

Общая характеристика проекта
«РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ»

1. Тема работы: разработка и внедрение комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования тепловых электрических станций.

2. Цель работы: повышение эффективности процессов производства электрической и тепловой энергии на тепловых электрических станциях путем разработки и внедрения комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования.

В частности, разработка и внедрение системы позволит:

- выстроить единую систему учета технико-экономических показателей работы оборудования и оптимизации загрузки электростанции с организацией обратной связи в виде процедур актуализации оптимизационной математической модели оборудования по результатам сопоставления номинальных и фактических энергетических характеристик на основе расчета составляющих резерва тепловой экономичности;

- повысить достоверность учета фактических и номинальных технико-экономических показателей работы оборудования за счет разработки алгоритмов контроля сходимости и алгоритмов сведения материальных, тепловых, электрических и топливных балансов по данным первичного учета;

- повысить точность определения прогнозных технико-экономических показателей в процедурах формирования ценовых заявок;

- получить экономию топливных затрат при производстве электрической и тепловой энергии за счет оптимизации состава работающего оборудования и его загрузки как при долгосрочном планировании показателей работы ТЭС, так и при оперативном ведении режима работы оборудования.

3. Обоснование эффективности работы

3.1. Актуальность работы

В настоящее время процессы производства и распределения электрической и, отчасти, тепловой энергии в России регулируются рыночными отношениями в рамках конкурентной среды. Такие условия стимулируют производителей энергии – электростанции и объединяющие их энергетические компании – к поиску путей сокращения издержек при производстве продукции и увеличению маржинальной прибыли. Эта цель предполагает постановку и решение ряда задач, охватывающих технологическое и конструктивное совершенствование генерирующего оборудования, совершенствование его эксплуатационных режимов, методов контроля технического состояния, характеристик экономичности, эффективности ремонтов и др.

В предшествующие годы особую актуальность приобрели малозатратные мероприятия, обеспечивающие быстрое получение эффекта в виде сокращения затрат топливно-энергетических ресурсов при обеспечении заданных графиков отпуска электростанцией тепловой и электрической энергии в распределительные сети. К таким мероприятиям относится разработка и внедрение программных или иных инструментов, позволяющих производить оптимизацию состава параллельно работающих агрегатов и оптимизацию

распределения тепловых и электрических нагрузок между отдельными энергетическими установками. Актуальность разработки программных средств по оптимизации режимов работы оборудования тепловых электростанций (ТЭС) подтверждает как существенно увеличившийся в последние годы интерес к разработкам такого рода со стороны генерирующих энергетических компаний, так и ежегодное увеличение числа практических разработок и научных работ по отдельным аспектам рассматриваемого направления. Такие работы выполняются, например, сотрудниками МЭИ, ИГЭУ, Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН и других научных центров, а также рядом специализированных российских и зарубежных фирм.

Использование собственно алгоритмов оптимизации режимов работы оборудования ТЭС не имеет практического интереса без оценки плановых технико-экономических показателей для расчетных оптимальных режимов и определения эффективности использования самих оптимизационных программных комплексов. Причем номенклатура показателей, используемых в качестве плановых технико-экономических показателей при оптимизации, должна соответствовать действующим российским требованиям к системам технического учета и отчетности ТЭС. Таким образом, задачи оптимизации режимов работы оборудования ТЭС неотделимы от расчетов фактических показателей работы оборудования (за фактически отработанный период), номинальных и нормативных показателей и резервов тепловой экономичности (перерасходов или экономии топлива из-за отклонения фактических значений соответствующих показателей от их номинальных значений).

К настоящему времени накоплен некоторый опыт разработки и внедрения программных комплексов по оптимизации режимов работы оборудования ТЭС. Обобщение опубликованных данных и анализ опыта эксплуатации уже запущенных проектов позволяют выявить преимущества и недостатки различных технических решений, касающихся научных и методических основ применяемых оптимизационных алгоритмов, алгоритмов расчета технико-экономических показателей, степени декомпозиции модели ТЭС, способов и полноты учета режима работы отдельных технологических подсистем и др. Такой анализ позволяет сформулировать ряд основополагающих требований технологического, методического и научного характера, которым должен соответствовать эффективно работающий программный комплекс по оптимизации режимов работы оборудования ТЭС, а также определить круг требующих решения научных и практических задач.

3.2. Описание решаемых проблем, поставленной задачи и предлагаемых подходов к её решению

Анализ имеющихся опубликованных результатов исследований по оптимизации режимов работы оборудования ТЭС и опыта промышленной эксплуатации соответствующих программных комплексов позволяет заключить следующее:

- основой наиболее удачных оптимизационных программных комплексов являются математические модели системы (в данном случае – ТЭС), синтезируемые из математических моделей подсистем с декомпозицией до уровня отдельных энергетических агрегатов и технологических схем;

- наиболее часто в качестве моделей отдельных агрегатов используются энергетические характеристики, поскольку эти характеристики входят в состав нормативно-технической документации по топливоиспользованию (НТД по ТИ), пересматриваемой и утверждаемой минимум один раз в пять лет, что обеспечивает определенную адекватность математической модели. При использовании моделей такого типа оптимизационный программный комплекс органично встраивается в систему технического учета и отчетности ТЭС; в случае использования других моделей, например, основанных на моделировании тепловой схемы в какой-либо системе автоматизированного проектирования,

