного цеха. Коэффициент загрузки трансформатора определяется по следующей формуле:

$$\beta = \frac{S_{pac}}{n \cdot S_{nm}}, \quad (3.55)$$

где n , S_{nm} – число и номинальная мощность трансформатора.

При этом условием выбора будет допустимое отклонение коэффициента загрузки от заданного значения. Для этого определяется абсолютное значение отклонения по следующей формуле:

$$\Delta\beta = |\beta - \beta_n|, \quad (3.56)$$

где β_n – нормативное значение коэффициента загрузки, для потребителей принимаются следующие значения: для I-ой категории $\beta_n=0,7$; II-ой категории $\beta_n=0,8$; III-ей категории $\beta_n=0,9$.

Мощность трансформатора выбирается при выполнении следующего условия:

$$\Delta\beta_{доп} > \Delta\beta; \quad (3.57)$$

где $\Delta\beta_{доп}$ – допустимое отклонение коэффициента загрузки от заданного значения. В начале принимается $\Delta\beta_{доп} = 0,05$. Тогда, например, для потребителей II-ой категории коэффициент загрузки трансформатора изменится в пределах $\beta = 0,75 \div 0,85$.

При невыполнении этого условия проверяется следующая номинальная мощность трансформатора. Таким образом, при заданных ограничениях:

число ступеней мощности трансформаторов (число резервных трансформаторов), коэффициенты надежности СЭС по категориям потребителей и т.п. выбираются число и мощность трансформаторов цеховых подстанций. Алгоритм выбора трансформатора показан на рис. 4.14.

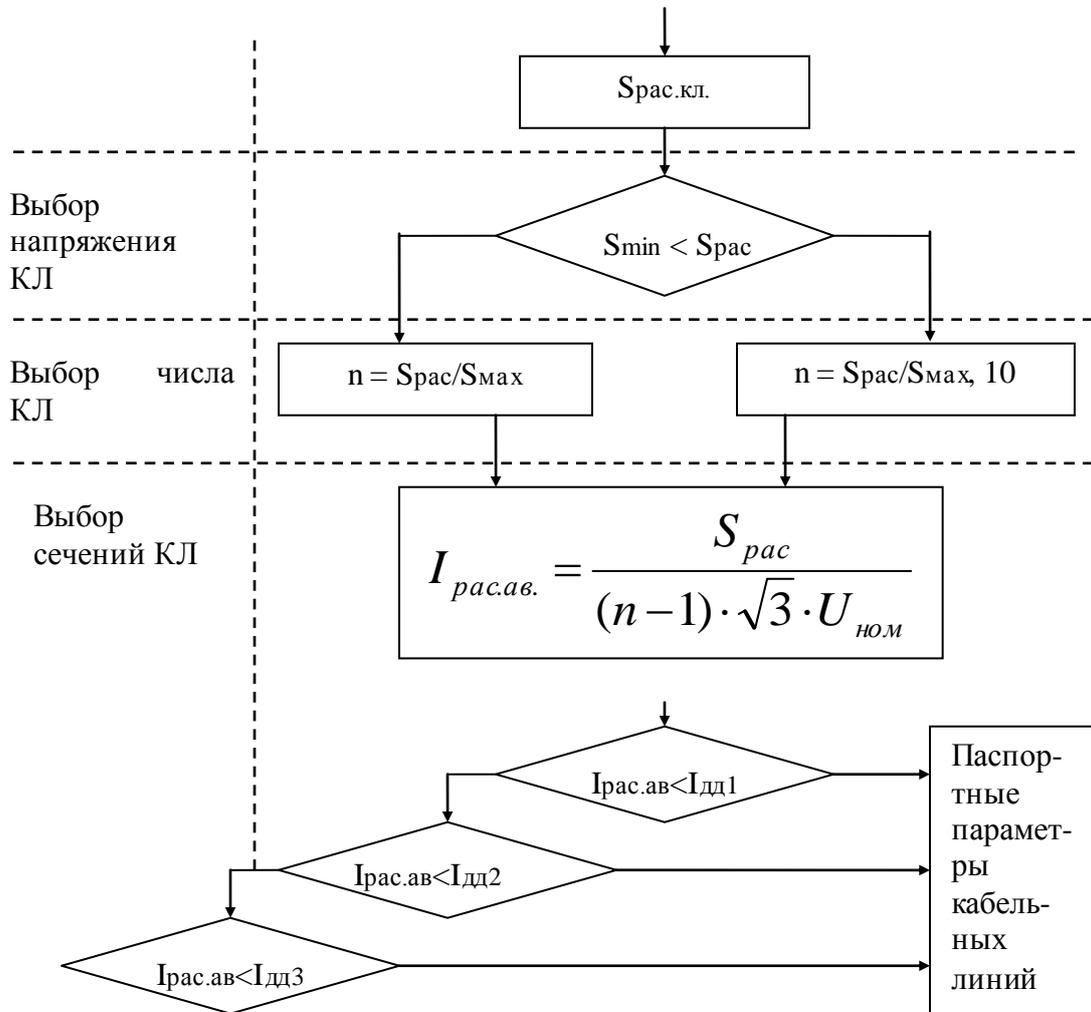


Рис. 4.15. Алгоритм выбора кабельных линий.

Если элементы СЭС выбираются без оптимизации параметров схемы ЭС, то сечение КЛ—по нагреву. На рис. 4.15. показан алгоритм выбора сечения КЛ по длительно допустимому току кабеля.

Выбор кабельной линии начинается с определения напряжения кабельной линии при следующем условии:

$$S_{min.10} < S_{рас} < S_{max.0,4}, \quad (3.58)$$

т.е. если протекающая мощность КЛ больше максимальной мощности низковольтной КЛ, то выбирается высоковольтная КЛ.

После этого определяется число кабельных линий по следующей формуле:

$$n = \frac{S_{рас}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн} \cdot I_{од.мах}} \quad (3.59)$$

где $S_{рас}$ – расчетная нагрузка цеха; $U_{нн}$ – напряжение низковольтной кабельной линии; $I_{од.мах}$ – длительный допустимый ток, соответствующий максимальному сечению низковольтной кабельной линии.

Сечение кабельной линии и другие паспортные параметры выбираются по условиям нагрева. То есть, неравенство $I_{рас.ав} < I_{од}$ является условием выбора сечения кабельной линии. При этом определяется расчетно-аварийный ток по следующей формуле:

$$I_{рас.ав.} = \frac{S_{рас}}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (3.60)$$

где n – число кабелей в линии.

Для определения рациональной СЭС с оптимизацией параметров схемы ЭС используется алгоритм, показанный на рис. 3.14. Оптимизация параметров схемы ЭС осуществляется по ступеням СЭС. При проектировании рациональной СЭС используется обобщенная математическая модель СЭС, описанная в второй главе.

Обобщением системы проектирования отдельных ступеней системы электроснабжения в единую структуру получаем общий алгоритм оптимизации параметров СЭС предприятия [122,127]. Оптимизация параметров начинается с низшей ступени СЭС предприятия.

По заданным значениям нагрузки и длины КЛ на i -уровне СЭС по (3.47), определяется экономически эффективное сечение КЛ, питающее

потребителей. Если проектом предусмотрена в этой точке компенсация реактивной мощности, то сечение КЛ определяется по формуле (3.33).

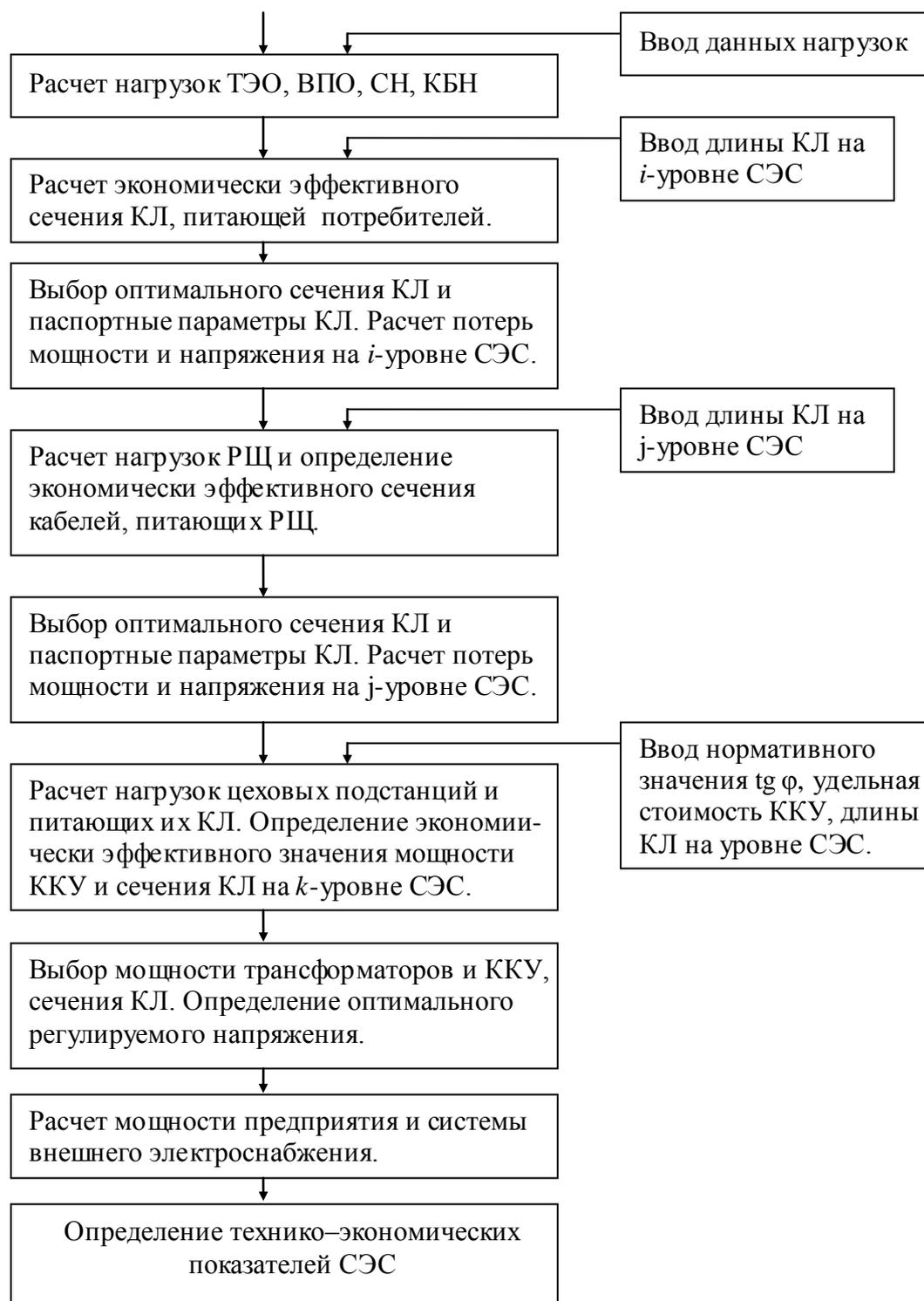


Рис. 3.16. Алгоритм оптимизации параметров схемы электроснабжения предприятия

Таким образом, последовательно находится оптимальное сечение всех КЛ j -го уровня. Суммированием всех потребителей распределительного щита, определяется нагрузка КЛ, питающей их РЩ.

Заданием значения длины КЛ, питающих РЩ по формуле (3.47) выбирается оптимальное сечение КЛ и подбираются паспортные параметры КЛ. Производится расчет потерь мощности и напряжения на i -уровне СЭС. Если проектом предусмотрена в этой точке компенсация реактивной мощности, то сечения КЛ определяются по формуле (3.33).

Суммированием нагрузок распределительных щитов, питающих отдельные подстанции, определяется нагрузка этой ТП. Заданием длины КЛ по формуле (3.47) определяется оптимальное сечение и паспортные параметры КЛ: расчет потерь мощности и напряжения на j -уровне СЭС. При этом вводится нормативное значение $\operatorname{tg} \varphi$, удельная стоимость ККУ, длины КЛ на уровне СЭС. Определяется экономически эффективное значение мощности ККУ и сечения КЛ на k -уровне СЭС. Суммированием мощности цеховых подстанций определяется общая мощность предприятия и рассчитываются системы внешнего электроснабжения. Определяются показатели эффективности СЭС с учетом технических и экономических показателей.

Такое построение алгоритма программы предусматривает автоматический выбор схемы внутриводского электроснабжения, обеспечиваются также автоматический поиск и снабжение исходных данных для расчета.

ГЛАВА 4. ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1. Проблемы нормативного и методического обеспечения энергосберегающих мероприятий в промышленности

Производство конкурентоспособной на мировом рынке продукции требует повышения эффективности производства, уменьшения производственных затрат. Решение этой задачи требует комплексного исследования всех составляющих затрат и выявления источников неоправданных больших затрат. На СЭС предприятий, являющейся низшей ступенью электрической системы, приходится до 40% потерь электроэнергии электрической сети [5]. Отсюда необходимость исследований потерь энергии именно на промышленных предприятиях становится очевидной. Проблема энергосбережения в СЭС ПП является многогранной, и исследование этой проблемы следует разделить на следующие аспекты:

1. Создание нормативной и информационной базы для эффективного управления энергоснабжением объекта энергосистемы.

2. Разработка критериев и показателей энергоэффективности, обеспечивающих более объективную оценку эффективности энергосберегающих мероприятий.

3. Поиск эффективных моделей и алгоритмов, обеспечивающих разработку оптимального баланса мощностей в СЭС ОЭС применительно к новым экономическим условиям.

4. Изучение влияния показателей качества электроэнергии на потери электроэнергии.

В настоящее время при проектировании энергетических объектов приходится пользоваться справочными и нормативными документами,

разработанными на основе материалов и данных энергетики европейской части бывшего Союза. Так, например, удельный расход электроэнергии и ряд других коэффициентов (коэффициенты спроса, использования, максимума и др.) не соответствуют климатическим условиям Республики Узбекистан, где среднегодовая температура существенно превышает среднегодовую температуру европейской части России [81]. Претерпели существенные изменения технология и технологическое оборудование. Примеры превышения или понижения удельных расходов электроэнергии, по сравнению с нормативными требованиями, можно привести из многих отраслей народного хозяйства.

Климат Республики Узбекистан отличается жаркой и сухой погодой. В летнее время технологический процесс требует в технологических помещениях ткацких и отделочных фабрик уменьшения температуры на 20-25°C, а влажность воздуха следует увеличить в 2-3 раза. Переходный процесс после пуска технологического оборудования, обеспечивающий необходимый температурно - влажностный режим, длится несколько часов. Именно поэтому оборудование этих производств работает круглосуточно, без отключений и на выходные и праздничные дни.

Важным аспектом при решении проблемы энергосбережения является определение и минимизация потерь мощности в элементах СЭС. Здесь основным инструментом является снятие, и детальное исследование графиков нагрузки в разные отрезки времени: сменные, суточные сезонные и годовые. Анализ графиков нагрузок следует рассматривать в тесной связи с технологическим процессом, а также, имея ввиду утренние часы или вечернее время наибольших нагрузок на СЭС. В последнее время существенные потери электроэнергии происходят из-за работы асинхронных двигателей, подвергшихся ремонтам на местах, зачастую в кустарных условиях. После ремонта техническое состояние этих двигателей не проверяется на соответствие с паспортными данными завода - изготовителя.

В результате технические показатели работы таких двигателей оказываются ниже нормативных.

Резюмируя проблему в целом, следует признать, что из-за несоответствия справочно-нормативных требований сегодняшним реалиям нашей жизни искажается ряд важнейших показателей производства, таких, как пределы изменения сезонных нагрузок, время наибольших потерь, срок службы электрооборудования и др. Эти дефекты, в свою очередь, искажают нормативные и технико-экономические показатели системы электроснабжения промышленных предприятий [84].

Одним из эффективных средств экономии энергоресурсов является внедрение на промышленных предприятиях современных автоматизированных систем контроля и учета энергоносителей. Однако все предприятия не могут позволить себе установку таких систем из-за отсутствия финансовых средств. Поэтому для активизации процессов энергосбережения важен поиск путей и механизмов согласования экономических интересов как энергосистемы, так и потребителей энергии.

Одной из проблем, сдерживающей внедрение энергосберегающих решений является крайне низкий уровень информационной обеспеченности проектных организаций нормативной документацией из – за необоснованно высокой стоимости распространения нормативных и информационных материалов [12]. В настоящее время на многих предприятиях в сфере потребления энергоносителей отсутствует порядок в нормировании, учете, контроле за расходованием энергии.

Налаживание учета как таковое не дает экономии энергоресурсов, но позволяет проанализировать потребление электроэнергии, в результате чего появляется возможность разработать мероприятия по экономии. Также правильный учет вскрывает все неточности во взаимоотношениях энергоснабжающей организации и потребителя электроэнергии. Финансовые средства, которые высвобождаются в результате упорядочивания учета, - это

всего лишь кажущаяся экономия. На самом деле это издержки несовершенства учета [12].

Энергоснабжающая организация не заинтересована в наличие идеального учета. А вот потребитель явно нуждается в идеальном порядке учета, так как при этом высвобождается деньги, которые он ранее терял. Добившись постановки оптимального учета, можно приступить к решению вопросов экономии электроэнергии.

Проведенный анализ показывает, что энергосберегающая деятельность службы главного энергетика имеется ряд существенных недостатков:

- они заняты главным образом решением текущих задач, связанных с эксплуатацией и ремонтом энергетического оборудования и сетей;

- у энергослужб нет специалистов, способных эффективно решать такие сложные задачи, как выполнение комплексного анализа использования энергоресурсов, системная оценка имеющихся резервов энергосбережения, технико-экономическое обоснование принимаемых решений, формирование программы и оптимального плана развития и повышения эффективности функционирования энергохозяйства;

- в силу недостатков в организации учета и контроля использования энергоресурсов отделы главных энергетиков не располагают всей информацией, необходимой и достаточной для выполнения всего комплекса работ по энергосбережению;

- сложившаяся практика планирования энергохозяйственной деятельности предприятий во многом носит формальный характер, так как сами планы имеют не директивный, а информационный характер.

При реализации проектов по системе электроснабжения (СЭС) объектов энергосистем особое значение приобретает оценка эффективности разработанной СЭС [13,24,63,76,153]. Современная СЭС является

многофункциональной автоматизированной системой. Оценка эффективности современных СЭС с одним критерием становится недостаточной и необъективной. Причинами, вызывающими в ряде случаев необходимость учета в сочетании стоимостных и натуральных показателей при оценке эффективности мероприятий по экономии энергии в промышленности, являются:

- невозможность приведения сравниваемых вариантов технических решений к сопоставимому виду;
- примерное равенство вариантов по стоимостным показателям;
- рост потребности промышленности в материальных и трудовых ресурсах при наличии ряда ограничений по ним;
- неопределенность исходной информации по рассматриваемым установкам, главным образом по стоимостным показателям.

