

На правах рукописи

Иванов Никита Сергеевич

**Построение оптимизационной модели для выбора состава и
распределения нагрузок между агрегатами тепловых электростанций**

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические
системы.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

г. Томск 2009г.

Работа выполнена в Томском политехническом университете

| | |
|-----------------------|--|
| Научный руководитель | Кандидат технических наук, доцент Беляев Леонид Александрович |
| Официальные оппоненты | Доктор технических наук, профессор Хрущёв Юрий Васильевич Кандидат технических наук, доцент Русина Анастасия Георгиевна |
| Ведущая организация | Кузбасское Открытое акционерное общество энергетики и электрификации (ОАО «Кузбассэнерго») |

Защита диссертации состоится «23» декабря 2009г. в 16 час. 00 мин.

на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций
Д 212.269.10 при Томском политехническом университете по адресу 634050, г.
Томск, пр. Ленина, 30

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
Томского политехнического университета

Автореферат разослан « » ноября 2009г.

Ученый секретарь

совета по защите докторских

и кандидатских диссертаций _____ Кабышев А.В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Реформирование электроэнергетического комплекса России привело его к такому состоянию, в котором разные генерирующие объекты вынуждены конкурировать на оптовом рынке электроэнергии и региональных потребительских рынках тепла. В этих условиях необходимо оптимизировать работу существующего энергетического комплекса для его работы с максимальной эффективностью.

Исходя из того, что тепловые электростанции являются в структуре энергетической системы как объектами с наибольшим видом отпускаемых видов нагрузки различных параметров, так и объектами с частым изменением этих нагрузок (несколько раз в сутки), то оптимизация краткосрочных режимов их работы является одним из важных и сложных этапов в комплексной оптимизации электроэнергетической системы.

Формирование цены на электроэнергию происходит на основе конкурентного механизма отбора наиболее дешевых предложений на поставку электрической энергии. Одним из секторов торговли является рынок на сутки вперед. Администратор торговой системы на рынке электроэнергии ранжирует заявки по ценовой шкале от самой дешёвой до самой дорогой. Заявки представляют собой объемы электроэнергии, которые генерирующие компании собираются поставлять по определенной цене на определенный период времени. Очевидно, что топливная составляющая в ценовой заявке должна определяться из условия оптимального выбора и загрузки оборудования ТЭС. В результате сопоставления поданных заявок осуществляется оперативно-диспетчерское управление системным оператором.

Цель работы заключается в создании методики оптимизации краткосрочных режимов работы ТЭС, позволяющую выбирать оптимальное сочетание из всего множества сочетаний составов и режимов работы оборудования тепловой электростанции.

Научная новизна в целом заключается в создании методики совместной оптимизации как состава и режимов работы оборудования тепловых электростанций, так и распределения тепловых и электрических нагрузок между оборудованием. Данная методика впервые позволяет оперативно проводить выбор лучшего сочетания состава и режимов работы оборудования из всех возможных сочетаний, в отличие от многих существующих методик, в которых состав оборудования задается, а оптимизации подлежит лишь распределение тепловых и электрических нагрузок между оборудованием. К числу отдельных результатов, обладающих новизной, относятся:

1. Разработана структурная схема программного комплекса, математическая модель оптимизации краткосрочных режимов работы ТЭС и алгоритм её реализации на современных ЭВМ.
2. Созданы базы данных (БД) сочетаний всех возможных составов и режимов работы исследуемых ТЭС, формируемых до оптимизационных вычислений. Разработана методика формирования БД. Создание БД позволило значительно сократить время оптимизационных вычислений.
3. Разработан модуль произвольного задания состава и режимов работы оборудования ТЭС для оценки эффективности применения программного комплекса. Данный модуль позволяет сопоставить результаты оптимизационного выбора и любого другого допустимого режима. При этом в модуле оптимизации и модуле произвольного задания используются для расчёта тепловых схем ТЭС, расходов пара на турбины и топлива на котлы одни и те же заложенные в программу алгоритмы и энергетические характеристики.

Практическая значимость.

Методика оптимизации составов и режимов работы оборудования ТЭС реализована в рамках универсального программно-вычислительного комплекса. Разработка, тестирование и внедрение комплекса осуществлено на Новосибирской ТЭЦ-4 и Кемеровской ГРЭС. Его применение позволяет:

1. Экономить топливо за счет выбора оптимального состава и режимов работы оборудования ТЭС.
2. Повысить конкурентоспособность электростанции на рынке электроэнергии, так как в заявке станции на поставку электрической энергии топливная составляющая в результате оптимизации будет минимальной.

Средневзвешенная экономия угля при ведении режимов, рассчитываемых комплексом, составила 3 т/ч.