возникает проблема обеспечения адекватности этих моделей, для решения которой требуются обычно больший объем исходных данных либо исходные данные другого рода, сбор которых на ТЭС требует дополнительных затрат. Адекватность энергетических характеристик фактическим показателям работы оборудования зависит, в свою очередь, от наличия или отсутствия балансовых испытаний агрегатов, предшествующих разработке НТД по ТИ, способа расчета собственно энергетических характеристик, объема контроля адекватности энергетических характеристик в период между пересмотрами НТД по ТИ и др.;

– процедура проверки соответствия фактических значений показателей работы агрегатов (котлов, турбоагрегатов) их энергетическим характеристикам является обязательной для ТЭС установленной электрической мощностью 10 МВт и более и регламентируется соответствующими нормативными документами. Результатом проверки, выполняемой минимум один раз в месяц, являются значения резервов тепловой экономичности, то есть величины экономии или перерасходов топлива из-за отклонения тех или иных фактических показателей работы оборудования от их номинальных (установленных энергетическими характеристиками) значений. Правильность рассчитанных значений резервов тепловой экономичности определяется правильностью расчета фактических и номинальных показателей работы оборудования. Фактические значения показателей работы оборудования рассчитываются по результатам измерения контролируемых параметров, то есть на их значения влияют метрологические характеристики средств измерений, алгоритмы первичной обработки результатов измерений и их осреднения на различных интервалах времени, наличие или отсутствие и алгоритмы предшествующих расчетов по сведению материальных, тепловых, топливных и электрических балансов, степень полноты собственно алгоритма расчета фактических показателей и др. Правильность номинальных значений показателей работы оборудования определяется правильностью их фактических значений, используемых в расчете в качестве исходных данных, а также степенью полноты используемого и утверждаемого в составе НТД по ТИ алгоритма расчета (называемого макетом расчета номинальных показателей);

– в качестве критерия оптимизации обычно используются экстремальные значения функций, составленных из технологических и стоимостных параметров, например, минимум суммарного расхода топлива или суммарных затрат на топливо по ТЭС, минимум расход тепла на выработку электроэнергии группой турбоагрегатов и др. Выбор критерия оптимизации зависит от особенностей решаемой оптимизационной задачи, перечня и вида граничных условий и ограничений. При этом предпочтение отдается тем критериям, фактические значения которых могут быть непосредственно рассчитаны по результатам измерений контролируемых технологических параметров. Поскольку оптимизационные расчеты целесообразно проводить с периодичностью, соответствующей периодичности изменения режима работы ТЭС (обычно этот период составляет 1 или 2 часа), возникает потребность в наличии не только собственно программного обеспечения по оптимизации режимов работы энергетического оборудования (что связано с необходимостью разработки подходящих методов оптимизации), но и инструментов, обеспечивающих выполнение оперативных и при этом достаточно точных расчетов фактических и номинальных показателей работы оборудования в тех же интервалах времени.

– разработка нормативно-технической документации по топливоиспользованию ТЭС в целом и номинальных энергетических характеристик оборудования в частности во многих случаях выполняется без проведения балансовых испытаний оборудования и детальной проверки адекватности полученных результатов фактическому техническому состоянию оборудования путем расчета резервов тепловой экономичности. Причиной этого являются, существенные затраты времени и ресурсов на проведение натурных испытаний оборудования, а также плохое качество статистической информации (фактических пока-

зателей работы оборудования и резервов тепловой экономичности) за предшествующий период из-за низкого уровня проработки систем первичного учета, сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов, расчета фактических показателей работы оборудования;

– фактические (отчетные) технико-экономические показатели работы электростанций и, в особенности, показатели экономичности отдельных агрегатов определяются во многих случаях ошибочно. Основной причиной этого является то, что утвержденные действующими нормативными документами методические основы расчета технико-экономических показателей работы реальных электростанций относительно подробно проработаны только в части разработки номинальных энергетических характеристик оборудования и определения номинальных показателей и крайне не достаточно – в части сведения материальных и тепловых балансов и расчета фактических показателей и резервов тепловой экономичности. Эти обстоятельства не позволяют достоверно оценить текущее техническое состояние оборудования и, соответственно, степень адекватности его математической модели в виде энергетической характеристики, то есть не позволяют получить актуальные энергетические характеристики.

Таким образом, перспективным является подход к разработке программных комплексов по оптимизации режимов работы оборудования ТЭС, основанный на использовании существующей в настоящее время системы нормирования показателей топливоиспользования, то есть целесообразно разрабатывать не локальное оптимизационное программное обеспечение, а в целом комплексную систему мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы (КСМТЭПиОР) оборудования тепловых электрических станций. В рамках КСМТЭПиОР математическая модель ТЭС синтезируется из математических моделей технологических подсистем и отдельных агрегатов, выраженных их энергетическими характеристиками. Адекватность модели фактическим показателям работы оборудования обеспечивается глобальной проверкой адекватности энергетических характеристик при плановых пересмотрах НТД по ТИ ТЭС (минимум один раз в пять лет) с проведением соответствующих балансовых испытаний оборудования, а также верификацией энергетических характеристик в период между пересмотрами НТД по ТИ на основе анализа получаемых расчетным путем данных о резервах тепловой экономичности за фактически отработанный предшествующий период времени. Резервы тепловой экономичности определяются на основе детального расчета номинальных и фактических показателей работы оборудования. При этом расчет фактических показателей базируется на данных системы первичного (приборного) учета и процедурах их обработки, включая сведение материальных, тепловых, топливных и электрических балансов. Расчет номинальных показателей выполняется по фактическим показателям как исходным данным с использованием энергетических характеристик как математической модели оборудования, техническое состояние и параметры эксплуатации которого соответствуют номинальным условиям.