Учет технических показателей особенно важен при выборе оптимального технического решения, когда взаимозаменяемые варианты близки между собой по стоимостным показателям и существенно различаются по расходам энергии, трудовых ресурсов, металлоёмкости оборудования.

В настоящее время при проектировании СЭС промышленного предприятия (ПП) выбор схемы электроснабжения (ЭС) осуществляется в основном по экономическим показателям СЭС [22,63,76,137], которые стимулируют упрощение схемы СЭС и минимизацию числа элементов СЭС. Для определения рациональной схемы электроснабжения используются в основном многовариантные методы расчета. При этом нет общего показателя характеризующего технические возможности СЭС для сопоставления разных вариантов СЭС. Можно перечислить следующие недостатки этой методики:

нестабильные цены на электротехническую продукцию в условиях рыночной экономики;

не достоверность нормативных коэффициентов, обоснованных в условиях государственной экономики;

недостаточный учет требований технологического электрооборудования (ТЭО) при проектировании СЭС.

Эффективность (или выбор схемы ЭС) СЭС необходимо определить по показателю, характеризующему возможности СЭС по передаче электроэнергии, устранению неполадок и повреждений, контролю и автоматизации и т.п. СЭС предприятий, обладающих одинаковыми возможностями (показатель эффективности), должна иметь одинаковый показатель эффективности.

Необходимо разработка комплексного показателя, определяющая не только эффективность использования электроэнергии, а эффективность СЭС и в целом электрической части производства.

В работе [145] сформулирована и обоснована система показателей для оценки эффективности энергоиспользования на промышленном предприятии. Это - показатель эффективности энергоиспользования (ПЭЭ) и показатель экономической целесообразности (ПЭЦ) реализации варианта энергосберегающего проекта (совокупности энергосберегающих мероприятий).

Определение показателя ПЭЭ производится на основании баланса мощности энергоиспользования, составленного в соответствии со схемой замещения энергетической структуры промышленного предприятия.

Одним из приоритетных направлений экономики Республики Узбекистан является развитие текстильной и легкой промышленности. В Республике работает несколько крупных текстильных комбинатов, которые имеют общие тенденции развития и проблемы на пути их усовершенствования. Неопределенность и необъективность при составлении нормативных документов, обеспечивающих работу энергохозяйства предприятия, не

позволяет точно определить эффективность производства, а также приводит к непредвиденным сбоям в работе электрооборудования.

5.2. Коэффициент эффективности силовой части системы электроснабжения промышленного предприятия

Эффективность комплекса работ, направленных на экономию энергии на промышленных предприятиях, может быть оценена с помощью коэффициента эффективности [129]:

$$K_{\text{э}} = \sum_{n=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i. \quad (4.1)$$

где $\beta_i = \Delta \mathcal{E} / \mathcal{E}_c$ - коэффициент эффекта i -го мероприятия по экономии энергии; \mathcal{E}_c - суммарный расход энергоресурсов на объекте до внедрения мероприятий; $\Delta \mathcal{E}_i$ - возможная экономия суммарного энергоресурса внедрения i -го мероприятия; $\alpha_i = R_i / \sum_{n=1}^n R_i$ - весовой коэффициент i -го мероприятия; R_i - общий ранг i -го мероприятия (номер места, занимаемого мероприятием в общей ранжировке); i, n - виды и число мероприятий.

Общая и частные ранжировки составляются, исходя из условия: чем важнее мероприятие, тем больше номер места, занимаемого мероприятием в общей ранжировке. Общий ранг находится по [137] из выражения

$$R_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m r_{ij}, \quad (4.2)$$

где r_{ij} - частный ранг i -го мероприятия в ряду ранжирования по j -му показателю-признаку; j, m - виды и число показателей-признаков.

В качестве показателей признаков могут быть использованы коэффициенты:

энергоёмкости установки, на котором внедряется мероприятие;

эффекта мероприятия (отношение экономии энергоресурса от внедрения мероприятий к общей экономии от внедрения всех мероприятий);

затрат на мероприятие (отношение затрат на мероприятие к затратам на все мероприятия);

снижение себестоимости продукта (отношение себестоимости продукта, выработанного установкой после внедрения мероприятия, и себестоимости продукта до внедрения мероприятия; при необходимости можно рассматривать только энергетическую составляющую себестоимости);

приборного учета (отношение числа дополнительно устанавливаемых приборов при внедрении мероприятия к числу установленных приборов до внедрения мероприятия);

изменения удельного расхода энергоресурса на производстве продукции; надежности энергоснабжения (отношение вероятностей отказов в снабжении замещающими и существующими энергоресурсами);

экономичности (отношение полного эффекта, выраженного в денежном выражении, от внедрения мероприятия к суммарным затратам на проведение всех мероприятий).

При переходе предприятий на новые условия функционирования и внедрения новых технологий возникает вопрос эффективности СЭС, предусмотренный проектом этих предприятий. Эти обстоятельства предполагают реконструкцию предприятий с учетом современных требований, в частности, по качеству и эффективности использования электроэнергии, автоматизации потребления, учета и т. д. [5,74,128]. Это, в свою очередь, нуждается в усовершенствовании методики проектирования СЭС с учетом современных требований. Эти обстоятельства требуют сформулировать критерий и показатель эффективности СЭС, более точно учитывающий современные требования ТЭО при выборе схемы ЭС ПП.

Предлагается выбор схемы осуществлять по показателям, характеризующим эффективность функционирования схемы ЭС и качество

электроэнергии на выходе СЭС [108,112]. Необходимо сформулировать показатель обобщающих действий по обеспечению этих требований на выходе СЭС. Для этого СЭС рассматривается как передаточное звено между источником (электрическая сеть) и потребителем (ТЭО) (рис.4.1). Устанавливая соотношение между выходными и входными показателями СЭС, получаем передаточный коэффициент, характеризующий влияние СЭС на параметры электроэнергии. Для универсальности все показатели рассчитываются в относительных единицах.

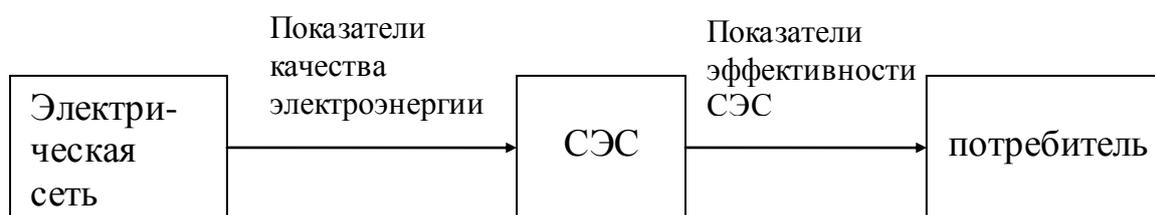


Рис.4.1. Структурная схема для определения эффективности СЭС

Составляется расчетная схема для исследуемого цеха из последовательно включенных элементов СЭС, осуществляющих непосредственное питание электрической энергией ТЭО. Схема включает в себя элементы всех ступеней СЭС (в т.ч. резервные) от точки коммерческого учета до потребителя. В схеме даны устройства коммутации, защиты, регулирования, автоматики, учета и измерения. Упрощенная схема для исследования эффективности СЭС показана на рис.4.2. Здесь исследуются возможности СЭС по устранению ненормативных режимов работы и поврежденных элементов СЭС, обеспечению необходимых показателей качества электроэнергии на выходе СЭС.

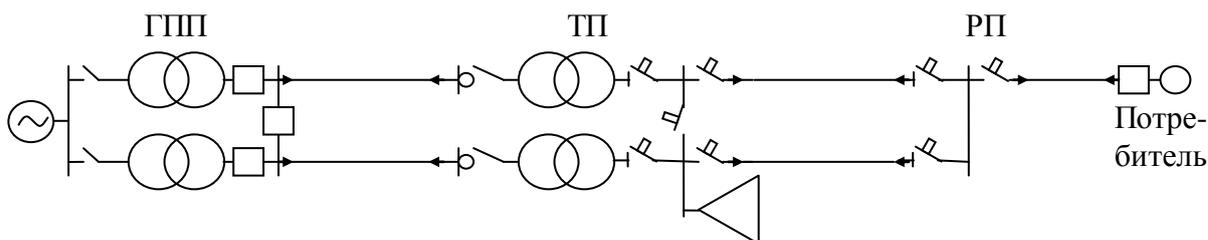


Рис.4.2. Расчетная схема для определения эффективности СЭС.

Эффективность функционирования СЭС определяется множеством различных показателей, которые полностью учитывать при формировании единого показателя эффективности невозможно. Поэтому учитываются только те показатели, улучшение которых связано с устройствами СЭС. Например, колебание и отклонение частоты тока невозможно устранить устройствами СЭС ПП. Для определения обобщенного показателя эффективности используем метод многокритериального анализа [81,129]. Эффективность СЭС определяется в основном эффективностью передачи и качеством поставляемой энергии, устранением поврежденных элементов и ненормальных режимов работы СЭС. Взаимосвязанные показатели обобщают и получают единый коэффициент, определяющий степень искажения этих показателей на выходе СЭС.

Основными операциями, выполняемыми элементами вторичных цепей, являются: измерение, учет, контроль, защита, автоматическое управление коммутационными аппаратами, резервирование элементов СЭС и т.п. Успешное выполнение этих операций в конечном итоге определяет эффективность функционирования СЭС предприятия. При этом нет общего показателя, характеризующего возможности вторичных цепей и учета этого показателя при выборе схемы СЭС предприятия.

Структурная схема определения обобщенного показателя эффективности СЭС показана на рис. 4.3. Общий коэффициент эффективности СЭС устанавливается обобщением экономических и технических показателей эффективности СЭС. Коэффициент технической эффективности определяется обобщением показателей эффективности силовой части СЭС и эффективностью функционирования вторичных цепей СЭС.

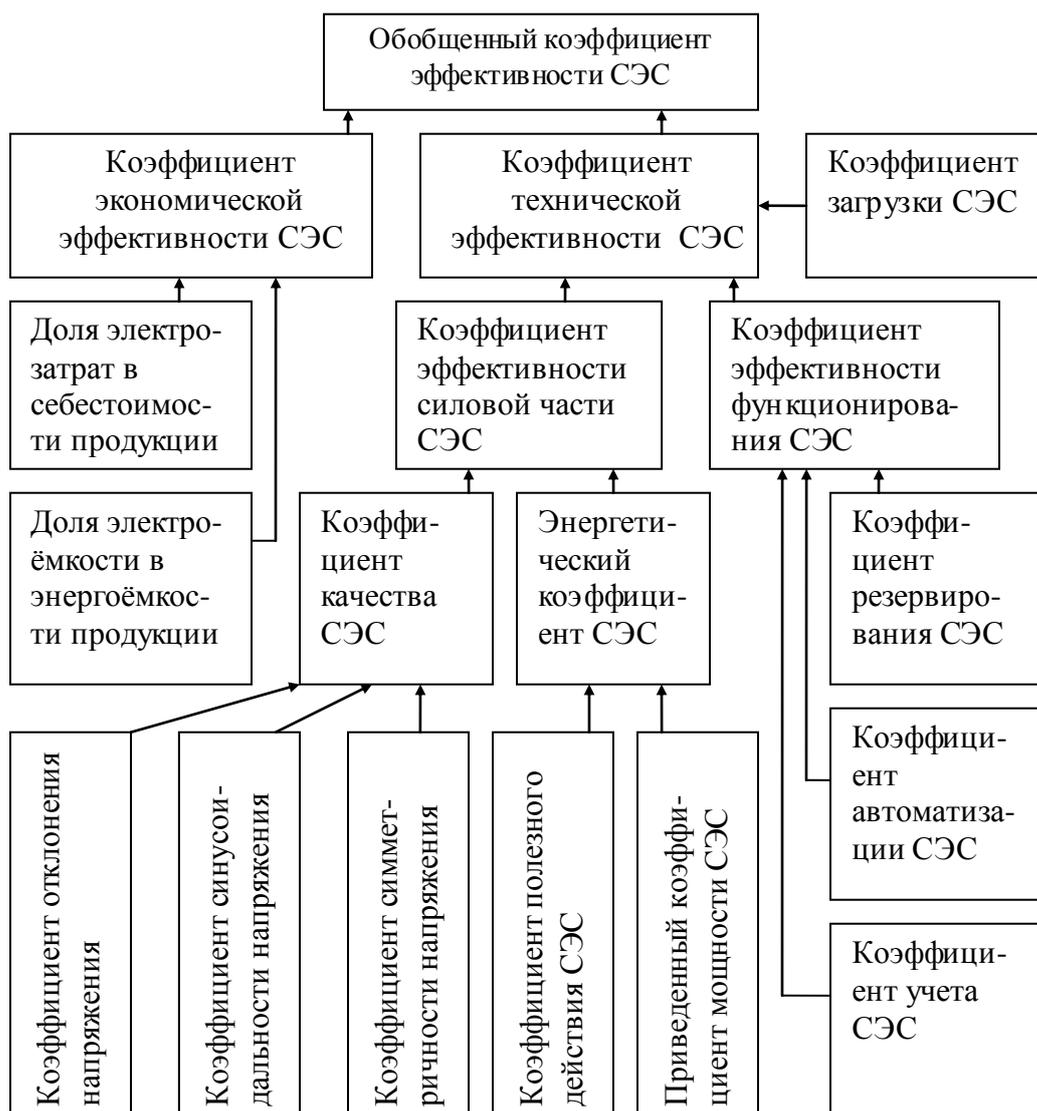


Рис. 4.3. Структурная схема определения обобщенного показателя эффективности СЭС предприятия

Принимаются следующие обобщенные показатели, определяющие эффективность работы силовой части СЭС: коэффициент качества, характеризующий изменение качества электроэнергии на выходе СЭС; энергетический коэффициент, определяющий степень эффективности передачи электроэнергии по предложенной схеме ЭС. Эффективность работы вторичных цепей характеризуется коэффициентом функционирования СЭС, определяющим уровень автоматизации, системы учета, надежности и защиты. Эффективность работы СЭС зависит от загрузки элементов СЭС.

Поэтому при формировании показателя эффективности учитывается обобщенный коэффициент загрузки элементов СЭС.

Обобщенный коэффициент качества СЭС определяется умножением коэффициентов качества напряжения СЭС:

$$K_{кач} = \prod_{n=1}^n K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n = K_{sin} \cdot K_{\Delta U} \cdot K_{сим}, \quad (4.3)$$

где K_{sin} – коэффициент синусоидальности, $K_{\Delta U}$ – коэффициент отклонения напряжения, $K_{сим}$ – коэффициент симметричности напряжения, определяемый в зависимости от текущего значения напряжения на шинах СЭС.

При необходимости учитываются и другие показатели качества, если влияния СЭС на этот показатель будет существенным.

На выходе СЭС рассчитываются следующие коэффициенты качества электроэнергии: отклонения напряжения, коэффициенты синусоидальности и симметрии. Отклонение напряжения, вызванное параметрами схемы СЭС (рис. 5.3), определяется по формуле:

$$\Delta U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^i (\Delta U_i \cdot K_i) = \sum_{i=1}^i \left(\sqrt{3} I \cdot (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi_0) \cdot l_i \cdot K_i \right), \quad (4.4)$$

где R_0 , X_0 – удельное активное и индуктивное сопротивление ЛЭП, *ом*; l_i – длина линии, *км*; K_i – коэффициент трансформации напряжения.

С помощью регулирующих устройств это падение напряжения компенсируется, и коэффициент передачи напряжения определяется по следующей формуле:

$$K_{\Delta U} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{U_{вых}}{U_{вых} + \Delta U_{сэс}} = \frac{U_{вых}}{U_{вых} + (\Delta U_{\Sigma} - \Delta U_{рег})}, \quad (4.5)$$

где $U_{вх}$ – напряжение на входе СЭС, В; $\Delta U_{рег}$ – максимальное добавочное напряжение регулирующих устройств СЭС, кВ;

Этот коэффициент характеризует степень влияния устройств СЭС на уровень напряжения сети.

Ещё одним показателем качества электроэнергии является коэффициент несинусоидальности напряжения, который характеризует искаженности синусоидальности напряжения. Несинусоидальность формы кривого напряжения возникает из-за нелинейности элементов СЭС и нагрузки. Для улучшения синусоидальности напряжения в СЭС используются различные демпфирующие устройства и особые схемы соединения преобразователей электрической энергии [130]. Сформулируем показатель, характеризующий синусоидальность напряжения на выходе СЭС, который определяется (после уменьшения влияния высших гармоник) по следующей формуле:

$$K_{\text{sin}} = \frac{U_1}{U_1 + \sqrt{\sum U_i^2}}, \quad (4.6)$$

где U_1 – действующее значение первой гармоники; U_i – действующее значение высшей гармоники i - го порядка.

Несимметричность напряжения на выходе СЭС определяется значением напряжений нулевой и обратной последовательности и устраняется перегруппировкой однофазных потребителей [130]. Коэффициент симметрии определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{сим}} = \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} + U_0}, \quad (4.7)$$

где U_0 - напряжение нулевой (или обратной) последовательности.

Коэффициент (4.3) дает общую оценку качеству электроэнергии на выходе СЭС с достаточной точностью. При этом учитываются те показатели качества электроэнергии, влияние работы СЭС на которые будет значительным.

Важным показателем работы силовой части СЭС является передача электроэнергии с максимальным качеством и минимальными потерями. Эта возможность СЭС оценивается энергетическими коэффициентами:

коэффициентом полезного действия СЭС – $\eta_{\text{СЭС}}$; коэффициентом мощности СЭС предприятия – $\cos\varphi_{\text{СЭС}}$.

Коэффициент мощности СЭС предприятия определяется после компенсации реактивной мощности по следующей формуле:

$$\cos\varphi_{\text{СЭС}} = \frac{P_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}} = \frac{P_{\text{общ}}}{\sqrt{P_{\text{общ}}^2 + (Q_{\text{общ}} - Q_{\text{КУ}})^2}}, \quad (4.8)$$

где $P_{\text{общ}}$ и $Q_{\text{общ}}$ - общая потребляемая активная и реактивная мощность предприятия, кВт, кВАр; $Q_{\text{КУ}}$ - суммарная мощность ККУ, установленная на предприятии, кВАр.

Коэффициент полезного действия СЭС определяется по формуле:

$$K_{\text{кпд}} = \frac{P_{\text{наг}}}{P_{\text{наг}} + \Delta P_{\Sigma}}, \quad (4.9)$$

где ΔP_{Σ} – суммарные потери в элементах СЭС, кВт; $P_{\text{наг}}$ – потребляемая мощность ТЭО, кВт.