Личное участие диссертанта

Диссертантом лично выполнены:

1. Разработана методика оптимизации краткосрочных режимов работы ТЭС с предварительным формированием базы данных, которая содержит все возможные сочетания составов и режимов работы оборудования на тепловых электростанциях.
2. Разработана методика формирования баз данных.
3. Разработана структурная схема программного комплекса, математическая модель оптимизации краткосрочных режимов работы ТЭС и алгоритм ее реализации на современных ЭВМ.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы лично представлялись и докладывались автором на семинарах и конференциях: Всероссийской конференции по итогам конкурса молодых специалистов организаций научно-производственного комплекса ОАО РАО «ЕЭС России» в 2005 г., конференции проектных институтов, входящих в ОАО «Сибирский ЭНТЦ» («Томсктеплоэлектропроект», «Новосибирсктеплоэлектропроект», «СибВНИПИэнергопром и др.) в г. Новосибирске в 2007г., 10 международная конференция студентов и молодых учёных «Современные техники и технологии», г. Томск, 2009г., в Томском политехническом университете (2006-2009 гг.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 4 работы.

Структура и объём работы.

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов по диссертации, списка литературы и приложений. Материал изложен на 91 странице, содержит 7 таблиц, 10 рисунков, 2 приложения, 87 наименований литературы.

Содержание работы

Во введении рассматривается актуальность оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования тепловых электростанций.

В РД 153-34.0-09.115-98 «Методические указания по прогнозированию удельных расходов топлива» п.1.1.3 указано, что “...удельные расходы топлива на отпускаемую электроэнергию и тепло должны соответствовать оптимальному составу и режимам работы агрегатов...”, а в п.2.2.3 указано, что “...целесообразно применять специальные компьютерные программы при распределении электрических и тепловых нагрузок между отдельными агрегатами электростанции, чтобы минимизировать затраты тепла турбинной установкой.”

В качестве объектов исследования выбраны Новосибирская ТЭЦ-4 и Кемеровская ГРЭС.

В главе 1 приводится постановка задачи оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования ТЭС, анализ существующих методик оптимизации.

Как правило, на городских отопительно-промышленных ТЭС, имеющих электрическую N_e , отопительную Q_t и производственную Q_p нагрузки, строившихся несколькими очередями, имеется оборудование с различными начальными параметрами пара, что соответствует приведенной на рис. 1 типовой тепловой схеме ТЭС с поперечными связями. Согласно схеме часть турбин (в основном типов «ПТ», «ПТР», «Р») и котлов работают на средних параметрах пара, а часть турбин и котлов на высоких параметрах пара. Схема

главных паропроводов электростанции с поперечными связями. Связь коллектора среднего давления с коллектором высокого давления осуществляется через предвключённые турбины типа «Р» или БРОУ.

Структура ТЭС, содержащая около 10 элементов (турбины типов «ПТ», «ПТР», «Р», «Т», РОУ, РУ) дает до нескольких десятков тысяч возможных сочетаний составов и режимов работы оборудования ТЭС.