Объектом разработки является комплексная система мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования тепловых электростанций, объектами исследования является её подсистемы.

Основные задачи работы:

1) Разработка концепции (состава подсистем, структуры информационных потоков между подсистемами) комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования тепловых электрических станций.

2) Разработка рекомендаций по совершенствованию первичного учета показателей работы энергетического оборудования на основе количественной оценки влияния погрешности измерения отдельных параметров режима работы оборудования на достовер-

ность расчета основных технико-экономических показателей работы ТЭС путем проведения численных экспериментов на модели расчета номинальных показателей.

3) Обобщение опыта эксплуатации оборудования ТЭС, отчетных данных ТЭС о тепловой экономичности оборудования с целью установления количественных взаимосвязей между характерными значениями невязок материальных, тепловых, топливных и электрических балансов по данным первичного учета и погрешностью расчета основных технико-экономических показателей работы оборудования ТЭС. Определение целесообразного объема сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов при обработке данных первичного учета.

4) Составление методических рекомендаций по сведению материальных, тепловых, топливных и электрических балансов ТЭС на основе разработки методов решения систем балансовых уравнений с учетом их возможной недоопределенности или переопределенности.

5) Уточнение типовых алгоритмов расчета фактических технико-экономических показателей работы оборудования ТЭС с учетом полученных результатов работы в части сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов.

6) Уточнение типовых алгоритмов расчета номинальных показателей работы энергетического оборудования с целью обеспечения требуемой адекватности математических моделей, разрабатываемых на основе энергетических характеристик.

7) Разработка расширенного перечня резервов тепловой экономичности, обеспечивающего возможность их (резервов) использования для верификации номинальных энергетических характеристик оборудования в подсистеме актуализации математической модели ТЭС; разработка алгоритмов верификации.

8) Разработка алгоритмов вычислительных процедур и модулей программных комплексов по обработке данных первичного учета показателей работы оборудования, сведению материальных, тепловых, топливных и электрических балансов, расчету фактических, номинальных и нормативных показателей работы и резервов тепловой экономичности оборудования ТЭС.

9) Разработка методов, алгоритмов вычислительных процедур и модулей программных комплексов по оптимизации состава работающего оборудования и параметров режима работы отдельных агрегатов при использовании основанных на актуальных энергетических характеристиках математических моделей оборудования.

10) Разработка рекомендаций по совершенствованию методов балансовых испытаний энергетического оборудования (турбоагрегатов, котлов, насосов, теплового вспомогательного оборудования), проводимых с целью разработки его номинальных энергетических характеристик; разработка прикладных программных комплексов по обработке результатов испытаний оборудования.

11) Практическая реализация модулей комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования тепловых электрических станций на ТЭС; оценка эффективности внедрения системы.

3.3. Характеристика работы

Укрупненная структура комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы (КСМТЭПиОР) оборудования тепловых электрических станций показана на рис. 1. КСМТЭПиОР включает следующие подсистемы:

– подсистему 1 первичного (приборного) учета показателей работы оборудования, которую составляют собственно приборы технического и коммерческого учета, а также измерительные каналы с соответствующей базой данных, обеспечивающие сбор и хранение результатов измерений;

– подсистему 2 первичной обработки результатов измерения контролируемых параметров работы оборудования, обеспечивающую анализ информации, поступающей от подсистемы 1, с контролем её достоверности (проверки на наличие выбегов, нахождение параметров в пределах объективных диапазонов с др.), восполнением пропусков данных первичного учета;

– подсистему 3 сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов по данным первичного учета, обеспечивающую контроль сходимости этих балансов по отдельным агрегатам, группам оборудования, технологическим подсистемам с функциями диагностики источника сверхнормативных небалансов (вплоть до выявления участка технологической схемы с нерасчетными утечками или неисправного средства измерения), сведением балансов с соответствующей корректировкой данных первичного учета и определением действительных (балансовых) нагрузок отдельных единиц оборудования, расходов теплоносителей и энергии в технологических схемах ТЭС. Кроме собственно результатов измерения контролируемых параметров, прошедших первичную обработку, в общем случае в расчетах по сведению балансов могут быть использованы актуальные энергетические характеристики оборудования, поскольку часть необходимых параметров – расходов теплоносителей или энергии – могут быть не обеспечены приборным учетом;

– подсистему 4 расчета фактических показателей работы оборудования при использовании результатов сведения балансов, обеспечивающую определение фактических значений за расчетный период времени основных и промежуточных технико-экономических показателей отдельных единиц, групп оборудования и технологических подсистем. Здесь, как и в подсистеме сведения балансов, в общем случае для расчета параметров, не обеспеченных приборным учетом, могут быть использованы актуальные энергетические характеристики оборудования;

– подсистему 5 расчета номинальных и нормативных показателей работы оборудования по результатам сведения балансов как исходным данным с использованием номинальных энергетических характеристик оборудования как математической модели оборудования, техническое состояние и параметры эксплуатации которого соответствуют номинальным условиям;