4.3. Обобщенный коэффициент эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий

Вторичные цепи СЭС обеспечивают надежность, безопасность, оперативность, точность и управляемость СЭС. Основные операции, выполняемые элементами вторичных цепей - это измерение, учет, контроль, защита, автоматическое управление коммутационными аппаратами, управление резервированием элементов СЭС и т.п. Успешное выполнение этих операций в конечном итоге определяет эффективность функционирования СЭС предприятия.

Основным показателем эффективности функционирования СЭС является надежность СЭС, которая характеризуется несколькими показателями надежности. Эти показатели определяются в основном методами теории вероятностей и достаточно сложны в использовании в

практических расчетах СЭС. Коэффициенты надежности характеризуют наиболее вероятные ситуации в работе СЭС. Несмотря на сложность расчетов, эти показатели не могут точно характеризовать надежность элементов и в целом СЭС.

Коэффициент, характеризующий технические возможности СЭС должны характеризовать не вероятность (например, время безотказной работы), а возможности схемы ЭС по устранению неполадок, отказов, повреждений и т.п. в работе СЭС. При этом для конкретной схемы коэффициент, характеризующий надежность СЭС, должен определяться однозначно. Основные меры, повышающие надежность СЭС, - резервирование элементов СЭС, автоматизация (защиты и функционирования СЭС), контроль режимов работы СЭС.

Сформулируем показатель, обобщающий эти возможности СЭС и характеризующий, в основном, эффективность функционирования СЭС. Для автоматического включения резервов элементов СЭС, а также автоматизации процессов потребления электропотребления требуется измерение текущих показателей электропотребления. Формулируя показатели, характеризующие эти возможности СЭС, а также обобщая эти показатели, получим общий коэффициент, характеризующий эффективность работы вторичных цепей СЭС. Работоспособность СЭС при различных ненормальных режимах работы или повреждениях элементов СЭС определяется коэффициентом функционирования (вторичных цепей) СЭС, состоящим из коэффициентов резервирования, автоматизации и учета. Коэффициент резервирования СЭС определяется по формуле:

$$K_{рез} = \frac{N_{эл} + N_{рез}}{2 \cdot N_{эл}}, \quad (4.10)$$

где $N_{эл}$ – число элементов СЭС, имеющих возможность резервирования; $N_{рез}$ – число резервированных элементов СЭС. Полное резервирование элементов

будет при параллельно включенных элементах на каждой ступени СЭС, т.е.

$$N_{эл} + N_{рез} = 2 \cdot N_{эл}$$

Коэффициент автоматизации СЭС определяется возможностями ЭЭС по обеспечению следующих операций:

- автоматическое включение резерва на подстанциях;
- автоматическое регулирование коэффициента мощности СЭС;
- автоматическое регулирование напряжения в СЭС.

Коэффициент автоматизации определяется по следующей формуле:

$$K_{ав} = 0,5 \cdot \frac{N_{авр}}{N_{nc}} + 0,3 \cdot \frac{N_{\Delta u}}{N_{nc}} + 0,2 \cdot \frac{N_{\Delta q}}{N_{nc}}, \quad (4.11)$$

где $N_{авр}$ – число подстанций, имеющих устройства автоматического включения резерва; $N_{\Delta u}$ – число подстанций, имеющих устройства регулирования напряжения; $N_{\Delta q}$ – число подстанций, имеющих устройства регулирования cosφ; N_{nc} – общее число подстанций на предприятии.

Система учета электроэнергии на предприятии характеризуется коэффициентом учета СЭС, который определяется по следующей формуле:

$$K_y = K_{к.у.} + \frac{N_{т.у.}}{N_{т.р.}} \cdot K_{м.у.}, \quad (4.12)$$

где $N_{м.р.}$ – число точек распределения электроэнергии до технологического цеха; $N_{м.у.}$ – число точек распределения электроэнергии, имеющих устройства учета; $K_{к.у.}$ – коэффициент, характеризующий систему коммерческого учета, который при автоматизированной системе учета (АСКУЭ) $K_{ком} = 0,5$, а при неавтоматизированной $K_{к.у.} = 0,25$; $K_{м.у.}$ – коэффициент, характеризующий систему технического учета, который при автоматизированной системе учета $K_{тех} = 0,5$, а при неавтоматизированной $K_{м.у.} = 0,25$.

Для более точной оценки системы учета предлагается коэффициент качества учета [13]. Качество учета определяется его полнотой, точностью, достоверностью и оперативностью. Полнота учета оценивается коэффициентом полноты учета $K_{п.}$, представляющим собой отношение

объема учетной информации, которая обеспечивается существующей системой учета, к объему учетной информации, отвечающей требованиям управления производством. Под объемом учетной информации понимается число точек предприятия, в которых определение расходов энергоресурсов производится ещё и расчетными методами, т.е.

$$K_{II} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{\sum_{i=1}^{N_0} V_{0i}}, \quad (4.13)$$

где V_i - объем учетной информации по i -му объекту информации при существующей системе учета; V_{0i} - объем учетной информации, получение которой должно обеспечиваться по i -му объекту учета в соответствии с требованиями комплексной системы учета; N - количество объектов в существующей системе учета; N_0 - количество объектов в системе учета, соответствующее требованиям комплексной системы.

Точность учета характеризуется коэффициентом точности K_T , представляющим собой отношение степени точности определения расхода энергоресурсов приборным и расчетным методами, обеспечиваемыми существующей системой учета, к отвечающей требованиям управления производством, т.е.

$$K_T = \frac{\frac{1}{V} \cdot \left(\sum_{i=1}^{V_n} r_{in} + \sum_{i=1}^{V_p} r_{ip} \right)}{\frac{1}{V_0} \cdot \left(\sum_{i=1}^{V_{0n}} r_{0in} + \sum_{i=1}^{V_{0p}} r_{0ip} \right)}, \quad (4.14)$$

где r_{in} , r_{ip} - степени точности i -й информации, обеспечиваемой соответственно установленными приборами учета и применяемыми методами расчета; r_{0in} , r_{0ip} - степени точности i -й единицы информации соответственно в случае приборного и расчетного способов учета, отвечающих требованиям комплексной системы; V , V_0 - общие объемы учетной информации, получение которой обеспечивается по предприятию

соответственно при существующей системе учета и комплексной ; $V_{п}$, $V_{р}$, $V_{оп}$, $V_{ор}$ – объемы учетной информации, получение которой обеспечивается по предприятию приборным и расчетным способами соответственно в существующей и комплексной системах учета.

Под достоверностью учета понимается соответствие информации, отражаемой данными энергетического учета и отчетности, фактическим показаниям установленных приборов учета или показателям, исчисляемым на основе применяемых расчетных методов, т.е.

$$K_{д} = \frac{S}{S_0}, \quad (4.15)$$

где S и S_0 – достоверность информации в существующей и комплексной системах учета.

В условиях полного внедрения комплексной системы достоверность информации $S_0=1$, тогда

$$K_{д} = \frac{V - (V_{н.п} - V_{н.р})}{V} = 1 - \frac{(V_{н.п} - V_{н.р})}{V}, \quad (4.16)$$

где $V_{н.п}$, $V_{н.р}$ - объемы достоверной информации, имеющей место соответственно при приборном и расчетных способах учета.

Оперативность учета отражает своевременность получения учетной информации в соответствии с требованиями управления производством, т.е.

$$K_0 = \frac{\tau_{ср}}{\tau_{ср.0}}, \quad (4.17)$$

где $\tau_{ср}$ и $\tau_{ср.0}$ - средние оперативности (время) получения информации в существующей и комплексной системах учета.

Коэффициент качества учета определяется уровнем качества учета данного вида энергоресурса и рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{к.у} = K_{п} \cdot K_{т} \cdot K_{д} \cdot K_0. \quad (4.18)$$

Для определения обобщенного технического показателя эффективности СЭС складываются три вышеизложенных показателя

(коэффициенты качества, энергетический показатель и эффективность функционирования).

Схема ЭС может работать без коэффициента функционирования $-K_{э.ф.}$. Например, без автоматизации, без резерва или без системы учета. Поэтому этот коэффициент дополняет возможности СЭС. Коэффициент технической эффективности СЭС определяется суммированием коэффициентов силовой части и управляющей части СЭС, т.е.:

$$K_{mex} = \sum_{n=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i = \sum_{n=1}^n \frac{1}{m} \cdot K_n, \quad (4.19)$$

где K_n - коэффициент эффективности n -х возможностей СЭС, характеризующий эффективность СЭС; $\alpha_i = 1/m$ - весовой коэффициент m -х возможностей СЭС; n - номер места коэффициента эффективности, занимаемого в общей ранжировке. С учетом общего числа коэффициентов, а также того, что общий коэффициент не должен быть больше единицы, весовой коэффициент принимаем в следующем виде [108,118]:

$$\begin{aligned} K_{э.мex} &= \sum_{n=1}^n \left(\frac{1}{n+3} \cdot K_n \right) = \frac{1}{4} \cdot \eta_{сэс} + \frac{1}{5} \cdot \cos \varphi_{сэс} + \frac{1}{6} \cdot K_{кач} + \frac{1}{7} \cdot K_y + \frac{1}{8} \cdot K_{рез} + \frac{1}{9} \cdot K_{ав} = \\ &= 0,25 \cdot \eta_{сэс} + 0,2 \cdot \cos \varphi_{сэс} + 0,16 \cdot K_{кач} + 0,14 \cdot K_y + 0,125 \cdot K_{рез} + 0,11 \cdot K_{ав}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Общая и частные ранжировки весовых коэффициентов составляются, исходя из условия: чем важнее коэффициент, тем больше номер места, занимаемого коэффициентом в общей ранжировке. При этом выбирается критерий, по которому ранжируются показатели эффективности СЭС. В качестве такого критерия можно принять долю влияния показателей эффективности СЭС на потери энергии в СЭС, на годовые приведенные затраты, на надежность СЭС, на условия загрязнения окружающей среды и т.п.

Например, исследуем влияния энергетических коэффициентов СЭС, т.е. коэффициента полезного действия СЭС и коэффициента мощности СЭС на потери мощности на выходе СЭС:

$$\Delta P_1 = I^2 \cdot R = \left(\frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_1} \right)^2 \cdot R = \frac{P^2}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi_1}; \quad (4.21)$$

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{\cos^2 \varphi_2}{\cos^2 \varphi_1}. \quad (4.22)$$

Например, определяем изменение относительных потерь при увеличении $\cos \varphi$ на 10%, т.е. от 0,82 на 0,92:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2} = \frac{0,82^2}{0,92^2} = \frac{0,84}{0,67} = 1,26. \quad (4.23)$$

При увеличении $\cos \varphi$ на 10 % относительные потери уменьшаются на 26 %. Анализируем изменение потерь в абсолютных величинах, при нагрузке 100 кВт, $R=1$ ом и напряжении сети 380 В.

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot 166^2 \cdot 0,22 = 18,18 \text{ кВт}; \quad (4.24)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot 185^2 \cdot 0,22 = 22,61 \text{ кВт}. \quad (4.25)$$

Абсолютные потери уменьшаются на 4,43, т.е к.п.д. СЭС на 4,43%.

Таким образом, одинаковые изменение (на 10%) энергетических показателей СЭС приводит к изменению потерь мощности на выходе СЭС в следующих значениях:

При изменении к.п.д. - абсолютные потери на 10 кВт, относительные потери на 10 %;

При изменении $\cos \varphi$: - абсолютные потери на 4,43 кВт, относительные потери на 4,43%.

Таким образом, сравниваются другие показатели эффективности, входящие в обобщенный показатель эффективности СЭС, и место показателя в ранжирование показателей.

При эксплуатации СЭС этот коэффициент используется для контроля эффективности СЭС предприятия. Для этого определяется нормативный коэффициент эффективности СЭС на основе допустимых (нормативных) значений этих коэффициентов. Для определения нормативного значения

коэффициента эффективности СЭС используем следующие нормативные данные по электропотреблению:

Допустимые отклонения напряжения—5%.

Допустимая симметричность напряжения—2%.

Несинусоидальность напряжения —2%.

Нормативное значение потерь в СЭС —5%.

Нормативный коэффициент мощности—0,96.

Наличие АСКУЭ на предприятия, т.е. $K_y=0,5$.

Количество резервированных элементов СЭС не менее 50%.

Подстанции предприятия имеющие АВР —100%.

Подстанции, имеющие устройство регулирования $\cos \varphi$ —100%.

Подстанции, имеющие устройство регулирования напряжения—100%.

По значениям этих показателей определяем коэффициенты эффективности СЭС. Коэффициент качества электроэнергии на выходе СЭС:

$$K_{кач} = K_{\Delta U} \cdot K_{сим} \cdot K_{sin} = 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,93. \quad (4.26)$$

Коэффициент автоматизации СЭС:

$$K_{ав} = 0,5 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 = 0,75. \quad (4.27)$$

Нормативный коэффициент технической эффективности СЭС:

$$\begin{aligned} K_{н.сэс} &= \frac{1}{4} \cdot \eta_{сэс} + \frac{1}{5} \cdot \cos \varphi_{сэс} + \frac{1}{6} \cdot K_{кач} + \frac{1}{7} \cdot K_{ав} + \frac{1}{8} \cdot K_{рез} + \frac{1}{9} \cdot K_y = \\ &= 0,25 \cdot 0,95 + 0,2 \cdot 0,96 + 0,16 \cdot 0,93 + 0,14 \cdot 0,75 + 0,125 \cdot 1 + 0,11 \cdot 0,5 = \\ &= 0,237 + 0,192 + 0,149 + 0,105 + 0,094 + 0,055 = 0,8. \end{aligned} \quad (4.28)$$

При эксплуатации СЭС этот коэффициент используется для контроля эффективности СЭС предприятия.

Надежность СЭС непосредственно зависит от коэффициента загрузки электрооборудования. С одной стороны, чем меньше загрузка, тем больше надежность, с другой стороны - чем меньше загрузка, тем больше капитальные затраты и тем нерациональнее использование установленной мощности оборудования. Оптимальной загрузкой считается для

трансформаторов $k_3=0,7$, для ЛЭП 0,5. Поэтому по общему коэффициенту загрузки СЭС можно судить о показателях эффективности СЭС. Общий коэффициент загрузки для трансформаторов и ЛЭП по отдельной ступени СЭС определяется по следующей формуле:

$$k_{з.тр} = \frac{S_{\max.н}}{S_{\max.тр}}, \quad \text{или} \quad k_{з.л} = \frac{S_{\max.н}}{S_{\max.л}}, \quad (4.29)$$

где $S_{\max.н}$ - максимально потребляемая мощность предприятия, МВА; $S_{\max.тр}$ - суммарная установленная мощность трансформаторов по ступеням СЭС, МВА; $S_{\max.л}$ - суммарная максимально пропускаемая мощность ЛЭП по ступеням СЭС, МВА.

Максимально потребляемая мощность предприятия - это потребляемая мощность предприятия, в наиболее загруженное время в графике суточных нагрузок. Суммарное значение установленной мощности трансформаторов, например, для цеховых подстанций определяется по следующей формуле:

$$S_{\max.тр} = \sum_{k=1}^{k_{\max}} (n \cdot S_{н.м}(k)), \quad (4.30)$$

где k - номер цеховой подстанции; n - количество трансформаторов на цеховой подстанции, шт.

Суммарная максимально пропускаемая мощность ЛЭП определяется по значениям длительно допустимого тока – $I_{од}$ и номинальному напряжению U_n высоковольтных кабельных линий:

$$S_{\max.л} = \sum_{k=1}^{k_{\max}} (n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n(k) \cdot I_{од}(k)), \quad (4.31)$$

Оптимальной загрузкой считается для трансформаторов $k_{з.тр}=0,7$, для ЛЭП $k_{з.л}=0,5$. Отклонение в любую сторону ухудшает показатели эффективности СЭС. Поэтому влияние коэффициента загрузки на работоспособность СЭС учитываем следующим образом. Отклонение от

оптимального значения коэффициента загрузки для трансформаторов и ЛЭП определяется следующими выражениями:

$$k'_{з.тп} = 1 - |k_{з.тп} - 0,7|; \quad (4.32)$$

$$k'_{з.л} = 1 - |k_{з.л} - 0,5|; \quad (4.33)$$

Уменьшение коэффициента загрузки энергетического оборудования от оптимального значения увеличивает надежность и капитальное вложение СЭС. Коэффициент загрузки почти одинаково влияет на эффективность работы силовой части СЭС и элементов вторичных цепей. Поэтому коэффициент, характеризующий техническую эффективность СЭС можно написать в следующем виде:

$$K_{э.тех} = K_{тех} \cdot k'_{з.тп} \cdot k'_{з.л} = K_{тех} \cdot K_{з.сэс}. \quad (4.34)$$

Обобщенный показатель, определяемый по (5.34), также может характеризовать уровень совершенности СЭС. Этот коэффициент дает общую оценку возможностям СЭС. Эти расчеты выполняются дополнительно к расчетам по существующей методике проектирования и энергетических обследований предприятия.

Однако этот коэффициент тоже не может полностью характеризовать эффективность СЭС. Внедрение высокотехнологичного электрооборудования в производство требует дополнительных затрат и возможно только при условиях окупаемости этих затрат. Поэтому сформулируем показатель, характеризующий экономическую эффективность СЭС. Для этого определяется доля электроэнергии в общем расходе энергии при производстве единицы продукции:

$$K_{эл.э} = \frac{W_{0.эл}}{W_{0.общ}}, \quad (4.35)$$

где $W_{0.эл}$ – удельный расход электроэнергии на единицу продукции; $W_{0.общ}$ – общий расход энергии на единицу продукции.

Определяем долю электрозатрат в стоимости единицы продукции:

$$K_{уд.с} = \frac{C_{эл}}{C_{пр}}, \quad (4.36)$$

где $C_{о.эл}$ - годовой объем всех электрозатрат, включая приведенные годовые затраты на СЭС, млн.сум; $C_{о.общ}$ - стоимость годового объема продукции, млн.сум.

Экономическая эффективность СЭС определяется отношением относительной электроёмкости к удельной стоимости электроэнергии на единицу продукции:

$$K_{эк.эф} = \frac{K_{эл.э}}{K_{уд.с}} = \frac{W_{0.эл}}{W_{0.общ}} \cdot \frac{C_{пр}}{C_{эл}}, \quad (4.37)$$

Коэффициент эффективности СЭС предприятия определяется по следующей формуле:

$$K_{э.сэс} = K_{э.тех} \cdot K_{э.сэс} \cdot K_{эк.эф} \quad (4.38)$$

$K_{эф.сэс}$ - определяет уровень соответствия СЭС требованиям ТЭО, а также дает общую оценку эффективности СЭС предприятия. Эти расчеты выполняются дополнительно к расчетам существующей методики проектирования и энергетических обследований предприятия.

Коэффициент эффективности СЭС при проектировании используется для оценки возможности проектируемой СЭС и выбора наиболее эффективной СЭС предприятия. При эксплуатации СЭС с помощью информационно-измерительных систем определяется текущее значение коэффициента эффективности СЭС и сравнение его с нормативным значением и контролируется степень функционирования СЭС.