– базу данных 6 номинальных (утвержденных в составе нормативно-технической документации по топливоиспользованию ТЭС) энергетических характеристик оборудования, содержащую собственно номинальные энергетические характеристики в компьютерном виде и соответствующую СУБД по определению показателей работы оборудования по энергетическим характеристикам;

– подсистему 7 расчета резервов тепловой экономичности, обеспечивающую определение перерасходов или экономии топлива за расчетный период из-за отклонения фактических показателей работы отдельных агрегатов или технологических подсистем от их номинальных значений по заданному перечню параметров;

– подсистему 8 формирования отчетов электростанции о тепловой экономичности оборудования по данным за фактически отработанный период времени, обеспечивающую автоматическое заполнение заранее определенных отчетных форм данными, соответствующими фактическим условиям работы оборудования и утвержденной для ТЭС НТД по ТИ;

– подсистему 9 верификации номинальных энергетических характеристик оборудования, обеспечивающую определение актуальных энергетических характеристик путем статистического анализа значений резервов тепловой экономичности, фактических и номинальных показателей работы оборудования за заданный период времени с поиском соответствующих значений параметров идентификации, перечень и методы расчета которых заранее определены;

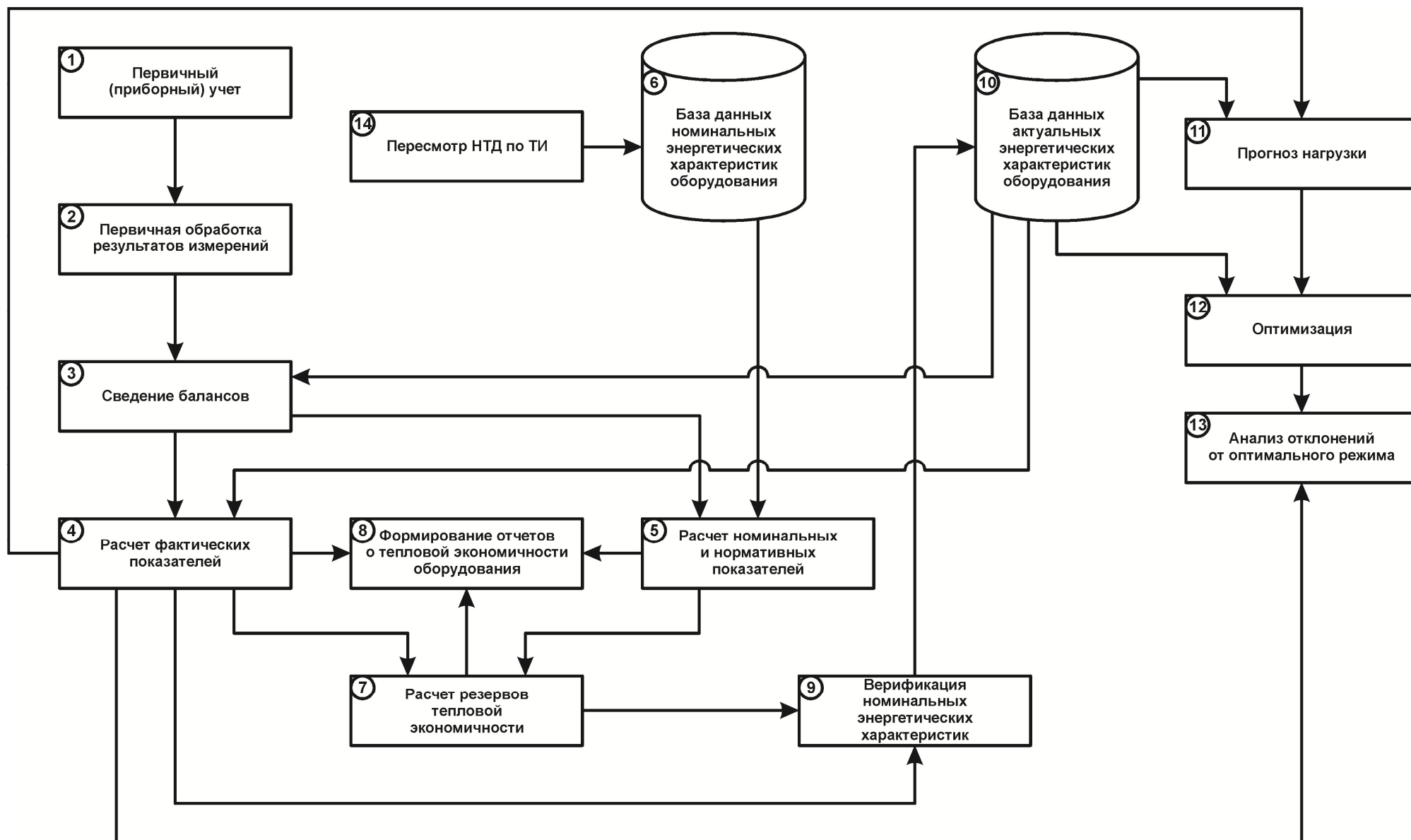


Рис. 1. Схема основных информационных потоков в комплексной системе мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования тепловых электростанций

– базу данных 10 актуальных энергетических характеристик оборудования, содержащую актуальные в данном интервале времени энергетические характеристики в компьютерном виде и соответствующую СУБД по определению показателей работы оборудования по этим энергетическим характеристикам;

– подсистему 11 прогнозирования требуемых нагрузок ТЭС по отпуску тепловой и электрической энергии во внешние распределительные сети, а также плановых расходов материальных и энергетических ресурсов на собственные нужды, в которой предусмотрено прямое задание или прогнозный расчет требуемых параметров планируемого периода с использованием актуальных данных за предшествующий фактически отработанный период (в случае выполнения оптимизационных расчетов на краткосрочную перспективу);

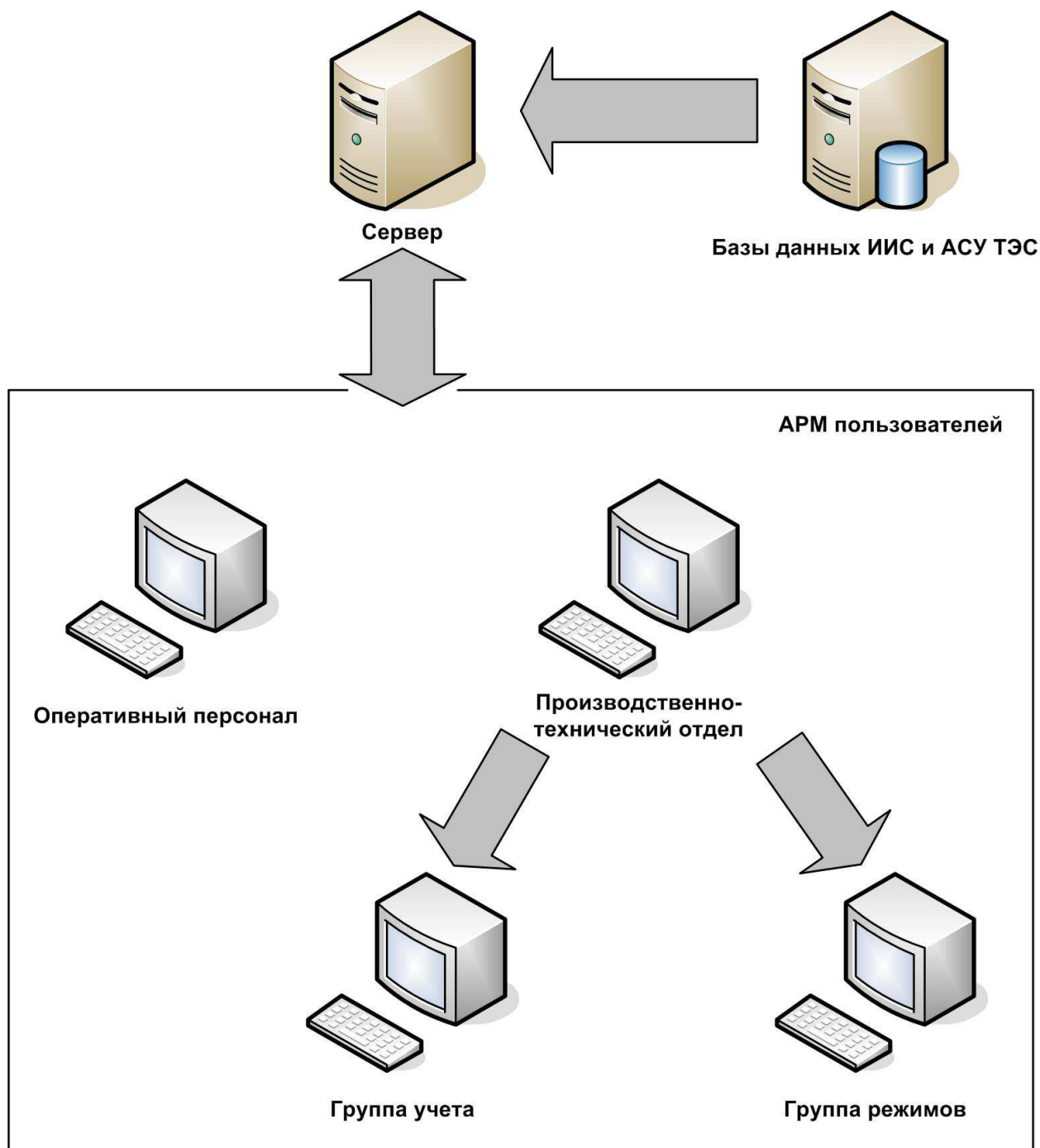
– подсистему 12 оптимизации состава работающего оборудования и режимов его работы, в которой осуществляется определение параметров работы оборудования в планируемом периоде, отвечающих оптимальному режиму в соответствии с заданным критерием оптимизации, при обеспечении прогнозных нагрузок ТЭС по отпуску тепловой и электрической энергии во внешние распределительные сети. При этом в качестве математической модели ТЭС используется модель, построенная на основе актуальных энергетических характеристик оборудования;

– подсистему 13 анализа отклонений показателей фактического режима работы оборудования от оптимального, обеспечивающую расчет за заданный период времени характеристик упущенной выгоды из-за неполной реализации расчетного оптимального режима;

– подсистему 14 глобальной проверки адекватности энергетических характеристик при плановых пересмотрах НТД по ТИ ТЭС (минимум один раз в пять лет) и обработки результатов балансовых испытаний оборудования.

Большинство из рассмотренных подсистем сопряжены с собственными базами данных и СУБД, которые на рис. 1 для сохранения его информативности не показаны.