Несомненно, этот показатель дает недостаточно точную оценку эффективности СЭС и требует усовершенствования. При оценке эффективности СЭС максимально учитываются технические и экономические возможности СЭС. Поэтому с некоторыми допущениями позволяет комплексно оценить эффективность СЭС предприятия

практическими расчетами. Информационно-аналитические системы АИИС КУЭ позволяют в непрерывном режиме определить текущее значение эффективности СЭС и непрерывно контролировать функциональные возможности СЭС.

4.4. Обобщенный коэффициент эффективности электрической части производства

На сегодня основными показателями эффективности работы электрической части производства (ЭЧП) являются показатели электроэффективности [56], которые в основном характеризуют эффективность использованной электрической энергии. Эффективность использования электрической энергии не всегда однозначно определяет эффективность производства. На эффективность производства также существенно влияют затраты на системы электроснабжения (СЭС) и технологическое электрооборудование (ТЭО), стоимость сырья и рабочей силы и т.п. При наилучших показателях электроэффективности эффективность производства может быть убыточной, например, из-за высоких затрат на СЭС или ТЭО, или при низких энергетических показателях эффективность производства может быть рентабельной, из-за других составляющих затрат. Внедрение в нашей промышленности дорогостоящего импортного ТЭО, систем автоматизированного учета или автоматизации производства не всегда оправдывается экономией электроэнергии. Такие неопределенности в расчетах энергоэффективности отмечены и в других работах. «Существующая нечёткость и неопределенность терминологии затрудняет определение параметров электропотребления, не позволяет сравнительно оценить энергоэффективность, а в целом – препятствует реализации энергосбережения...[57]».

Для более точного определения эффективности использования производственных энергозатрат следует ввести обобщенные показатели, например, эффективность использования ЭЧП в целом. Затраты на ЭЧП условно можно разделить три части: затраты на СЭС, на ТЭО и на электроэнергию. При проектировании или реконструкции производства эти затраты и эффективность использования их обычно изучаются отдельно. Например, при проектировании СЭС промышленного предприятия (ПП) эффективность СЭС оценивается по приведенным годовым затратам СЭС, которые фактически не зависят от объёма выпускаемой продукции. При этом интенсификация производства ухудшает показатель эффективности СЭС, так как увеличиваются единовременные затраты.

Одним из показателей экономической эффективности СЭС может быть удельная стоимость электроэнергии на предприятии, характеризующая стоимость подачи 1 кВт·час электроэнергии к потребителю:

$$K_{уд.э\text{э}} = \frac{СДЗ_{с\text{эс}}}{W_{год}}, \quad (4.39)$$

где $W_{год}$ - годовая потребленная электроэнергия предприятием, кВт·час; $З_{с\text{эс}}$ – суммарные дисконтированные затраты на систему электроснабжения предприятия, млн·сум/год.

Этот показатель, в частности, характеризует уменьшение затрат за счет усиления интенсивности использования электрической энергии и стимулирует автоматизацию производства.

Годовые суммарные дисконтированные затраты СЭС определяется по следующей формуле [130]:

$$З_{с\text{эс}} = K_{с\text{эс}} \cdot e_n + U + Y, \quad (4.40)$$

где $K_{с\text{эс}}$ - капитальные затраты на СЭС, млн.сум ; e_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год; U – годовой ущерб

от перерыва электроснабжения, млн.сум. U - годовые эксплуатационные расходы СЭС, которые определяются по следующей формуле:

$$U = U_{об} + \Delta U, \quad (4.41)$$

где $U_{об}$ - общие отчисления от капиталовложений на амортизацию, обслуживание и ремонт, ΔU - стоимость потерь электроэнергии в СЭС, млн.сум.

Современные энергетические и технологические установки отличаются высокой надежностью и уровнем автоматизации, которые приводят к уменьшению затрат на обслуживание. По существующей методике эти затраты определяются пропорционально стоимости оборудования и не учитывается уровень автоматизации и надежности оборудования, увеличение которых приводит к увеличению стоимости и уменьшению затрат на обслуживание. Поэтому для каждого типа оборудования затраты на обслуживание следует определять с учетом конкретных условий.

Для получения обобщенного коэффициента экономической эффективности показатели должны быть в относительных единицах. Поэтому таким показателем могут быть удельные затраты на СЭС на единицу продукции, характеризующей долю расходов на СЭС выпускаемой продукции:

$$K_{э.э.сэс} = \frac{СДЗ_{сэс}}{P_{год}}, \quad (4.42)$$

где $P_{год}$ - годовой объём продукции предприятия, млн·сум.

Внедрение высокотехнологичного электрооборудования в производстве, позволяющее уменьшить расход электроэнергии на единицу продукции, требует улучшения качества электроэнергии, автоматизации СЭС и т.п. Это, в свою очередь, требует дополнительных затрат и возможно только при условиях окупаемости этих затрат. Поэтому сформулируем показатель, характеризующий эффективность использования ТЭО. Таким

показателем может быть показатель эффективности использования ТЭО, характеризующий долю расходов на ТЭО в выпускаемой продукции:

$$K_{\text{э.э.тэо}} = \frac{СДЗ_{\text{тэо}}}{\Pi_{\text{год}}}, \quad (4.43)$$

где $СДЗ_{\text{тэо}}$ - годовые суммарные дисконтированные затраты на ТЭО, которые определяются так:

$$З_{\text{тэо}} = K_{\text{тэо}} \cdot e_n + U_{\text{об.т}}, \quad (4.44)$$

где $K_{\text{тэо}}$ - капитальные затраты на ТЭО, млн.сум ; e_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год; млн.сум. $U_{\text{об.т}}$ - затраты на обслуживание ТЭО, млн.сум.

Удельный расход электроэнергии на тыс.сум продукции:

$$K_{\text{э.э.тэо}} = \frac{З_{\text{ээ}}}{\Pi_{\text{год}}}, \quad (4.45)$$

где: $З_{\text{ээ}}$ - годовые затраты за потребленную электроэнергию, которые включают в себя оплату за активную и реактивную электроэнергию, млн.сум.

Доля электрозатрат в себестоимости определяется таким образом:

$$K_{\text{э.з.}} = \frac{СДЗ_{\text{общ.ээ}}}{\Pi_{\text{год}}} = \frac{СДЗ_{\text{сэс}} + СДЗ_{\text{тэо}} + З_{\text{ээ}}}{\Pi_{\text{год}}}. \quad (4.46)$$

Этот показатель не может однозначно характеризовать эффективность ЭЧП, так как этот показатель может быть наилучший тогда, когда электрическая энергия вообще не потребляется или, например, потребляется только для освещения. Поэтому, для более объективной оценки необходим показатель, характеризующий долю участия электрической энергии в производстве продукции. Таким показателем может быть доля электроэнергии в общем расходе энергии в производстве продукции:

$$K_{\text{эл.э}} = \frac{W_{\text{год.эл}}}{W_{\text{год.общ}}}, \quad (4.47)$$

где $W_{o.эл}$ – годовой расход электроэнергии на выпускаемую продукцию, т.у.т; $W_{o.общ}$ – общий годовой расход энергии на выпускаемую продукцию, т.у.т. Этот коэффициент можно назвать удельной электроёмкостью продукции. Эффективность электрической части производства может быть оценена отношением коэффициента удельной электроёмкости продукции на удельную стоимость электроэнергии на единицу продукции:

$$K_{эф.эчп} = \frac{k_{э.з.}}{k_{эл.э}} = \frac{W_{год.эл}}{W_{год.общ}} \cdot \frac{\Pi_{год}}{З_{общ.ээ}}. \quad (4.48)$$



Рис. 5.4. Структура обобщенного коэффициента эффективности использования электрической энергии на производстве.

Этот показатель определяет значение электрической части в производстве продукции. Коэффициент эффективности будет тем больше, чем больше произведено продукции при минимальных электрозатратах и всех видов энергии в производстве продукции. В этом коэффициенте определяющей составляющей является объем выпускаемой продукции. Изменение остальных составляющих влияет на коэффициент эффективности

незначительно и не всегда однозначно. Уравнение (4.48) запишем в следующем виде [121]:

$$K_{эф.эчп} = \frac{W_{год.эл}}{W_{год.общ}} \cdot \frac{\Pi_{год}}{З_{общээ}} = \Pi_{год} \cdot \frac{W_{год.эл}}{(W_{год.эл} + W_{др}) \cdot (W_{год.эл} \cdot m + СДЗ_{сэс} + СДЗ_{тэо})}, \quad (4.48)$$

где $W_{др}$ - потребленные другие виды энергии при производстве энергии, т.у.т.; m - ставка оплаты электроэнергии, сум/кВт · час.

При постоянном объеме выпускаемой продукции уменьшение всех остальных составляющих приводит к увеличению коэффициента эффективности ЭЧП. Таким образом, можно определить коэффициент эффективности других видов энергии, использованных при производстве продукции, например, коэффициент эффективности тепловой части производства. Обобщенный коэффициент эффективности показывает также, какой вид энергии в производстве продукции используется более эффективно.

ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1. Принцип построения и структура информационно- аналитической системы по энергоэффективности промышленных предприятий

Наибольший экономический эффект энергосберегающих мероприятий достигается комплексным обследованием предприятия на основе единой программы исследования. Поэтому возникает необходимость объединения всех разработанных программ в единую систему. Анализ энергоэффективности промышленных предприятий требует обобщения следующих задач и их решения:

1. Детальный анализ энергобалансов предприятия по всем ступеням СЭС.
2. Всесторонний анализ показателей эффективности СЭС предприятия с учетом технических и экономических показателей.
3. Разработка рациональной схемы электроснабжения и оптимизация регулируемых параметров СЭС.
4. Сравнительный анализ существующей и рациональной схемы ЭС предприятия.

Упорядочиванием выполнения этих задач, согласованием работы и сосредоточиванием прикладных программ в единую структуру создается информационно – аналитическая система по энергоэффективности промышленных предприятий.

Автоматизированная информационно-аналитическая система (АИАС) предназначена для выполнения следующих задач:

1. Обследование СЭС предприятия с целью выявления резервов экономии электроэнергии на предприятии.

2. Контроль эффективности функционирования СЭС предприятия.

3. Эффективное управление энергохозяйством предприятия.

Основные требования, предъявляемые к информационно - аналитическим системам:

1. Универсальность, т.е. возможность исследования различных промышленных объектов и предприятий.

2. Оперативность, автоматический поиск и снабжение данных по запросу исследователя, получение научно-обоснованного решения по различным вопросам энергоэффективности предприятий.

3. Наличие систем автоматизированного проектирования СЭС.

4. Возможность аналитической обработки, отбор и сортировка данных.

5. Удобство в применении.

Система представляет собой совокупность различного рода информации и методик, обеспечивающих получение вторичной информации, необходимой для решения задач, связанных с экономией электроэнергии. Основу этой системы составляют прикладные программы на ЭВМ, предназначенные для решения следующих задач:

-оценка эффективности существующей СЭС предприятия;

-автоматизированное проектирование рациональной схемы электро-снабжения предприятия;

-оптимизация параметров СЭС предприятия;

- определение фактической нормы расхода электроэнергии на единицу продукции;

-определение научно-обоснованной (расчетной) нормы расхода электроэнергии на единицу продукции (из справочников);

- выявление резервов экономии электроэнергии;

- исследование качества электроэнергии в СЭС предприятия.



Рис. 5.1. Структурная схема информационно-аналитической системы по энергоэффективности промышленных предприятий

Система состоит из трех подсистем (рис. 5.1): подсистема информационного обеспечения (ПСИО), подсистема аналитической обработки (ПСАО), подсистема выходной информации (ПСВИ). Система автоматизированного электротехнического расчета сочетается с автоматизированной системой информации об электротехническом оборудовании, кабельной продукции, материалах и т.п.

ПСИО является видимой частью системы и предназначена для получения необходимой информации по различным вопросам деятельности энергохозяйства предприятия по запросу исследователя. Подсистема информационного обеспечения осуществляет автоматический поиск и снабжение исходной информацией по спросу подсистемы аналитической обработки. Информация непосредственно исследуемого явления на уровне

установок, цехов и предприятий, а также нормативные данные, регулирующие электропотребление предприятия, составляют основу этой подсистемы.

ПСИО состоит из папки с несколькими файлами, содержащими таблицы исходных данных нормативной и методической документации. Данные ПСИО условно можно разделить на следующие четыре типа: исходные данные предприятия, паспортные параметры электрооборудования, нормативные данные и расчетные данные. Во время исследования на специальных формах вводятся только исходные данные, характеризующие системы электроснабжения исследуемого предприятия. Например, перечень и установленная мощность цехов, мощность трансформаторов, длина кабельных линий и т.п. Паспортные параметры электрооборудования разделены на несколько файлов по этапам расчетов. Например, паспортные параметры низковольтного электрооборудования, которое используется при расчете внутрицехового электроснабжения. Расчетные данные ПСИО обновляются через ПСАО, остальные данные подсистемы изменяются непосредственно в таблицах ПСИО.

На базе ПСИО создается база исходных данных объекта энергосистемы. При энергетических обследованиях данные считываются из базы данных (электронного энергетического паспорта) предприятия и на разработанных программах определяются резервы по экономии электроэнергии.

ПСАО состоит из пакета прикладных программ и программированных базы данных, направленных на решение задач по экономии электроэнергии в промышленных предприятиях. Подсистема аналитической обработки включает общие положения по решению исследуемого вопроса и выполнению различного рода работ по сбору, отбору, обработке и представлению информации в решение конкретных задач. Основу этой системы составляет математическая модель системы электроснабжения

обобщенного предприятия, описанная во 2-й главе, а также, алгоритмы решения различных задач по экономии электроэнергии.

Подсистема аналитической обработки состоит из двух блоков: прикладные программы для определения рациональной схемы (предлагаемый вариант) электроснабжения и программы для расчета существующего варианта электроснабжения предприятия. Первый блок на основе научно обоснованной методики и нормативных данных обеспечивает автоматизированное проектирование рациональной схемы электроснабжения предприятия. Результаты расчетов по двум блокам поступают в подсистему выходной информации. Выходная информация определяется конкретно поставленной задачей и формируется в результате обработки исходной информации.

ПСАО определяет рациональную схему электроснабжения предприятия. При составлении рациональной схемы ЭС используются многовариантные и аналитические методы оптимизации. Для повышения энергоэффективности промышленных предприятий в основном исследуются следующие вопросы энергосбережения:

- реконструкция СЭС предприятия в соответствии с разработанной (рациональной) схемой электроснабжения;

- регулирование параметров электроэнергии, улучшение показателей качества электроэнергии;

- компенсация реактивной мощности;

- выравнивание графиков суточных нагрузок для уменьшения заявленной мощности предприятия;

- повышение технических показателей эффективности СЭС (рост надежности, уровня автоматизации, учета, защиты и т.п.);

- разработка рациональной системы освещения предприятия;

- ограничение режима холостого хода крупных электроприемников.

Результаты расчетов по двум блокам поступают в подсистему выходной информации. Выходная информация определяется конкретно поставленной задачей и формируется в результате обработки исходной информации. ПСВИ обеспечивает вывод результатов расчетов в требуемых форматах. Например, в виде текстовых, табличных, кривых, диаграмм, структурных схем и т.п. ПСВИ способствуют автоматическому составлению отчета в нужном формате по запросу исследователя.

Расчет технико-экономических показателей, а также затрат на реконструкцию СЭС производятся с учетом ресурсов электрооборудования и перспективы развития данного предприятия.

Основными результатами подсистемы выходной информации являются блоки информации следующего содержания:

- электробалансы по всем ступеням СЭС предприятия;
- показатели электроэффективности предприятия;
- перечень элементов СЭС, имеющих сверхнормативные потери и возможность экономии электроэнергии;
- показатели экономической эффективности реконструкции;
- техничко – экономические расчеты по экономии электроэнергии на предприятии;
- расчет показателей качества электроэнергии и соответствующие потери из-за некачественной электроэнергии;

Рекомендация по экономии электроэнергии в предприятиях разрабатывается с учетом экономических возможностей предприятия в трех вариантах:

1. Беззатратные и малозатратные мероприятия, осуществляемые в порядке текущей деятельности предприятия.
2. Среднезатратные мероприятия, требующие частичной реконструкции СЭС предприятия и осуществляемые за счет собственных средств предприятия.

3. Высокозатратные мероприятия, требующие полной реконструкции СЭС предприятия, в соответствии с рациональной схемой СЭС и дополнительных инвестиций.

Специальные программы направлены на решение частных задач электроснабжения промышленных предприятий. По этим программам выполняются следующие задачи:

- исследование показателей эффективности СЭС предприятия;
- исследование качества электроэнергии в элементах СЭС;
- расчет сложнзамкнутых промышленных электрических сетей;
- расчет токов короткого замыкания;
- расчет рациональной системы освещения.

5.2. Подсистема аналитической обработки по энергоэффективности промышленных предприятий

Основной частью АИАС является подсистема аналитической обработки. На рис. 5.2. показана структура, т.е. составляющие программы ПСАО. Папка методического обеспечения состоит из нескольких программ, выполненных на языке «delphi». Блок ПСМО «Существующий вариант» состоит из двух программ: «Энергетический баланс» и «Цеховая СЭС». Методика расчета этой программы подробно описана во второй главе.

В блоке «Существующая СЭС» рассчитывается существующая схема электроснабжения. Методика расчета существующего варианта изложена во 2-й главе. Главными исходными данными блока «Существующая СЭС» являются фактические графики суточных нагрузок, фактические показатели электропотребления, паспортные данные действующего электрооборудования, существующая схема электроснабжения. Основными результатами этой подсистемы являются энергобалансы, составленные для различных уровней системы электроснабжения.