Предлагаемая система имеет следующую примерную архитектуру:



АРМ пользователей системы включает следующие рабочие станции:

- АРМ оперативного персонала:
 - заполнение электронных ведомостей учета параметров работы оборудования;
 - отображение отклонений фактического режима работы оборудования от оптимального;
- АРМ производственно-технического отдела (группа учета):
 - заполнение базы данных показателей работы оборудования по данным самопишущих приборов учета;
 - контроль сходимости и сведение балансов за фактически отработанный период;
 - расчет фактических, номинальных и нормативных технико-экономических показателей и составляющих резерва тепловой экономичности за фактически отработанный период;

- запуск процедур актуализации энергетических характеристики (оптимизационной математической модели оборудования);
 - АРМ производственно-технического отдела (группа режимов):
 - прогнозирование нагрузки электростанции по отпуску тепловой и электрической энергии;
 - оптимизация состава работающего оборудования и режима его работы при долгосрочном планировании (ФСТ, разработка бизнес-плана);
 - оптимизация состава работающего оборудования и режима его работы при оперативном ведении режима (в режиме подачи ценовых заявок);
- Сервер системы обеспечивает:
- сбор и хранение данных о параметрах работы оборудования из имеющихся баз данных информационно-измерительных систем и автоматизированных систем управления;
 - хранение результатов расчетов, выполняемых на АРМ пользователей.

4. Планируемые результаты работы

4.1. Описание планируемых результатов

Результатом работы является внедренная в производственный процесс (в части оперативного и долгосрочного планирования режимов работы оборудования, расчета фактических и номинальных ТЭП, составляющих резерва тепловой экономичности) комплексная система мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования ТЭС, представляющая собой комплекс прикладных программ и обеспечивающая решение следующих задач:

- сбор, первичную обработку, контроль достоверности и хранение данных первичного (приборного) учета, включая (при наличии возможности) организацию связей с функционирующими на станции системами автоматизированного контроля параметров;
- сведение материальных, тепловых, топливных и электрических балансов по данным первичного учета, с обеспечением контроля сходимости этих балансов по отдельным агрегатам, группам оборудования, технологическим подсистемам с функциями диагностики источника сверхнормативных небалансов, сведением балансов с соответствующей корректировкой данных первичного учета и определением действительных (балансовых) нагрузок отдельных единиц оборудования, расходов теплоносителей и энергии в технологических схемах ТЭС;
- расчет (в том числе, в суточном и почасовом разрезе) фактических показателей работы оборудования (основных и промежуточных технико-экономических показателей отдельных единиц, групп оборудования и технологических подсистем) при использовании результатов сведения балансов;
- расчет номинальных и нормативных показателей работы оборудования по результатам сведения балансов как исходным данным с использованием номинальных энергетических характеристик оборудования как математической модели оборудования, техническое состояние и параметры эксплуатации которого соответствуют номинальным условиям;
- расчет резервов тепловой экономичности, обеспечивающий определение перерасходов или экономии топлива за расчетный период из-за отклонения фактических показателей работы отдельных агрегатов или технологических подсистем от их номинальных значений по заданному перечню параметров;
- формирование отчетов электростанции о тепловой экономичности оборудования по данным за фактически отработанный период времени (в том числе, в суточном разрезе), обеспечивающее автоматическое заполнение заранее определенных отчетных форм

данными, соответствующими фактическим условиям работы оборудования и утвержденной для ТЭС нормативно-технической документации по топливоиспользованию;

- верификация номинальных энергетических характеристик оборудования с определением актуальных энергетических характеристик путем статистического анализа значений резервов тепловой экономичности, фактических и номинальных показателей работы оборудования за заданный период времени с поиском соответствующих значений параметров идентификации;

- прогнозирование требуемых нагрузок ТЭС по отпуску тепловой и электрической энергии во внешние распределительные сети, а также плановых расходов материальных и энергетических ресурсов на собственные нужды;

- оптимизация состава работающего оборудования и режимов его эксплуатации с определением параметров работы оборудования в планируемом периоде, отвечающих оптимальному режиму в соответствии с заданным критерием оптимизации при обеспечении прогнозных нагрузок ТЭС по отпуску тепловой и электрической энергии во внешние распределительные сети (решаются задачи оптимизации режимов работы при долгосрочном планировании и оперативном ведении режима);

- анализ отклонений показателей фактического режима работы оборудования от оптимального с расчетом за заданный период времени характеристик упущенной выгоды из-за неполной реализации расчетного оптимального режима.

Алгоритмы расчета балансовых, фактических, номинальных показателей и резервов тепловой экономичности оборудования, а также алгоритм расчета прогнозных технико-экономических показателей для заданного состава работающего оборудования при заданных тепловых и электрических нагрузках отдельных агрегатов разрабатываются в соответствии с действующими руководящими документами в области топливоиспользования, в частности, в соответствии с требованиями:

- РД 34.08.552-95 «Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования»;

- РД 153-34.0-09.115-98 «Методические указания по прогнозированию удельных расходов топлива»;

- РД 34.09.155-93 «Методические указания по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций».

4.2. Предпосылки для успешного завершения работ

Научный задел для успешного выполнения работы

Тема оптимизации процессов производства тепловой и электрической энергии на тепловых электростанциях в предшествующие годы активно разрабатывается сотрудниками ЗАО «Ивэнергосервис». Данное направление приобрело особую актуальность при переходе электростанций к работе на ОРЭМ.

По рассматриваемому научному направлению защищена 1 докторская и 1 кандидатская диссертация, опубликовано более 40 научных статей и текстов докладов научно-практических конференций.

Практический задел для успешного выполнения работы

Сотрудниками ЗАО «Ивэнергосервис» разработан ряд программных модулей по расчету технико-экономических показателей и оптимизации режимов работы оборудования ТЭС для различных электростанций. Разработанные программные комплексы защищены следующими свидетельствами о государственной регистрации:

1. Программа для ЭВМ: «ТЭС-Эксперт». Владимирская ТЭЦ» / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о госуд. регистр. программы для ЭВМ 2009612236 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 30.04.09.

2. Программа для ЭВМ: «ТЭС-Эксперт». Саранская ТЭЦ / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о государств. регистр. программы для ЭВМ 2009612298 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 06.05.09.

3. Программа для ЭВМ: «ТЭС-Эксперт» (базовая версия) / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о государств. регистр. программы для ЭВМ 2009611813 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 07.04.09.

4. Программа для ЭВМ: Программный комплекс для автоматизированного расчета оптимального состава и загрузки основного оборудования для планирования, анализа и управления режимами работы ТЭС ОАО «ТГК-11» (ТЭЦ-5) в условиях действующих регламентов НОРЭМ и Системного оператора для нужд Омского филиала ОАО «ТГК-11» / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о государств. регистр. программы для ЭВМ 2010618057 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 20.12.10.

5. Программа для ЭВМ: «ТЭС-Эксперт». Макет расчета фактических показателей работы ТЭЦ / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о государств. регистр. программы для ЭВМ 2011611242 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 07.02.11.

6. Программа для ЭВМ: «ТЭС-Эксперт». Пароводяной баланс / Барочкин Е.В., Борисов А.А., Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. // Свид. о государств. регистр. программы для ЭВМ 2011611931 / зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 02.03.11.

4.3. Примерный график реализации проекта

№ этапа	Наименование этапа	Лимит времени на выполнение работы от даты подписания договора
1	Подготовительный (оформление документов на выполнение работы; сбор исходных данных)	1 месяц
2	Разработка и апробация алгоритмов сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов (анализ состава оборудования, технологических схем, составление балансовых схем, разработка алгоритмов сведения балансов, разработка форм входной и выходной информации, проведение расчетов тестовых примеров)	3 месяца
3	Разработка и апробация уточненных алгоритмов расчета фактических ТЭП работы оборудования с учетом балансовых перетоков тепла между энергоблоками (разработка алгоритмов расчета фактических ТЭП по прямому и обратному балансам, разработка форм входной и выходной информации, проведение расчетов тестовых примеров)	4 месяца
4	Разработка и апробация алгоритмов расчета номинальных ТЭП работы оборудования и составляющих резерва тепловой экономичности (оцифровка нормативных энергетических характеристик оборудования, проверка и уточнение алгоритмов расчета номинальных ТЭП и составляющих резерва тепловой экономичности, разработка форм входной и выходной информации, проведение расчетов тестовых примеров)	5 месяцев

№ этапа	Наименование этапа	Лимит времени на выполнение работы от даты подписания до- говора
5	Разработка программного обеспечения по сведению балансов, расчету фактических, номинальных и нормативных ТЭП и составляющих резерва тепловой экономичности (<i>разработка форм входной и выходной информации, анализ способов получения исходной информации, разработка электронных ведомостей показателей работы оборудования, разработка программного обеспечения по сведению балансов и расчету ТЭП по разработанным ранее алгоритмам, проведение расчетов тестовых примеров</i>)	6 месяцев
6	Разработка алгоритмов и программного обеспечения по оптимизации состава работающего оборудования и режима работы оборудования (<i>разработка алгоритмов оптимизации для модулей долгосрочного планирования и оперативного ведения режима, разработка программного обеспечения, проведение расчетов тестовых примеров</i>)	8 месяцев
7	Разработка серверной части системы (<i>разработка программного обеспечения серверной части системы, разработка программного обеспечения клиентской части системы, развертывание системы на объекте</i>)	9 месяцев
8	Тестирование, доработка системы и запуск в промышленную эксплуатацию	12 месяцев

5. Финансы

5.1. Обоснование необходимого финансирования проекта

Обоснование стоимости работ проведено для ТЭС с 5 однотипными конденсационными турбоагрегатами давлением свежего пара 130 кгс/см² с промперегревом на основании применимых к данной задаче статей (пунктов, позиций) «Прейскуранта на экспериментально-надочные работы и работы по совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей» (1992 г.), рекомендованного ЦНИИЭУС Минстроя РФ для определения договорных цен и с учетом коэффициента индексации цен $K = 0,49$.