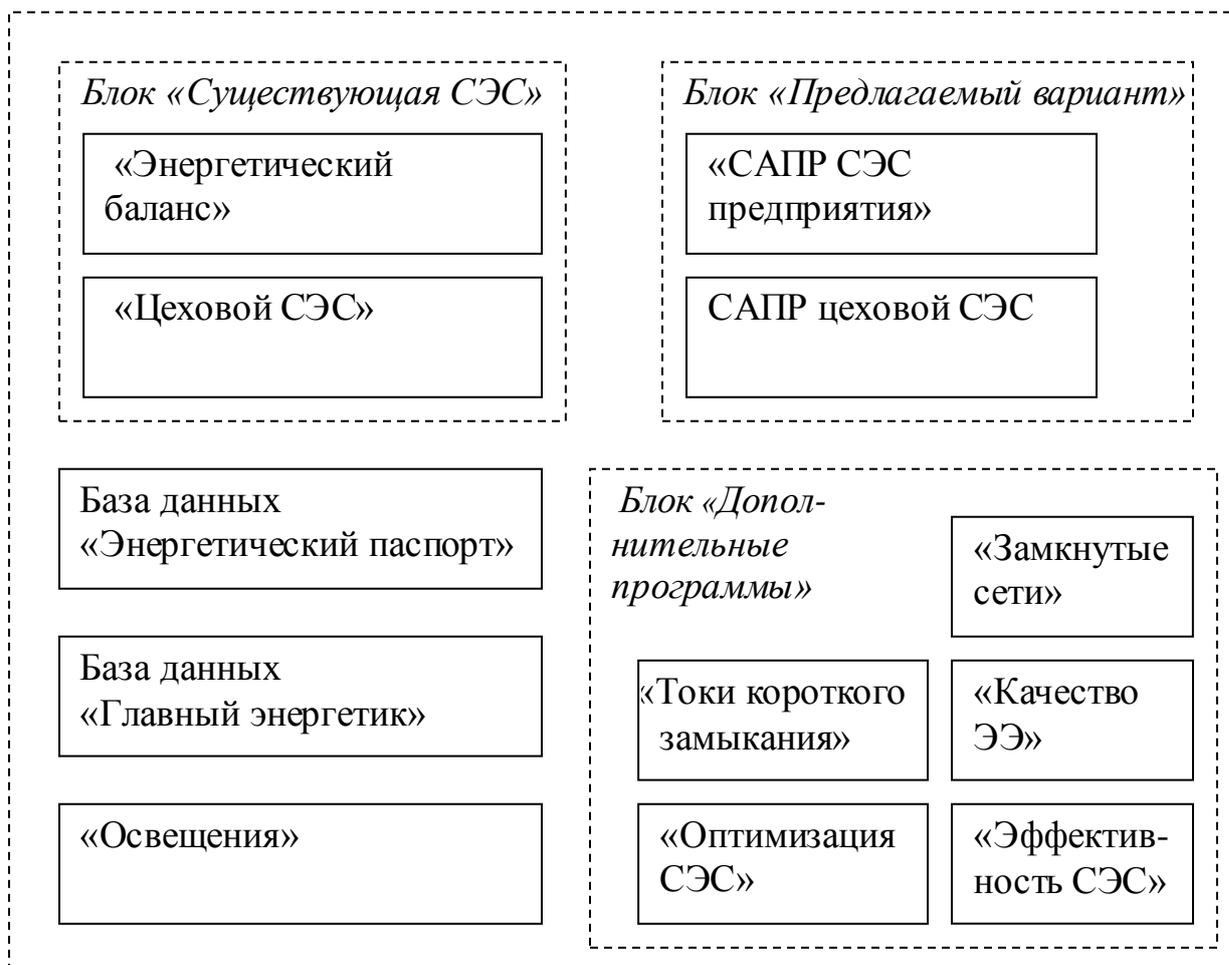


Рис. 5.2 Структура подсистемы аналитической обработки.

Краткое описание назначений программы АИАС:

1. «Энергобаланс» осуществляет расчет энергобалансов предприятия по всем ступеням СЭС. Определяет показатели электроэффективности предприятия, выявляет элементы СЭС и потребителей со сверхнормативными потерями.

2. «Цеховая СЭС» при необходимости расчета отдельных цехов и участков, а также для улучшения точности результатов производит расчет только внутрицеховых СЭС отдельных цехов предприятия.

3. «САПР СЭС» производит расчет рациональной схемы электроснабжения и оптимизации регулируемых параметров схемы ЭС предприятия.

4. «САПР цеховой СЭС» производит расчет рациональной схемы электроснабжения и оптимизации регулируемых параметров схемы ЭС отдельных цехов и участков.

5. «Энергетический паспорт» осуществляет автоматизированный расчет данных энергетического паспорта предприятия, а также по цехам и подстанциям предприятия. Создает базу данных по электрооборудованию предприятия в соответствии с таблицами энергетического паспорта предприятия.

6. «Главный энергетик» обеспечивает научно обоснованное решение на основе разработанных методик исследований по проблемным вопросам службы главного энергетика предприятия, находит возможности экономии электроэнергии в элементах СЭС и потребителях электроэнергии.

7. «Электрическое освещение» методом коэффициента использования светового потока составляет рациональную схему освещения и наиболее экономически эффективную систему освещения.

8. «Эффективность СЭС» определяет обобщенный коэффициент эффективности СЭС с учетом технических и экономических показателей.

9. «Замкнутые сети» производит расчет и определяет эффективность использования замкнутых промышленных сетей.

10. «Качество электроэнергии» по текущим значениям показателей качества электроэнергии рассчитывает дополнительные потери в элементах СЭС и потребителях электроэнергии.

11. «Токи короткого замыкания» производят расчет токов короткого замыкания существующей и рациональной схем электроснабжения предприятия.

Методика расчета внутрицеховой СЭС рассмотрена в пункте 3.2. Результатами расчетов этой программы являются следующие таблицы: «Исходные данные», «Электрические нагрузки» и «Кабельные линии». Таблица «Исходные данные» включает исходные данные для расчета

цеховой СЭС. Ввод данных осуществляется по алгоритму, описанному в пункте 3.4. Эти результаты выводятся в таблицу «Исходные данные».

По значениям расчетных нагрузок определяются токи кабельных линий. На этом этапе расчета в качестве исходных данных по существующей схеме ЭС вводятся длина, сечение, удельное сопротивление КЛ. Определяются сопротивление, потери мощности и напряжения КЛ. Результаты по кабельным линиям вводятся в таблицу «Кабельные линии».

Результаты внутрицехового электроснабжения будут исходными данными для внутривзаводского электроснабжения. Поэтому данные начальных этапов расчетов отправляются к подсистемам информационного обеспечения. Таким образом составляется блок расчетных данных.

В блоке «Предлагаемый вариант» имеются две программы: «САПР СЭС» и «САПР цеховой СЭС». Математическое описание моделей СЭС существующего и предлагаемого вариантов почти одинаково и только отличается алгоритмом расчета СЭС. Основное отличие алгоритма расчета программы «САПР СЭС» от «Существующей СЭС» является то, что параметры схемы ЭС не задаются, а выбираются по научно – обоснованной методике. Методика расчета рациональной схемы ЭС предприятия (САПР СЭС) описана в пункте 3.4.

5.3. Возможные области применения информационно-аналитической системы на промышленных предприятиях

Для определения значения и эффективности АИАС при проведении энергосберегающих мероприятий на объектах энергосистм анализируем возможную область применения этой системы. Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 августа 2006 года №164 утверждены «Правила проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно-энергетических ресурсов» [75]. В приложении П2

приведены таблицы энергетического паспорта. Для успешного проведения энергетических обследований (энергоаудита) предлагается создание энергетического паспорта предприятия в электронной форме (базы данных). Для более детального исследования энергохозяйства, а также мониторинга энергопотребления, увеличиваются данные энергетического паспорта, которые включают в себя данные всего электрооборудования предприятия. Программирование базы данных позволяет получить развернутые данные по цехам предприятия и оперативную информацию о показателях энергоэффективности.

База данных составлена на таблицах «Access». Использование «Access» для создания электронного энергетического паспорта обусловлено следующими его возможностями:

1. Связывание таблиц «Access» с другими программами Microsoft office (excel, visual basic и т.п.).
2. Создание и обработка большой базы данных.
3. Автоматическое составление отчета по заданной программе.
4. Программирование расчетов с базой данных.

Таблицы базы данных составлены исходя из задач энергетического обследования. Типовая программа проведения энергетических обследований предусматривается для всех потребителей, в частности, для изучения следующих вопросов [75]:

-характеристика структуры потребителя ТЭР и энергопотребления его подразделений;

-частные энергобалансы по видам энергоресурсов;

-состояние энергопотребления в технологических производствах;

-удельное энергопотребление по отдельным видам ресурсов и объектам;

-прямые потери энергии и база данных о расходе энергоносителей.

Исследование этих вопросов требует создания базы данных, обеспечивающих детальное изучение отдельных видов потребителей и их режимов электропотребления. Исходя из этого, разработана база данных «Энергетический паспорт», которая состоит из трех таблиц: «Электрические нагрузки», «Трансформаторы» и «Кабельные линии», а также из семи форм вывода данных (рис.6.3) [97,106].

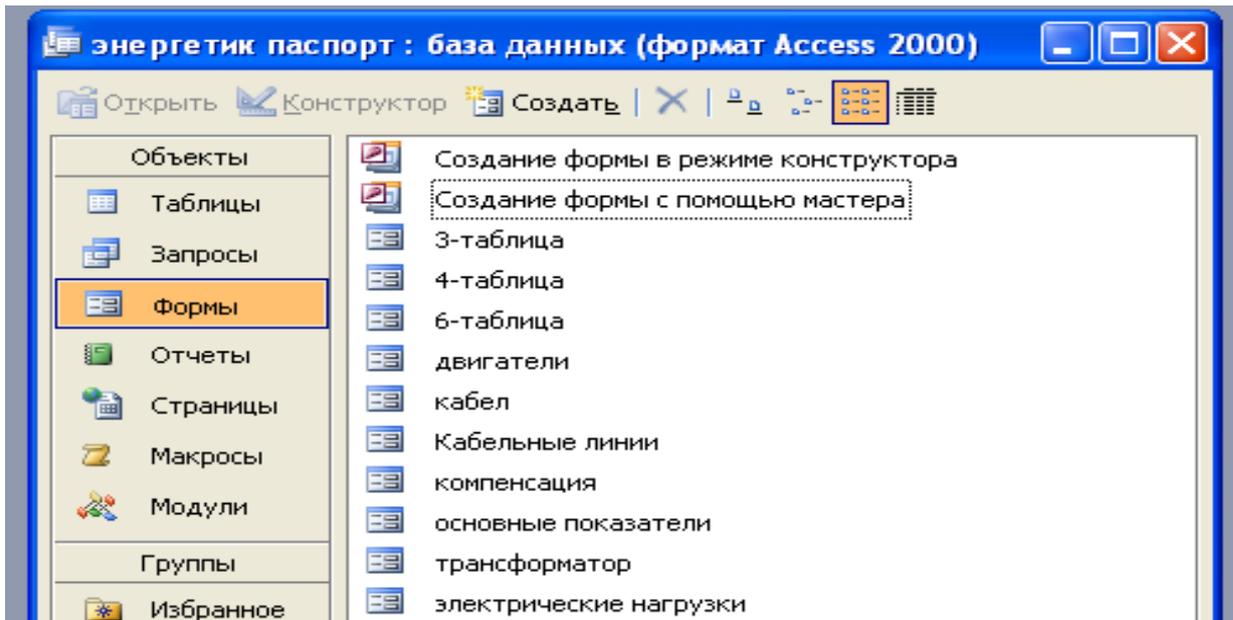


Рис. 5.3. Основное меню базы данных «Энергетический паспорт»

Таблица «Электрические нагрузки» включает в себя данные потребителей энергии по цехам. Потребители разделены на технологические, собственные нужды, вспомогательные и коммунально-бытовые нужды.

Исходными данными для расчета являются следующие данные:

- суммарные установленные мощности на технологические, собственные нужды, вспомогательное и коммунально-бытовое оборудование цеха;
- коэффициенты использования и мощности этого оборудования.

Программированием на «Access» определяются следующие данные таблицы: расчетная активная, реактивная и полная нагрузка потребителей.

имя цеха	pt	kt	pcn	kcn	pxn	kxn	ppr	kpr	cpt	ccn	cxn	cpr	ptr	qqtr
ХТУ -1	1200	0	10	0,88	9	0,77	7	0,88	0,77	0,77	0,9	0,66	0	182
ХТУ -2	620	0,77	15	0,64	10	0,66	5	0,77	0,77	0,76	0,8	0,87	477	281
Пулт Управления	5	0,77	3	0,88	2	0,52	0	0,35	0,76	0,8	0,8	0,76	4	222
PCY	8	0,56	3	0,7	2	0,87	0	0,6	0,87	0,78	0,9	0,77	4	123
мазутное хозяйство	130	0,66	8	0,87	7	0,56	5	0,77	0,45	0,56	0,8	0,66	86	231
токарный цех	10	0,88	2	0,44	1	0,55	0	0,33	0,25	0,44	0,7	0,56	9	213
склад	374	0,45	15	0,55	7	0,35	4	0,23	0,45	0,6	0,6	0,5	168	211
реагентно хозяйство	60	0,66	5	0,87	3	0,56	0	0,77	0,45	0,56	0,8	0,66	40	79
Абонентский отдел	10	0,66	2	0,87	1	0,56	0	0	0,45	0,56	0,8	0	7	14
Административ зда	20	0,66	15	0,87	10	0,56	0	0	0,45	0,56	0,8	0	13	26
Новая водагрейная	3187	0,87	15	0,66	8	0,56	0	0	0,56	0,45	0,8	0	2773	4103
Паравая Част	330	0,78	10	0,87	10	0,66	0	0	0,56	0,56	0,5	0	257	380
Насосная	1010	0,78	10	0,45	5	0,66	0	0	0,56	0,66	0,8	0	788	1166

Рис. 5.4. Таблица «Электрические нагрузки»

После обновления коэффициентов, характеризующих режимы энергопотребления, производится автоматический расчет всех данных и обновляется база данных. Форма «Электрические нагрузки» выводит данные в соответствие с формой таблиц ЭПП (рис.5.5.). Выбирая названия цехов в списке, находящегося в правой части формы, можно посмотреть данные по цехам.

Имя цеха		механическая	
Установленная мощность цеха		Потребляемая мощность цеха	
Активная:		Активная:	
Технологическая	333 кВт	Технологическая	220 кВт
коэф. использования	0,66	Собственные нужды	684 кВт
Коеф. мощности	0,77	Вспомогательная	598 кВт
Собственные нужды	777 кВт	Хозяйственная	98 кВт
коэф. использования	0,88		
Коеф. мощности	0,77	Реактивная:	
Вспомогательные	222 кВт	Технологическая	182 кВт
коэф. использования	0,77	Собственные нужды	567 кВт
Коеф. мощности	0,88	Вспомогательная	323 кВт
Хозяйственные	111 кВт	Хозяйственная	112 кВт
коэф. использования	0,88		
Коеф. мощности	0,66	Общая нагрузка цеха:	
Реактивная:		Активная нагрузка цеха	1600 кВт
Технологическая:	320 кВар	Реактивная нагрузка цеха	1184 кВар
Собственные нужды:	85 кВар	Полная нагрузка цеха	1990 кВА
Вспомогательные:	122 кВар		
Хозяйственные, кВар:	64 кВар		

Выбор цех

- механическая
- Арматурная
- Компрессорная
- Котельная
- Административ
- Цех металлокон
- Сварочный цех

Рис. 6.5. Форма вывода данных «Электрические нагрузки».

Номер	Расположение	потребите	тип и сечение к	Skl	Ukl	lkl	lkl	Ro	Xo	cskl	DU	DP
1	от ТП4 до РП11	Д - 6	АВВГ- 3Х120 +	156	0,4	225	0,096	0,27	0,06	0,75	9,050	3,94
2	ТП4 до РП11	ВД - 6	АВВГ - 3Х95+1	75	0,4	108	0,048	0,34	0,06	0,8	2,762	0,57
3	ТП4 до РП12	Д - 7	АВВГ - 3Х120+	200	0,4	289	0,111	0,27	0,06	0,8	13,99	7,51
4	ТП4 до РП12	ВД - 7	АВВГ - 3 X 95+	75	0,4	108	0,055	0,34	0,06	0,8	3,165	0,65
5	ТП4 до РП11	Д - 8	АВВГ -3х120+1	200	0,4	289	0,13	0,27	0,06	0,85	16,97	8,79
6	ТП4 до РП11	ВД - 8	АВВГ-3х95+1х5	75	0,4	108	0,069	0,34	0,06	0,8	3,971	0,82
7	ТП4 до РП12	Д - 9	АВВГ-3х120+1	200	0,4	289	0,148	0,27	0,06	0,8	18,65	10,0
8	ТП4 до РП12	ВД - 9	АВВГ-3х95+1х5	75	0,4	108	0,071	0,34	0,06	0,8	4,086	0,84
9	ТП3 до РП9	Д - 3	АВВГ-3х120+1	200	0,4	289	0,042	0,27	0,06	0,8	5,292	2,84
10	ТП3 до РП9	ВД - 3	АВВГ-3х95+1х7	180	0,4	260	0,039	0,34	0,06	0,8	5,403	2,69
11	ТП3 до РП10	Д - 5	АВВГ-3х95+1х5	200	0,4	289	0,067	0,34	0,06	0,8	10,32	5,71
12	ТП3 до РП10	ВД - 5	АВВГ-3х95+1х5	110	0,4	159	0,057	0,34	0,06	0,8	4,829	1,47
13	ТП3 до РП10	Д - 4	АВВГ-3х95+1х5	200	0,4	289	0,044	0,34	0,06	0,8	6,776	3,75
14	ТП3 до РП10	ВД - 4	АВВГ-3х95+1х5	110	0,4	159	0,028	0,34	0,06	0,8	2,372	0,72
15	ТП4 до РП11	ПЭН - 8	ААШВ-3х95+1х	80	0,4	116	0,08	0,34	0,06	0,8	4,945	1,1
16	ТП4 до РП11	НХВ - 1	ААШВ -3х120+	132	0,4	191	0,04	0,27	0,06	0,8	3,331	1,18
17	ТП4 до РП11	НСР - 5	ААШВ -3х120+	55	0,4	79	0,035	0,27	0,06	0,8	1,205	0,18
18	ТП4 до РП11	НСР - 6	ААШВ-3х35+1х	30	0,4	43	0,025	0,92	0,06	0,8	1,436	0,13
19	ТП4 до РП11	НСР - 7	ААШВ -3х35+1	30	0,4	43	0,025	0,09	0,06	0,8	0,204	0,01
20	ТП4 до РП11	ЦМН - 1	ААШВ -3х16+1	4	0,4	6	0,02	1,98	0,06	0,8	0,336	0,004
21	ТП4 до РП11	ГМН - 1	ААШВ -3х70+1	90	0,4	130	0,03	0,46	0,06	0,8	2,726	0,7
22	ТП1 до РП1	Д - 11	ААШВ -3х120+	90	0,4	130	0,08	0,27	0,06	0,8	4,534	1,1
23	ТП1 до РП1	ВЛ - 11	ААШВ -3х95+1	75	0,4	108	0,08	0,34	0,06	0,8	4,604	0,95

Рис.6.6. Таблица «Кабельные линии»

Исходные данные по линиям электропередачи: тип, сечение, длина, удельные активное и индуктивное сопротивления, напряжение кабельной линии. В таблицу вводят данные согласно с нумерацией КЛ на генплане предприятия. Расчетными данными этой таблицы являются: активные и реактивные потери мощности и напряжения, а также стоимость потерь энергии в кабельных линиях.