5.1.1. Примерная стоимость работ с разбивкой по этапам

№ этапа	Наименование этапа	Стоимость без НДС, руб	Стоимость с НДС, руб
1	Подготовительный	160000	188800
2	Разработка и апробация алгоритмов сведения материальных, тепловых, топливных и электрических балансов	430000	507400
3	Разработка и апробация уточненных алгоритмов расчета фактических ТЭП работы оборудования с учетом балансовых перетоков тепла между энергоблоками	486000	573480
4	Разработка и апробация алгоритмов расчета номинальных ТЭП работы оборудования и составляющих резерва тепловой экономичности	665000	784700

№ этапа	Наименование этапа	Стоимость без НДС, руб	Стоимость с НДС, руб
5	Разработка программного обеспечения по сведению балансов, расчету фактических, номинальных и нормативных ТЭП и составляющих резерва тепловой экономичности	604000	712720
6	Разработка алгоритмов и программного обеспечения по оптимизации состава работающего оборудования и режима работы оборудования	321000	378780
7	Разработка серверной части системы	778000	918040
8	Тестирование, доработка системы и запуск в промышленную эксплуатацию	236000	278480
	ИТОГО стоимость проекта	3 680 000	4 342 400

5.2. Оценка срока окупаемости проекта

Кроме положительного эффекта, выраженного в повышении точности и оперативности контроля технико-экономических показателей работы оборудования электростанции при внедрении предлагаемой системы, ожидается получение экономии топлива за счет оптимизации состава и режимов работы оборудования при долгосрочном планировании и оперативном ведении режима, включая процедуры формирования ценовых заявок.

Экономия топлива при внедрении отдельных элементов системы оценена по результатам реализации подобного проекта на Омской ТЭЦ-5 ОАО «ТГК-11», где программный комплекс введен в промышленную эксплуатацию в 2010 году. Ниже дано сопоставление некоторых показателей работы Омской ТЭЦ-5 за первое полугодие 2010 (до внедрения системы) и 2011 г. (после внедрения системы) (по данным, представленным ТЭЦ):

Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя за первое полугодие		Отклонение
	2010 года	2011 года	
1. Отпуск электроэнергии, тыс. кВт·ч	1 642 870	1 571 607	–4,3 %
2. Отпуск тепловой энергии, Гкал	2 318 697	2 118 798	–8,6 %
3. Фактический удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч	320,0	317,6	–2,4 г у.т./кВт·ч
4. Фактический удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, кг у.т./Гкал	138,4	137,7	–0,7 кг у.т./Гкал
5. Количество сожженного топлива, тыс. т у.т.	846,626	790,901	–6,6 %

Приведенные данные показывают, что общая нагрузка ТЭЦ уменьшилась на 4,3 % по отпуску электроэнергии и на 8,6 % по отпуску тепловой энергии, то есть доля теплофикационной выработки электроэнергии уменьшилась, что должно привести к ухудшению показателей тепловой экономичности. Однако удельные показатели тепловой экономичности улучшились – удельные расходы условного топлива уменьшились на 2,4 г/кВт·ч по отпуску электроэнергии и на 0,7 кг/Гкал по отпуску тепловой энергии.

В этом случае минимальная оценка экономии топлива, обеспеченной внедрением системы, составила

– *в абсолютном выражении*

$$2,4 \text{ г/кВт·ч} \cdot 1571607 \text{ тыс.кВт·ч} \cdot 10^{-3} + 0,7 \text{ кг/Гкал} \cdot 2118798 \text{ Гкал} \cdot 10^{-3} = 5255 \text{ т у.т.};$$

– *в относительном выражении*

$$5255 \text{ т у.т.} \cdot 100 / 790901 \text{ т у.т.} = 0,66 \%$$

Омская ТЭЦ-5 сжигает преимущественно экибастузский каменный уголь, стоимость которого в 2011 году составляла около 1500 руб/т у.т. (в пересчете на условное топливо). При такой цене топлива экономия за первое полугодие 2011 года в денежном выражении составила

$$5255 \text{ т у.т.} \cdot 1500 \text{ руб/т у.т.} = 7\,882\,500 \text{ руб.}$$

При расчете за год можно принять экономию в размере 15 765 000 руб/год.

При оценке возможной экономии топлива применительно к ГРЭС с конденсационными энергоблоками следует учитывать, что при прочих равных условиях за счет оптимизации состава и режима работы оборудования потенциал экономии топлива меньше, чем при внедрении такой системы для ТЭЦ с теплофикационными турбоагрегатами. По результатам обобщения ряда исследований можно заключить, что возможная экономия для ГРЭС меньше возможной экономии для ТЭЦ приблизительно в 3–4 раза. Принимая в запас надежности значение 5, для ГРЭС можно ожидать экономию топлива в размере $1,33 \% / 5 = 0,26 \%$.

Принимая для рассматриваемой конденсационной ТЭС с 5 турбоагрегатами отпуск электроэнергии в размере 3451,6 млн. кВт.ч при удельном расходе условного топлива на отпуск электроэнергии 326 г у.т./кВт.ч и отпуск тепловой энергии в размере 246,3 Гкал при удельном расходе условного топлива на отпуск тепловой энергии 167,4 кг у.т./Гкал, определяем:

– годовой расход топлива в размере 1 166,5 тыс. т у.т.;

– ожидаемую экономию топлива при внедрении системы

$$1166,5 \text{ тыс. т у.т./год} \cdot 0,26 \% / 100 = 3,03 \text{ тыс. т у.т./год.}$$

При цене топлива в размере 2700 руб/т у.т. **ожидаемая экономия при внедрении системы в денежном выражении составит**

$$3,03 \text{ тыс. т у.т./год} \cdot 2700 \text{ руб/т у.т.} = 8\,181 \text{ тыс. руб/год.}$$

При стоимости разработки в внедрения системы (см. п. 5.1) 4 342 тыс. руб **ориентировочный срок окупаемости проекта составит**

$$4\,342 \text{ тыс. руб} / 8\,181 \text{ тыс. руб/год} = 0,53 \text{ года} = 6,4 \text{ месяца.}$$

ЗАО «Ивэнергосервис», 2012