Таблица «Трансформаторные подстанции» составляется по подстанциям. Она включает в себя следующие исходные данные: установленная мощность и коэффициент использования технологического, вспомогательного, коммунально–бытового оборудования, подключенного к этой подстанции и собственные нужды, а также паспортные данные трансформатора. Структура таблицы «Трансформаторные подстанции» показана на рис.5.5. Расчетными данными этой таблицы являются: активные

и реактивные потери мощности, а также стоимость потерь энергии в трансформаторах.

Кабельные линии

Номер КЛ Расположение КЛ Выбор КЛ

потребители

тип и сечение кабеля

Полная мощность КЛ кВА

Напряжения КЛ кВ

Ток КЛ А

Длина КЛ км

Удельное активное сопротивление ом/км

Удельное реактивное сопротивление ом/км

Коэффициент мощности КЛ

Потери напряжения КЛ В

Потери мощности кВт

Число часов максимальных потерь час.год

Потери энергии кВт.час

Стоимость потерь энергии сум

Рис.5.7. Форма вывода данных «Кабельные линии».

Нагрузка трансформаторов определяется аналогично, как в таблице «Электрические нагрузки». После обновления коэффициентов, характеризующих режимы энергопотребления, производится автоматический расчет всех данных и обновляется база данных. Форма «Электрические нагрузки» выводит данные в соответствии с формой таблиц ЭПП (рис.6.8.). Выбирая название цеха в списке, находящегося в правой части формы, можно посмотреть данные по цехам.

По данным этих таблиц на отдельных формах выводятся таблицы энергетического паспорта. Ввод информации организован таким образом, что форма диалогового окна на экране полностью совпадает с формой соответствующей таблицы энергетического паспорта и ввод осуществляется

в именованных полях. Составлена форма для ввода данных. Левая часть формы состоит из установленной мощности электрооборудования и коэффициентов, характеризующих режимы электропотребления.

Программированием на «Access» определяются расчетные данные, которые выводятся в правой части формы. По разработанной программе рассчитываются показатели эффективности использования энергии и другие данные энергетического паспорта. Выбирая название цеха в списке, находящегося в правой части формы, можно посмотреть данные по цехам.

На рис. 5.9 показана 3-я таблица энергетического паспорта. Эта форма составлена на базе таблицы «Электрические нагрузки» и позволяет структурировать потребителей энергии в соответствии с требованиями энергетического паспорта. Эти данные можно посмотреть по цехам и в целом по предприятию. Однако такая форма не позволяет при необходимости скорректировать данные. Для этого составлена форма для ввода данных (рис. 5.5). Левая часть формы включает в себя установленную мощность электрооборудования и коэффициенты, характеризующие режимы электропотребления. Программированием на «Access» определяются расчетные данные, которые выводятся в правой части формы. Для получения данных энергетического паспорта экспериментально рассчитываются коэффициенты, характеризующие режимы энергопотребления, и вводятся в базу данных через формы ввода.

Установленная и потребляемая мощность																Таблица 3.	
Установленная мощность								Потребляемая мощность									
Технолог		Соб. нужды		Вспом.нужд		Хоз. нужды		технологич.		Собс.нужды		Вспомогате		Хоз.нужды			
Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар	Р кВт	Q кВар		
480	85	128	320	184	122	82	64	322	233	84	56	99	79	63	37		

имя цеха:

Рис. 5.8. 3-я таблица энергетического паспорта предприятия

По разработанной программе рассчитываются показатели эффективности использования энергии и другие данные энергетического паспорта. Выбирая название цеха в списке, находящегося в левой части формы, можно посмотреть данные по цехам.

Оформление отчета на «Access» производится автоматически по заданию исследователя. Такая форма энергетического паспорта очень удобна в использовании и не требует специальных навыков. Обслуживающий персонал предприятия, вводя необходимые данные, может оперативно получить сведения о текущих показателях энергопотребления.

Такое построение энергетического паспорта позволяет при незначительных затратах проводить регулярное частичное энергетическое обследование предприятия.

Информационно-аналитическая база данных по выявлению резервов экономии электроэнергии в промышленности. За последние годы приоритетным направлением научных исследований в нашей республике является энергосбережение в промышленности. Несмотря на множество научных разработок в этой области, внедрение этих работ на недостаточном уровне. Одним из препятствий успешного внедрения этих работ являются недостаточная информация и нехватка знаний персонала энергохозяйства предприятия в области энергосбережения. Внедрение этих разработок требует решения сложных математических задач и аналитической обработки множества различных данных по деятельности энергохозяйства. В настоящее время не хватает новых методических пособий и справочных материалов для организации эффективных энергосберегающих мероприятий в промышленности. Основную часть существующей литературы по энергосбережению составляют монографии, предназначенные для использования научными работниками. Методическое пособие дает очень упрощенное представление о энергосбережении, с примитивными расчетами потерь мощности в элементах СЭС. С учетом вышесказанного, актуальной

задачей является разработка методического пособия, составленного на последних результатах научных исследований и современных знаниях в области энергосбережения. Основными требованиями при этом будут доступность материалов и удобство в использовании. Наиболее эффективным решением этой задачи является создание электронного методического пособия, обеспечивающего автоматический поиск и снабжение необходимой информацией, включая расчет и аналитическую обработку данных [11,76,116].

Основная задача электронного пособия – исследование возможностей экономии электроэнергии в элементах СЭС и потребителях электроэнергии, а также получение научно обоснованных решений при эффективном управлении энергохозяйством предприятия. При этом ход решений проблемных вопросов в службе главного энергетика моделируются математическими методами и при вводе показателей, характеризующих проблему, по научно – обоснованной методике получает решение данной проблемы. Основной результат электронного пособия – показатели экономической эффективности энергосберегающих мероприятий.

Для решения вышеизложенных задач, а также для успешного внедрения результатов последних исследований разработано электронное методическое пособие «Главный энергетик» [97]. Экономия электроэнергии на предприятиях в основном сводится к задачам по уменьшению потерь в ЛЭП, трансформаторах и у потребителей. Исходя из этого, для выявления резервов экономии энергии в СЭС составлены на «Access» таблицы и формы вывода данных: «Трансформатор», «Кабельные линии», «Компенсация», «Двигатель», «Освещение».

К основным задачам исследования формы «Трансформатор» (рис. 5.9) относятся:

- замена малонагруженных или перегруженных трансформаторов;

- отключение одного из параллельно работающих трансформаторов подстанции;
- включение или отключение потребителей трансформаторов;
- техничко -экономические показатели подстанций;
- исследование составляющих потерь трансформаторов.

Трансформаторные подстанции

номер подстанции: Тип: номер ПС:

Нагрузка трансформатора:

Установленная мощность	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
Технологическая: <input type="text" value="230"/> кВт	<input type="text" value="0,55"/>	<input type="text" value="0,63"/>
Вспомогательная: <input type="text" value="333"/> кВт	<input type="text" value="0,77"/>	<input type="text" value="0,79"/>
Собственные нужды: <input type="text" value="345"/> кВт	<input type="text" value="0,55"/>	<input type="text" value="0,72"/>
Хозяйственные нужды: <input type="text" value="200"/> кВт	<input type="text" value="0,77"/>	<input type="text" value="0,64"/>

Активная мощность **Реактивная мощность**

Технологическая: <input type="text" value="126,5"/> кВт	<input type="text" value="121"/> кВар	Затраты подстанции капитальные: <input type="text" value="28760"/> тыс.сум Годовые: <input type="text" value="3452"/> тыс.сум
Вспомогательная: <input type="text" value="256,4"/> кВт	<input type="text" value="121"/> кВар	
Собственные нужды: <input type="text" value="189,8"/> кВт	<input type="text" value="222"/> кВар	
Хозяйственные нужды: <input type="text" value="122"/> кВт	<input type="text" value="131"/> кВар	
Общая мощность <input type="text" value="694,7"/> кВт	<input type="text" value="111"/> кВар	Полная <input type="text" value="703,473"/> кВА

Коэффициент мощности подстанции Коэффициент загрузки

Потери в трансформаторах

Потери к.з. кВт Потери Х.Х. кВт Потери мощности кВт

Рис. 5.9. Форма вывода данных «Трансформатор»

Например, для определения эффективности отключения одного из малонагруженных трансформаторов подстанции в поле «число трансформаторов» вместо «2» ставится «1». После обновления данных автоматически производится перерасчет показателей эффективности. Сравниваются общие потери мощности, единовременные затраты, коэффициент загрузки и т.п. и принимается решение о целесообразности отключения одного из трансформаторов.

К основным задачам исследования формы «Кабель» относятся:

- эффективность замены КЛ;
- изучение составляющих потери мощности и напряжения КЛ.

кабел : форма

Данные существующего кабеля

номер: 1 тип: АСБ удел. сопротивления: 0,032 ом.км/мм² 0,42 ом/км

сечения КЛ1: 70 Стоимость КЛ1: 82795 сум/км

сечения КЛ2: 50 Стоимость КЛ2: 53828 сум/км

Нагрузка КЛ: 777 кВА Напряжение КЛ: 10 кВ Длина КЛ: 0,23 км

Tmax: 5400 час/год tau: 3862 час/год Ток КЛ: 45 А

Коэф.эффек.: 0,12 суммарные очис.: 0,048 m: 3385 сум/кВт

Приведенные годовые затраты: 2287 сум/год

Экономический ток: 33 А

Эффектив сечения КЛ: 62 мм²

Данные заменяемого кабеля

Сечения КЛ1: 50 мм² Сечения КЛ2: 35 мм²

Стоимость КЛ1: 53828 сум/км Стоимость КЛ2: 40345 сум/км

Приведенные годовые затраты: 2084,21 сум/год

Рис.5.10. Форма для выявления экономии энергии в кабельных линиях

Форма «Кабель» предназначена для выявления экономического сечения и правильного выбора параметров КЛ и используется при реконструкции кабельных линий. Вводятся данные существующего КЛ: длина, нагрузка, сечения и т.п. (рис.5.10). Определяются экономическое сечение и плотность тока КЛ и по полученным значениям эффективного сечения выбирается рациональное сечение КЛ и рассчитывается экономический эффект от замены КЛ. Изменяя значения параметров КЛ и нагрузки, исследуются всевозможные варианты. Сопоставлением с существующим вариантом определяются резервы экономии электроэнергии.

Для определения экономической эффективности компенсации реактивной мощности используется форма «Компенсация» (рис.5.11). При вводе данных о трансформаторах, ЛЭП и нагрузках автоматически рассчитывается и выводится на экран значение компенсируемой мощности. По этому значению выбирается мощность ККУ и определяется экономия

энергии в ЛЭП и трансформаторе по отдельности и в сумме. Рассчитывается годовой экономический эффект от компенсации реактивной мощности.

По форме «Двигатель» (рис.5.12) исследуются следующие вопросы энергосбережения в двигателях:

- правильный выбор мощности двигателя;
- замена двигателей на новые, с лучшими энергетическими показателями;
- ограничение времени холостого хода и интенсификация работы машин;
- изменение схемы статорной обмотки;
- перерасчет обмотки при изменении скорости или напряжения.

компенсация : форма

Данные трансформатора

Ном. мощность	1000 кВА	Ном. напряжения:	10 кВ	Число транс-ров:	2
Потери К.З.	12 кВт	Потери Х.Х.	2,3 кВт	Коэфф. загрузки	0,707
t=	4555 час/год	Основная ставка:	80000 сум /кВт	Доп. ставка:	45 сум/кВт.ч
Tmax:	5500 час/год	m=	164568	Экономия энергии:	23788 кВт.ч

Данные КЛ

Длина КЛ:	0,15 км	Удельное сопротив.	0,42	Экономия энергии:	2498 кВт.ч
-----------	---------	--------------------	------	-------------------	------------

Нагрузка трансформатора

Активная :	1000 кВт	Реактивная :	1000 кВар	Полная :	1414 кВА
------------	----------	--------------	-----------	----------	----------

Данные ККУ

Уд.стоимость ККУ:	5000 сум/кВар	Коэф эффектив:	0,12	Удель. потери:	0,004 кВт/кВар
Расчетная Qкку=	672 кВар	Мощность ККУ:	640 кВар	Экономии энергии:	26286 кВт.ч

Экономический эффект: 274133,9 сум/год

Рис.5.11. Форма вывода данных «Компенсация»

Изменяя фазное напряжение, мощность, энергетические показатели и режимы работы двигателя исследуются возможности экономии энергии в двигателе.

Для выявления возможности экономии электроэнергии в системе освещения используется форма «Освещение». В качестве исходных данных вводятся следующие данные:

- размеры цеха: высота, ширина, длина цеха;
- нормативная освещенность рабочей поверхности;
- мощность, стоимость и к.п.д. светильника.

Разница единовременных затрат составляет экономию затрат на систему освещения цеха. расходы энергии на единицу продукции, а также проводить частичное энергетическое обследование электроустановок [101].

Установленный двигатель		Заменяемый двигатель	
Ном. мощность:	37	22 кВт	
Ном. скорость:	1500	1500 об./мин	время работы 22 мин
Напряжения:	380	380 В	время паузы 22 мин
Коэф. загрузки:	0,88	0,77 -	коэф.использован. 0,5
Активная нагрузка:	37	19,25 кВт	Тmax: 1234 час/год
Реактив нагрузка:	0	0 кВар	потери энергии 1-двигателя 5479 кВт.час
Полная нагрузка:	48,05	25 кВА	Потери энергии 2-двигателя 2850,54 кВт.час
Коэф. мощности:	0,77	0,77 -	
КПД:	0,88	0,88 -	
Потери актив.:	4,44	2,31 кВт	
Потери реактив.:	2,048	0 кВар	
Расчетный ток:	73,09	65,79 А	
Число эфф.пров. в паз:	22	25 шт	
Число ветвей:	3	6 шт	

Рис.5.12. Форма «Двигатель» для исследования возможностей экономии электроэнергии

За последнее время в СЭС промышленных предприятиях успешно внедряется автоматизированная информационно – измерительная система коммерческого и технического учета электроэнергии (АИИС ТУЭ) [162]. АИИС ТУЭ представляет собой иерархическую автоматизированную информационно - измерительную систему, функционально объединяющую измерительные и информационные системы, измерительно-вычислительные

комплексы, средства вычислительной техники и связи. Система реализует функции измерения технических показателей энергопотребления, сбора, обработки и хранения результатов измерений, а также информации о состоянии объектов и средств измерений системы, передачи по определенным правилам необходимой информации пользователям в автоматическом режиме и по запросу.

АИИС ТУЭ условно делится на верхний и нижний уровни [158].

Нижний уровень – комплекс аппаратно - программных средств в виде датчиков и контроллерного оборудования, установленного в автоматических силовых выключателях или непосредственно на силовых шинах. Верхний уровень – Центр обработки данных, автоматизированные рабочие места диспетчеров. Связь между верхним и нижним уровнями может быть организована по стандарту RS-485 или Ethernet.

Внедрение АИИС ТУЭ, в первую очередь, позволит решить проблемы, связанные с неэффективным использованием энергоресурсов из-за организационных потерь и «человеческого» фактора. Это, прежде всего, инструмент объективного и оперативного контроля.

Система технического учёта позволяет снизить объём потребления за счёт:

- повышения оперативности управления энергопотреблением;
- централизованного контроля потребления энергоресурсов;
- документированного контроля потребления энергоресурсов структурными подразделениями;
- персонализированного контроля соблюдения технологической дисциплины и оптимизации режимов работы оборудования;
- повышения оперативности выявления непроизводительных потерь энергоресурсов в виде протечек, аварийных режимов работы оборудования и т.д.;

- роста оперативности выявления и ликвидации несанкционированных подключений;
- повышения точности и оперативности сбора данных для внедрения на предприятии энергетического менеджмента (в частности системы нормирования энергопотребления);
- предоставления руководству объективного инструмента контроля реализации проводимых мероприятий и программ энергосбережения.

Суммарное снижение затрат на энергоресурсы может составить 25–40%.

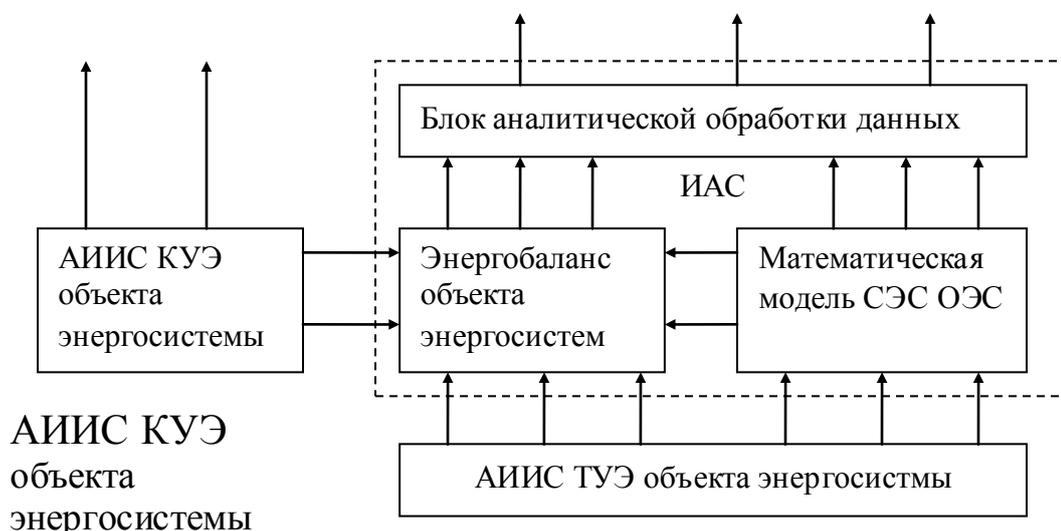


Рис. 5.13. Структурная схема совместного функционирования АИИС КУЭ и АИИС ТУЭ с использованием ИАС по энергоэффективности

Совместное функционирование систем коммерческого и технического учета электроэнергии может быть успешно реализовано с использованием информационно-аналитической системы по энергоэффективности. Основой ИАС составляет компьютерная модель СЭС предприятия (рис. 6.13). Энергобаланс предприятия формируется по данным трех информационных систем (рис. 5.14): АИИС КУЭ, АИИС ТУЭ и АИАС. Математическая модель электробаланса предприятия определяет поэлементный расход и потери мощности по всем ступеням СЭС

предприятия (рис. 6.14). АИИС ТУЭ на основе измерительных данных рассчитывает электробаланс предприятия по ступеням СЭС предприятия, а АИИС КУЭ - общий расход электроэнергии по предприятию.



Рис. 5.14. Схема формирования выходных данных ИАС

На основе аналитической обработки данных ИАС определяет следующие показатели:

- показатели использования электроэнергии по цехам и предприятию;
- показатели качества электроэнергии по цехам и предприятию;
- коммерческие потери электроэнергии по ступеням СЭС предприятия;

- элементы СЭС, имеющие сверхнормативные потери энергии;
- коэффициент эффективности СЭС предприятия.

Использование ИАС в качестве обобщающего звена данных АИИС КУЭ и АИИС ТУЭ позволяет обеспечивать «прозрачность» электропотребления на всех этапах распределения электроэнергии во внутривозводских сетях, а также более глубокий и детальный анализ энергоэффективности предприятия. К основным выходным данным ИАС относятся:

- показатели использования электроэнергии по цехам и по предприятию;
- показатели качества электроэнергии по цехам и по предприятию;
- коммерческие потери электроэнергии по ступеням СЭС предприятия;
- элементы СЭС, имеющие сверхнормативные потери энергии;
- коэффициент эффективности СЭС предприятия.

Использование ИАС в составе системы автоматизированного коммерческого и технического учета позволяет создать систему непрерывного мониторинга энергоэффективности на предприятиях практически без дополнительных затрат, так как не требуется дополнительного приборного оснащения системы. Функциональные возможности системы расширяются в основном за счет более глубокого анализа данных системы с использованием компьютерных программ.

Управление потреблением электроэнергии без соответствующих комплексов технических средств затруднено из-за существенного запаздывания и недостаточности в текущий момент времени. Это вынуждает принимать решения в условиях неполной информации. В связи с этим возникает необходимость в управлении потреблением электроэнергии, основанном на автоматическом сборе информации о нем, так как

запаздывание в предприятии решений приводит, с одной стороны, к увеличению затрат, с другой – к штрафам за превышение норм расхода электроэнергии.

Применение комплексов технических средств позволяет осуществлять непрерывный контроль за фактическим электропотреблением, а также за его режимами, поддерживать заданную нагрузку в часы максимума нагрузки энергосистемы, повышать надежность функционирования систем электроснабжения, автоматизировать управление электропотреблением объекта энергосистемы.

5.4. Перспективы развитие информационно-аналитические системы по энергоэффективности в промышленности

Главным направлением дальнейших научных исследований является разработка более эффективной и интегрированной системы управления системой электроснабжения объектов энергосистем с информационным обеспечением.

Для решения поставленных задач в электроснабжении объектов энергосистем необходима автоматизированная система управления электроснабжением (АСУЭ). Прозрачность управления достигается визуальным представлением режимов работы в реальном масштабе времени и в удобном для восприятия человеком виде. АСУЭ обеспечивает:

- получение достоверной информации о технологических параметрах СЭС предприятия;
- повышение эксплуатационной надежности оборудования;
- дистанционное управление коммутационной аппаратурой цеховых подстанций;
- сигнализацию о несанкционированном проникновении посторонних лиц на территорию цеховой подстанции;

- своевременное выявление аварийных ситуаций и представление оператору рекомендаций по их локализации и устранению.

АСУЭ представляет собой программно – аппаратный комплекс, обеспечивающий управление процессом электроснабжения промышленного предприятия [36,128]. АСУЭ имеет трехуровневую структуру. Нижний уровень представлен микропроцессорными устройствами сбора данных и устройствами учета электроэнергии. На среднем уровне используются системы приёма и передачи данных на основе персональных компьютеров (ПК) и программируемых канальных адаптеров (КА). Эти системы обеспечивают сбор данных от устройств передачи различных типов, осуществляют межуровневый обмен данными с аналогическими системами на основе ПК и КА, выполняют вывод информации на диспетчерский пульт.

На верхнем уровне применяется информационно – управляющий комплекс, оптимизированный для выполнения функцией управления СЭС. Использование SCADA – технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.

Применение ЭВМ в АСУЭ дало толчок развитию и распространению систем управления реального времени (SCADA) в СЭС предприятий. Серверы SCADA обеспечивают:

- 1) прием и передачу телеинформации в любых протоколах;
- 2) прием и передачу данных суточной диспетчерской ведомости;
- 3) обработку поступающей информации, формирование базы данных реального времени (БДРВ), архивирование;
- 4) управление диспетчерским щитом (цифровыми приборами, символами, мнемосхемами, информационными табло);
- 5) циклическое копирование БДРВ на файл – серверы локальной сети;

- б) ЭВМ выполняют все функции SCADA, за исключением организации диалога, который осуществляется на ЭВМ локальной сети.

При повышении надежности информационного обслуживания диспетчеров ЭВМ, кроме подключения к локальной сети, используют радиальную связь с ЭВМ. Для контроля и управления электропотреблением, накопления информации о нагрузках разных групп потребителей трехуровневая иерархическая система имеет, кроме ЭВМ, микропроцессорные контроллеры, установленные на подстанциях (второй уровень), и снабженные приемопередатчиками электросчетчиков, установленных у потребителей (третий уровень). С помощью АСКУЭ осуществляется управление нагрузкой: отключение и включение потребителей. В реальном времени реализуются такие функции, как прогнозирование нагрузки в узлах, расчет режима по напряжению и реактивной мощности, перераспределение нагрузки между электростанциями, планирование режимов и т.д.

Благодаря развитию АСУ на новой технической базе появляется реальная возможность комплексного подхода к планированию режимов СЭС путем тесной увязки планирования энергетических и электрических режимов с целью обеспечения их допустимости, надежности и экономичности.

На следующем этапе исследований разрабатывается система мониторинга управления электропотреблением на уровне предприятий электрических сетей или отделов энергоинспекций.

Для решения названных задач необходимо построение информационно-аналитических систем по территориальному и отраслевому принципу. Конечной целью внедрения таких систем является поддержка принятия управленческих решений.

Достижение цели предполагает решение следующих задач:

- методическая поддержка реализации программ энергоэффективности и энергосбережения (сбор, аналитическая обработка и организация свободного доступа к нормативным документам и методическим материалам);

- мониторинг выполнения программ энергоэффективности и энергосберегающих мероприятий (сбор первичной статистической информации, аналитическая обработка, поддержка принятия решений, контроль их выполнения).

В концепции построения ИАС можно выделить две сущности, требования к которым противоречивы:

-сбор данных,

-комплексная аналитическая обработка данных.

Внедрение ИАС невозможно без применения новых информационных технологий, привлечения к разработке системы специалистов различных областей: энергетиков, специалистов по статистической обработке информации и прогнозированию, специалистов по проектированию распределенных информационных систем. При этом ИАС должна обеспечивать построение и функционирование единого пространства по тематике энергоэффективности в промышленности.

Система управления базами данных обеспечивает возможность многопользовательского доступа к информации, служебные сервисы администратора банка данных, развитые функции поиска, сортировки и представления информации.

С учетом вышесказанного, основными задачами дальнейших исследований являются:

- развитие методов долгосрочного и краткосрочного прогнозирования энергетических нагрузок СЭС за счет более детального анализа и учета различных показателей, характеризующих условия развития экономики предприятий различных отраслей и их взаимосвязей

с применением математического аппарата многомерного статистического анализа;

- разработка методики, алгоритмов и программных средств для перехода от электрического режима, базирующегося на расчетной схеме СЭС, к энергетическому режиму, базирующему на расчетной энергетической схеме СЭС;

- совершенствование методов учета режима электропотребления при оптимизации энергетических режимов;

- усовершенствование программ краткосрочного прогнозирования энергопотребления с применением динамических моделей энергобалансов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап развития экономики характеризуется снижением общегосударственных объемов производства, сокращением числа убыточных предприятий, постоянным ростом цен на энергоносители и децентрализацией управления выработкой и потреблением энергоресурсов. Перевод промышленных предприятий на работу в условиях полного хозяйственного расчета, самофинансирования и самокупаемости требует особого внимания к вопросам экономии энергетических затрат [63,76]. Устойчивая тенденция роста стоимости природных ресурсов (сырья, топлива, гидроресурсов) повышает долю энергетических затрат в себестоимости продукции, а мероприятия, направленные на экономию электроэнергии, обеспечивают значительный экономический эффект. Информационно – аналитические системы по энергоэффективности позволяют создавать эффективный инструмент мониторинга по энергосбережению. Внедрение результатов настоящей работы может стать основой построения таких систем.

Система способствует созданию динамических моделей энергетических балансов предприятия, позволяющее оперативно и рационально планировать режимы электропотребления предприятия. Возросшие требования к качеству проектирования СЭС предприятий вызывают необходимость повышения точности определения расчетных нагрузок промышленных электрических сетей, по значениям которых выбирается электрооборудование СЭС и определяется заявляемая предприятием мощность в часы максимальных нагрузок энергосистемы. Система осуществляет поэлементный расчет нагрузок с использованием индивидуальных и групповых коэффициентов оборудования. При проектировании СЭС осуществляет поэлементную оптимизацию параметров элементов схемы электроснабжения. Система позволяет оперативно исследовать и выравнивать графики суточных нагрузок предприятия.

На основе проведенных исследований по созданию автоматизированной информационно - аналитической системы, изучению энергоэффективности промышленности можно сделать следующие выводы:

1. Разработана математическая модель системы электроснабжения предприятия в виде информационного массива, позволяющая создать эффективную информационную систему как элемент автоматизированной информационно – измерительной системы коммерческого учета энергии (АИИС КУЭ).

2. Определены структура и принципы формирования расчетных данных, позволяющих более детально исследовать возможности экономии электроэнергии в системе электроснабжения предприятий.

3. Разработаны методы расчета регулируемых параметров схемы электроснабжения с учетом нелинейных связей между этими параметрами.

4. Предложена методика проектирования рациональной системы электроснабжения, сочетающая алгоритмический и аналитический методы определения параметров схемы электроснабжения предприятия.

5. Разработан обобщенный показатель эффективности СЭС и электрической части производства на основе многокритериального анализа с учетом технических и экономических показателей СЭС.

6. Применение разработанной информационно – аналитической системы позволяет сокращать сроки и затраты энергетических обследований, более эффективно выявлять резервы экономии электроэнергии и снижать потери электроэнергии в среднем на 5–7%.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Каримов И.А. Мировой финансово – экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. –Ташкент, Узбекистан, 2009. –48 с.
2. Абидов А.А. Программа энерго– и ресурсосбережения – интенсивный путь развития экономики народного хозяйства. // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2003. –№1–2. –С. 54–60.
3. Абакумов Ю.М., Мартынов А.А., Саламатов О.В., Орехов П.Ф. Опыт проектирования и внедрения АСКУЭ промышленного предприятия на базе КТС «Энергия». // Промышленная энергетика. –Москва, 2002. –№6. –С. 29–33.
4. Адамович А.Р. и др. Планирование технических потерь электроэнергии в системе электроснабжения металлургического предприятия // Электрика. –Москва, 2005. –№2. –С.12–17.
5. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Ташкент, Фан ва технология, 2009. –463 с.
6. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. –Ташкент, Молия, 2007. –388 с.
7. Аллаев К.Р., Садуллаев Н.Н. Определение параметров рациональной схемы электроснабжения промышленных предприятий. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. –Москва, 2010. –№1. –С. 26–31.
8. Аллаев К.Р., Садуллаев Н.Н. Математическая модель обобщенной системы электроснабжения промышленного предприятия. // Вестник Таш ГТУ. –Ташкент, 2009. №1. –С. 100–104.
9. Аллаев К.Р., Хашимов Ф.А. Энергосбережение в промышленности. –Ташкент, Фан, 2010. -345 с.
10. Алексеева Т.И., Литвак В.В. Стимулирование энергосбережения // Промышленная энергетика. –Москва, 2001. –№12. –С. 2–4.

11. Аметистов Е.В., Данилов О.Л. и др. Информационно – аналитические системы по проблематике энергоэффективности: опыт разработки и внедрения // Энергоэффективность и энергосбережение. –Москва, 2003. – №4. –С. 9–16.
12. Апполонов Ю.С., Директор Л.Б. и др. Разработка автоматизированного рабочего места энергоаудитора – энергоменеджера и электронной формы энергетического паспорта предприятия // Энергосбережение. –Москва, 2003. –№3. –С. 64–66.
13. Афонин А.М., Царегородцев Ю.Н., Петрова С.А., Петрова А.М. Энергосберегающие технологии в промышленности. –Москва, Форум, 2010, – 270 с.
14. Ашрафханов Б. Повышение энергоэффективности – основной энергетический ресурс современности // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2003. –№1–2. –С. 60–66.
15. Аракелов В. Е., Кремер А. И. Методические основы экономии энергоресурсов. –Москва, Энергоатомиздат, 1990. –286 с.
16. Балыхин Г.А., Шленов Ю.В., Сергеев С.К., Фролов Ю.Н., Аметистов Е.В., Клименко А.В., Вакулько А.Г., Бобряков А.В. Реализация и опыт эксплуатации информационно – аналитической системы «Учет и контроль потребления топливно – энергетических ресурсов» минобразования России // Энергосбережение. –Москва, 2008. –№3. –С. 27–32.
17. Броерская Н.А., Штейнбух Г.Н. О проблемах сохранения информационного пространства по балансам и потерям электроэнергии в сетях после реформирования. // Энергетик, –Москва, 2008. –№4. –С. 11-14.
18. Бушуев В.В. Научные основы и мониторинг энергоэффективности // Энергетическая политика, –Москва, 2003. –№4. –С. 3–8.
19. Вакулько А.Г., Злобин А.А., Романов Г.А. Проблемы ценообразования при проведении энергетических обследований // Энергосбережение. –Москва, 2003. –№3. –С. 67–70.

20. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. –Ленинград, Энергия, 1988. –127 с.
21. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Лысюк С.С. Опыт и направления совершенствования расчетов балансов и локализации коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ // Электрические станции. –Москва, 2006. –№9. –С. 51–61.
22. Гительсон С. М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий. –Москва, Энергия, 1991.–205 с.
23. Грачева Е.И., Саитбаталова Р.С. Определение расхода электроэнергии на основе математической модели // Промышленная энергетика. –Москва, 1999.–№ 4. –С. 24–25.
24. Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка величины потерь электроэнергии в электрических сетях до 1000 В // Проблемы энергетики. –Москва, 2003. – № 1–2. –С. 108–117.
25. Громов Ю.Ю., Мищенко С.В., Погонин В.А., Набатов К.А.. Информационные системы для управления объектами малой энергетики. –Москва, «Научтехлитиздат», 2010, -283 с.
26. Гунин В.М. и др. Опыт нормирования и прогнозирования энергопотребления предприятия на основе математической обработки статической отчетности // Промышленная энергетика. –Москва, 2003. –№ 2. –С. 2–5.
27. Гулямов Б.Х., Ташпулатов Б.Т., Салиев А.Г. Правовые проблемы перехода на энергоэффективный путь развития и создание необходимой нормативной базы в области электроэнергетики // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2005. –№–4. С. 64–68.
28. Данилов Н.И., Шелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения. – Екатеринбург, Сократ. 2002, 305 с.

29. Дорощев Ю. С. Развитие теории и комплексные методы повышения эффективности функционирования электрооборудования горных предприятий: Автореферат дис. на соис. уч. степ. д.т.н. – Владивосток, 2009. –32 с.
30. Дзевенский А.Я., Хашимов Ф.А., Режимы и показатели электропотребления предприятий текстильной промышленности. – Ташкент, Фан, 1986. –95 с.
31. Дзевенский А.Я., Ибрагимов К.Х., Хашимов Ф.А. Многовариантные решения задач анализа, прогнозирования и нормирования электропотребления на промышленных предприятиях, выпускающих разнородную продукцию // Промышленная энергетика. –Москва, 2000. – №3. –С. 43–46.
32. Дзевенский А.Я., Ибрагимов К.Х., Хашимов Ф.А. Методы анализа и расчета энергоёмкости продукции предприятий, использующих комплексно электроэнергию и энергию вторичных энергоносителей // Промышленная энергетика. –Москва, 2001. –№4. –С. 43–46.
33. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Роль тарифной политики в реализации программы энергосбережения России // Энергетик. –Москва, 2001.–№2. – С.4–6.
34. Ескин В.В., Булаев Ю. В., Антипов К.А. Оперативные расчеты промышленных распределительных сетей // Промышленная энергетика. – Москва, 2001. –№ 4 –С. 22–23.
35. Energy Efficiency Policy Recommendation. OECD, 2009.
36. Жалилов Р.Б. Предпосылки создания автоматизированных систем управления промышленным энергоснабжением // Главный энергетик. — Москва, 2006. –№6. –С. 41–43.
37. Железко Ю.С. Статические характеристики погрешностей измерительных комплексов и их использование при расчете недоучета электроэнергии // Электрические станции. –Москва, 2006. –№2. –С.32–40.

38. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. –Москва, Энергоатомиздат, 1990. –127 с.
39. Жилин Б.В. Расчет электрических нагрузок и параметров электропотребления на ранних стадиях проектирования. Часть 1 // Электрика. –Москва, 2001. –№ 10. С. 19–27.
40. Жуков С.А. Этапы создания автоматизированной информационно–измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) // Промышленная энергетика. –Москва, 2005. –№2. –С. 10–12.
41. Зайниев Н.З., Успенская С.Н., Юлдашева О.Э. Вопросы управления энергосбережением // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2004. –№1–2. –С. 10–16.
42. Захидов Р.А. Основные направления энергосбережения в отраслях экономики Узбекистана // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2005. –№4. –С. 10–19.
43. Захидов Р.А. Управление энергоснабжением в развитых странах // Проблемы энерго – и ресурсосбережения. –Ташкент, 2005. –№1. –С.114–121.
44. Закон Республики Узбекистан «Об электроэнергетике». –Ташкент, 2009. –16 с.
45. Закиров В.Г. Энергосбережение. Учебное пособие. –Перм, Книга, 2000. –307 с.
46. Зиборов Б.Н. Отраслевые программы энергосбережения и роль энергетических обследований в их формировании // Энергетическая политика. –Москва, 2003. –№4. –С. 21–24.
47. Злобин А.А. и др. Основы разработки отраслевых комплексных программ рационального энергоиспользования и энергосбережения // Энергоэффективность и энергосбережение. –Москва, 2003. –№ 4. –С. 17–19.

48. Иванчура В.И., Суханов В.В., Усихин В.Н., Определение потерь электроэнергии в расчетах с энергоснабжающей организацией // Электрика –Москва, 2001. –№ 7. –С.8–11.
49. Инструкция. Определение эффективности мероприятий по снижению потерь электроэнергии. –Ташкент, ГАК «Узбекэнерго», 2006.– 48 с.
50. Инструкция, расчет и анализ технологического расхода электроэнергии на передачу по электрическим сетям энергосистемы Республики Узбекистан. –Ташкент, ГАК «Узбекэнерго», 2001. –24 с.
51. International Standarts to Develop and Promote Energy Efficiency and renewable Energy Sources, OECD/IEA, 2008
52. Камышан И.В. Совершенствование нормирования и планирования электропотребления многономенклатурного предприятия // Электрика. – Москва, 2004. –№7. –С. 36–38.
53. Комков В.А., Тимахова Н.С.. Энергосбережения в жилищно – коммунальном хозяйстве. –Москва, Инфра–М, 2010, – 318 с.
54. Козловская В.Б. Разработка методов информационного обеспечения малозатратного электроснабжения. Автореф. дисс. к.т.н. –Минск. Гос. политехническая академия. 1998, –18 с.
55. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. –Москва, Академия, 2004. - 318 с.
56. Конюхова Е.А. Влияние параметров режимов и элементов системы электроснабжения предприятий на дисконтированные затраты при проектировании // Промышленная энергетика. —Москва, 2005. –№2. С. 21–26.
57. Красилов Е.В. и др. Терминологическое обеспечение энергопотребления, энергосбережения, энергоэффективности // Электрика. –Москва, 2005. – №7. –С. 35–48.
58. Крупович В.И., Ермилов А.А., Иванов В.С. Проектирование промышленных электрических сетей. –Москва, Энергия, 1979. –328 с.

59. Козьмина З.Ю. и др. Оценка экономической эффективности модернизации энергетического оборудования // Электрические станции. – Москва, 2003. – №12. – С. 22–26.
60. Кудрин Б.И., Минеев А.Р. Электрооборудование промышленности. – Москва, Академия, 2008. – 423 с.
61. Ларин О.М. Методы, модели и алгоритмы для системы поддержки принятия решений оптимизации потерь электроэнергии в системе электроснабжения промышленного предприятия. Автореф. дисс. к.т.н. – Курск. Курский гос. тех. университет, 2004. – 18 с.
62. Литвак В.В. Об оценке потенциала энергосбережения // Промышленная энергетика. – Москва, 2003. – №2. – С. 2–6.
63. Лисиенко В.Г., Шелоков Я.М., Ладичиев М.Г. Хрестоматия энергосбережения. Под ред. Академика В.Г. Лисиенко Том 1,2. – Москва, Теплотехник, 2003. – 687 с., – 760 с.
64. Львовский Е.Н. Статические методы построения эмпирических формул. – Москва, Высшая школа, 1988. – 238 с.
65. Марков В.А. Оптимизация установившихся режимов в системах цехового электроснабжения по критерию минимизации потерь мощности // Электрика. – Москва, 2005. – №5. – С. 12–15.
66. Маркушев Н.С. Автоматизированное управление режимами электросетей 6–20 кВ. – Москва, Энергия, 1980. – 207 с.
67. Михайлов С.А. Государственная политика энергосбережения: достигнутые результаты и насущные задачи // Энергетик. – Москва, 2003. – №3. – С. 7–8.
68. Могиленко А.В. Потери электроэнергии в электрических сетях различных государств // Электрика. – Москва, 2005. – №3. – С. 33–34.
69. Морозов А.В. Определение потерь электрической энергии с помощью корреляционно–регрессионных моделей // Электрика. – Москва, 2005. – №3. – С. 31–35.

70. Наумов А.Л. Энергоаудит – инструмент энергосбережения // Энергосбережения. – Москва, 2000. – №4. – С. 34–37.
71. Островский Б.М., Громадский Ю.С. Проектирование и монтаж систем учета электроэнергии. – Киев, Будевэльнык, 1989. – 159 с.
72. Охотин А.С., Григорьев А.К., Каленков А.Б., Рагозин О.М., Тюрин М.П. Экономия топливно–энергетических ресурсов на предприятиях текстильной промышленности. – Москва, Легпромбытиздат, 1990. – 128 с.
73. Поликарпов Е.А. Об оптимизации систем промышленного электроснабжения // Промышленная энергетика. – Москва, 2001. – №8. – С. 27–29.
74. Полянский А.В. Система технического учета и управления энергопотреблением предприятия // Энергосбережение. – Москва, 2003. – №4. – С. 64–67.
75. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан «Об утверждении Правил проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно – энергетических ресурсов». // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. – Ташкент, 2006. – №2. – С. 47–60.
76. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов. Под ред. О.И.Данилова, П.А. Костюченко. – Москва, 2006, Техпромстрой, – 667 с.
77. Программное обеспечение для ОГЭ // Главный энергетик. – Москва, 2006. – №6. – С. 78–80. Программы по повышению энергоэффективности в Великобритании ICF International. 2010 г. Протокол по вопросам энергетической эффективности и соответствующим экологическим аспектам. (ПЭЭСЭА). – Брюссель: Секретариат энергетической хартии, 1998.
78. Протокол по вопросам энергетической эффективности и соответствующим экологическим аспектам. – Част 1. Тенденции энергетической политики и

- политики в области энергетической эффективности, инструменты и действующие лица/ Отчеты по странам: Норвегия, Дания, Великобритания, 2003.
79. Путь к энергоэффективному будущему / Материалы к докладу «Окружающая среда для Европы» на конференции министров окружающей среды, 21-23 мая 2003г., - Киев, 2003
80. Practical Baseline Recommendations for Greenhouse Gas Mitigation Projects in Electric Power Sector. Boston. IEA. 2002.
81. Реклейтис Г., Рейвиндрон А., Регстел К. Оптимизация в технике. Том 1, 2. –Москва, Мир, 1986. –337 с.
82. Reference Document on best available techniques for energy efficiency. European Commission. 2011
83. Садуллаев Н.Н., Кадыров К.С. Автоматизированный электропривод виброустановки, построенный на принципе компенсации возмущения // Известия вузов. Технические науки. –Ташкент, 2000. –№1–2.–С.182–186.
84. Садуллаев Н.Н., Турдиев М.Т. О необходимости создания справочно–нормативной базы энергетики Республики Узбекистан // Известия вузов. Технические науки. –Ташкент, 2001. –№1. –С. 15–17.
85. Садуллаев Н.Н. Автоматизированная система выявления резервов экономии электроэнергии в промышленности // Научно–технический журнал Фер ПИ. –Фергана, 2002. –№3. –С. 99–102.
86. Садуллаев Н.Н. Система автоматизированного проектирования электроснабжения промышленных предприятий // Известия вузов. Технические науки. –Ташкент, 2003. –№1. –С. 22–25.
87. Садуллаев Н.Н., Н. Х. Базаров. Автоматизированная система информационно–методического обеспечения для исследования энергопотребления промышленных предприятий // Известия вузов. Технические науки. –Ташкент, 2003. –№1. –С. 26–29.

88. Садуллаев Н.Н., Жўраев М.Э. Саноат корхоналарининг электр таъминоти тизимини техник кўрсаткичлар асосида лойihalаш. // Известия вузов. Технические науки. –Ташкент, 2003. –№2–3. –С. 6–9.
89. Садуллаев Н.Н., Турдиев М.Т. Основные аспекты электросбережения в системе электроснабжения промышленных предприятий // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2003. –№1–2. –С. 89–96.
90. Садуллаев Н.Н. Электротехник мажмуаларни автоматлаштирилган лойihalаш тизимлари // Проблемы высшего образования. –Ташкент, 2003. –№3. –С. 78–82.
91. Садуллаев Н.Н., Хафизов И.И. Автоматический выбор элементов системы электроснабжения промышленных предприятий // Вестник Таш ГТУ. –Ташкент, 2004. –№1. –С.118–122.
92. Садуллаев Н.Н., Турдиев М.Т. Тақсимловчи электр тармоқлар ва саноат корхоналарда электр энергиясини тежаш камхаражат тадбирлари. // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2004. –№1–2. –С. 17–21.
93. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Саноат корхоналарида электр энергиясини тежаш бўйича тадқиқотлар ўтказиш учун маълумотлар базасини яратиш // Вестник Таш ГТУ. –Ташкент, 2005. –№3, –С. 66–69.
94. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Создание базы данных для проведения энергетического обследования промышленного предприятия// Проблемы информатики и энергетики. –Ташкент, 2005. –№6. –С. 58–63.
95. Садуллаев Н.Н., Турдиев М.Т. Саноат корхоналари ва тақсимловчи тармоқларда энергияни тежаш тадбирларини ўтказишдаги баъзи муаммолар // Вестник Таш ГТУ. –Ташкент, 2006. –№1. –С. 60–64.
96. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Саноат корхоналари энергетик паспортининг электрон шакли. // Научный вестник Бух ГУ. –Бухара, 2007. –№2. –С. 100–103 с.

97. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Программа для ЭВМ «Главный энергетик» // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01247. 28.11.2007 г.
98. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Программа для ЭВМ «Энергетический паспорт» // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01440. 03.04.2007 г.
99. Садуллаев Н.Н., Нуров Х.И. Автоматизированная система информационно-методического обеспечения для энергетического обследования // Главный энергетик. –Москва, 2007. №1.– 70–73 с
100. Садуллаев Н.Н. Создание информационной системы по энергосбережению на промышленных предприятиях // Проблемы информатики и энергетики. –Ташкент, 2007. –№3. –С. 55–59.
101. Садуллаев Н.Н. Определение эффективности компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения // Проблемы информатики и энергетики. –Ташкент, 2007. –№5–6. –С. 38–43.
102. Садуллаев Н.Н. Создание электронного энергетического паспорта теплоэнергетических ресурсов // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2007. –№1. С. 99–102.
103. Садуллаев Н.Н., Турдыев М.Т. Осуществление непрерывного контроля потребления и потерь электроэнергии в сельских распределительных сетях // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2007. –№1. – С. 28–32.
104. Садуллаев Н.Н. Оптимизация параметров схемы электроснабжения промышленных предприятий // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2008. –№3–4. –С. 25–30.
105. Садуллаев Н.Н. Экономические расчеты компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2008. –№3–4. –С. 175–179.

106. Садуллаев Н.Н., Шойматов Б.Х., Холмурадов М.Б. Электронный анализ экономии электроэнергии в промышленности // Горный вестник Узбекистана. –Ташкент, 2008. –№4. С. 69–71.
107. Садуллаев Н.Н., Каххаров М.М., Сафаров Ё.Т. Программа для ЭВМ «Энергетический баланс» // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01247. 19.02.2010.
108. Садуллаев Н.Н. Обобщенный показатель эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия. // Проблемы информатики и энергетики. –Ташкент, 2009. –№2. –С. 40–44.
109. Садуллаев Н.Н. Оптимизация параметров в системе внутризаводского электроснабжения. // Проблемы информатики и энергетики. –Ташкент, 2009. –№3. –С. 46–50.
110. Садуллаев Н.Н. Оптимизация параметров схемы электроснабжения предприятия по минимуму единовременных затрат // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. –Москва, 2009. –№9 –С. 31–35.
111. Садуллаев Н.Н. Оценка эффективности системы электроснабжения по техническим показателям // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. –Москва, 2009. –№9. –С. 27–30.
112. Садуллаев Н.Н. Обобщенный показатель эффективности электрической части производства // Проблемы энерго– и ресурсосбережения, –Ташкент, 2009. –№1–2. –С. 104–108.
113. Садуллаев Н.Н. Экономический показатель эффективности электрической части производства // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. –Москва, 2009. –№11. –С. 41–44.
114. Садуллаев Н.Н., Шайматов Б.Х., Мавлонов Ж.А., Холмурадов М.Б. Оптимизация параметров в системе внутризаводского электроснабжения // Горный вестник Узбекистана. –Ташкент, 2010. –№4. –С. 74–76.

115. 사둘라엡 나슬로 네마토비치. 한국과 더욱 활발하고 발전있는 국제교류 희망//경제. -서울, 2010. -№12. -로 98-99. (Садуллаев Н.Н. Перспективный международный обмен научных исследований с Республикой Корея. Экономика. –Сеул, 2010. –№12. – С. 98-99.)
116. Садуллаев Н.Н. Информационная – аналитическая система мониторинга энергоэффективности промышленных предприятий. Россия –Узбекистан // Сборник научных трудов. – Москва, МГУ. 2010. –С.76-78.
117. Sadullaev N.N. Generalized effectiveness ratio of system of electrosupply of the industrial enterprise. // New Outcome, Los angeles, 2011, №1, p.23-27
118. Sadullaev N.N. Determination of the parameters of power supply rational scheme for industrial enterprises. // New Outcome, Los angeles, 2011, №1, p.33-40
119. Садуллаев Н.Н. Определение оптимальных параметров схемы электроснабжения предприятия с учетом их регулирования. // Промышленная энергетика, –Москва, 2011, №7, –С.33-37
120. Саидходжаев А.Г., Чмуров А.П. Влияние качества напряжения на энергосберегающие технологии // Проблемы энерго– и ресурсосбережения, –Ташкент, 2003, №1–2, –С. 97–108.
121. Саидходжаев А.Г. Основные системы учета расхода электрической и тепловой энергии // Вестник Таш ГТУ. –Ташкент, 2005. –№4. –С. 58–61.
122. Сазыкин В.Г. Моделирование информационных структур систем электрики: данные и знания // Электрика. –Москва, 2001. –№9. –С. 39–43.
123. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Д. Технология энергосбережения. – Москва, Форум, 2010, 350 с.
124. Сытдииков Р.А., Радионова О.В. О нормативной правовой базе развития энергосбережения // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2005. –№2–3. С. 54–60.

125. Соколов В.К., Аметов И.Д., Прейгель А.А. Рыночные аспекты проблемы регулирования частоты в объединенной энергетической системы Центральной Азии //Электричество, –Москва, 2001. №7.–С. 2–6.
126. Соколов В.К., Прейгель А.А., Васильев В.Г. Задачи оперативной оптимизации энергопроизводства в условиях рыночных отношений // Электричество, –Москва, 2007, №1, –С. 2–9.
127. Соловьев М.М. Нормативно–правовое, организационно – методическое обеспечение политики энергосбережения в России и современное состояние проблемы // Электрика. –Москва, 2003. –№11. –С. 65–67.
128. Соскин Э.А., Киреева Э.А. Автоматизация управления промышленным энергоснабжением. –Москва, Энергоатомиздат, 1990, -382 с.
129. Сборник задач и деловые игры по экономике и управлению энергетическим производством. Под ред. Долгова П.П. –Москва, Высшая школа, 1991. 191 с.
130. Справочник по проектированию электроснабжения. Под.ред. Ю.Г.Барыбина и др. –Москва, Энергоатомиздат, 1990. –427 с.
131. Стрюк А.И., Коваленко А.Ю. Единая автоматизированная информационно – измерительная система контроля и учета электроэнергии // Электрика. –Москва, 2005. –№5. С. 7–8.
132. Сюскин А.И. Нормативное регулирование взаимоотношений между поставщиками и потребителями по реактивной мощности //Электрика. – Москва, 2003. –№7. -С. 13–17.
133. Тешабаев Б.М. Энергосбережение – основа энергоэффективности // Проблемы энерго– и ресурсосбережения. –Ташкент, 2007. –№2.– С.10–16.
134. Тешабаев Б.М. Повышение энергоэффективности электроэнергетики Узбекистана. Дисс.учен.степ. к.т.н. –Ташкент, 2009.–174 с.
135. Тешабаев Б.М., Лейтис И.С., Чебан Ю.И. Автоматизированная информационно – измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) –как объективная необходимость

- энергетики Республики Узбекистан // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2009.–№4. –С. 13–24.
136. Троицкий А.А. Энергоэффективность как фактор влияния на экономику, бизнес, организацию энергоснабжения. Электрические станции. –Москва, 2005, –№1, С. 11–16.
137. Троицкий-Марков Т.У., Сенновский Д.В., Зуев В.И., Журова А.В. Методическое пособие для производственных малых и средних предприятий по вопросам повышения ресурсо- и энергоэффективности (практика энергоменеджмента). М.2010, 145 с.
138. Учет и контроль расхода энергоносителей и тепловой энергии. Под ред. Кахановича В.С. –Москва, Энергия, 1980, с. 232.
139. Федосеев Н.Д. Разработка системы показателей для оценки эффективности энергоиспользования на промышленном предприятии. Автореферат дис. к.т.н. –Москва, универ. путей сообщения, 2004. -22 с.
140. Федотов А.И., Абдуллазянов Э.Ю. Проблемы расчета годовых потерь электроэнергии по продолжительности максимальных потерь // Проблемы энергетики. –Москва, 2002. № 1–2. –С.63–67.
141. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. –Москва, 2006, «Машиностроение –1», –256 с.
142. Фролов В.А., Коломеец О.М. О надежности автоматизированных информационно – измерительных систем контроля и учета электроэнергии // Электрика. –Москва, 2005. –№5. –С. 9–11.
143. Энергоэкономические обследования территорий // Электрика. –Москва, 2004. –№4. –С. 31–34.
144. Хашимов Ф.А. Разработка методов снижения энергозатрат на предприятиях текстильной промышленности Узбекистана. Дисс.учен.степ. д.т.н., –Ташкент, 2008.–354 с.

145. Хорошилов Н.В. Модель и алгоритмы для информационной системы управления режимами электропотребления промышленных предприятий. Автореф. дисс. к.т.н. –Курск. 2007, Курский Гос.тех.университет. –18 с.
146. Хорьков С.А. и др. Ценологический подход к нормированию и прогнозированию электропотребления // Электрика, –Москва, 2004. –№7. –С. 32–38.
147. Хохлов В.А. Энергосберегающие режимы работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами. Автореферат дисс. на соис. уч.ст. д.т.н. –Ташкент, 2009. 36 с.
148. Электротехнический справочник: В 3 т. Кн.1. Производство и распределение электрической энергии (Под общ. ред. профессоров МЭИ). –Москва, Энергоатомиздат, 1988.–880 с.
149. Юнусов Т.Ю. Эффективность внедрения АСКУЭ. // Проблемы энерго– и ресурсосбережения, –Ташкент, 2008. –№3–4. –С. 100–103.
150. Шаисматов С.Э., Дуболазов О.Н. О создании автоматизированной информационно–измерительной системы коммерческого учета электроэнергии в Узбекистане. // Проблемы энерго– и ресурсосбережения, –Ташкент, 2009. –№3–4. –С. 48–52.
151. Шелгинский А.Я., Молодкин А.С. Энергосбережение в производстве минеральных удобрений // Энергосбережение, –Москва, 2005. –№4. –С. 102–104.
152. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – Москва, Форум-инфра–М, 2005, -213 с.
153. Щукин Б.Д., Лыков Ю.Ф. Применение ЭВМ для проектирования систем электроснабжения. –Москва, Энергоиздат, 1992. –173 с.
154. <http://sertif-ico.ru/>. ISO 50001. Международная система энергетического менеджмента. 2011.
155. <http://portal-energo.ru/articles/details/id302>

156. www.iea.org/efficiency. Управление энергоэффективностью. Справочное руководство. Второе издание. © OECD/IEA, 2011
157. www.tpproject.ru/solution/askue
158. www.krug2000.ru/decisions/solutions_comacc/AIISTYE
159. www.blagodar.ru/ru/erem/work/aiis
160. www.abok.ru
161. www.energy-journals.ru.
162. www.energetika.by
163. www.energetica.ru
164. www.newenergetika.narod.ru
165. www.energetiku.info
166. www.newoutcome.com
167. www.energyland.info
168. www.rusenerg.ru
169. www.elektroinfo.ru
170. www.ziyonet.uz