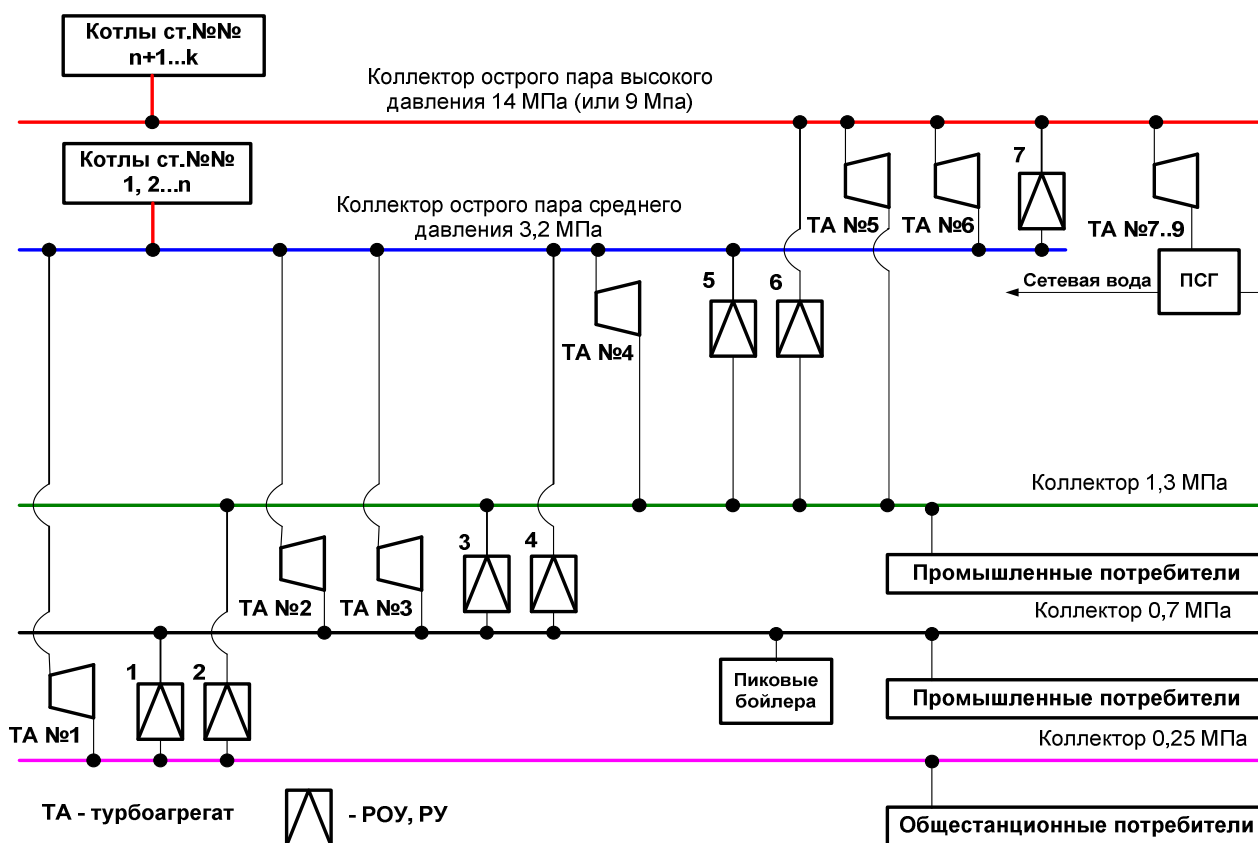


Рис. 1. Пример типовой тепловой схемы ТЭС с поперечными связями

В соответствии с приведённой тепловой схемой ТЭС (рис.1), задача оптимизации краткосрочных режимов работы включает в себя задачу оптимального распределения нагрузок (N^{ct}_e , Q^{ct}_t , Q^{ct}_p) между оборудованием турбинного цеха, входящим в те сочетания, которые удовлетворяют заданным ТЭС тепловым и электрическим нагрузкам, просчёт этих сочетаний и выбор самого экономичного сочетания режимов работы оборудования. Далее, получившиеся в ходе оптимизации для самого экономичного сочетания режимов работы оборудования турбинного цеха расходы пара в коллекторы острого пара, распределяются между котлами по критерию минимума расхода

топлива. Наряду с этим должен быть создан механизм выборки таких сочетаний из общего их количества, формирование общего количества сочетаний режимов работы и составов оборудования турбинного и котельного цехов.

Для задачи определения экономичного распределения тепловых и электрических нагрузок на ТЭС в настоящее время разработаны теоретические и практические решения, позволяющие находить оптимальное распределение нагрузок для заданных составов и режимов работы оборудования с той или иной степенью точности при соответствующей затрате времени на вычисления. Исключение составляет еще не решенная проблема выбора оптимального состава и режимов работы оборудования ТЭС из всех возможных сочетаний.

В настоящее время дано решение задачи оптимизации состава и режимов работы оборудования ТЭС с использованием метода динамического программирования. Однако использовать аппарат динамического программирования возможно лишь для малого числа турбоагрегатов при распределении не более двух видов нагрузки (при необходимости в общем случае распределить три вида нагрузки - $N^{ст}_e$, $Q^{ст}_t$, $Q^{ст}_p$). Это ограничение вызвано фактором времени, которое затрачивается на проведение оптимизационных расчётов.

При оптимизации состава и режимов работы оборудования с параллельным поиском оптимального распределения трёх видов нагрузки это время может составлять более 6 часов, что исключает оперативное (15-20 мин.) принятие решения для выбора того или иного краткосрочного режима. Как минимум треть затрачиваемого времени уходит на формирование тех сочетаний составов и режимов работы оборудования, которые удовлетворяют несению общих задаваемых для ТЭС нагрузок.

В данной работе предлагается заменить процесс формирования во время оптимизационных вычислений всех возможных сочетаний составов и режимов работы оборудования, удовлетворяющих несению общих задаваемых для ТЭС нагрузок, на процесс выборки этих сочетаний из предварительно

сформированной, единой базы данных всех сочетаний. Эта замена позволит существенно снизить затраты времени на проведение вычислений.

База данных формируется в зависимости от структуры ТЭС от 4 до 6 часов (по результатам формирования баз данных для Новосибирской ТЭЦ-4 и Кемеровской ГРЭС), что предопределяет формирование БД до оптимизационных расчетов, а не в ходе оптимизации, когда средним общим нагрузкам на ТЭС могут удовлетворять до половины возможных сочетаний режимов.

В главе 2 дано описание математической модели оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования ТЭС и структурной схемы программного комплекса.

Математическая модель оптимизации представлена целевыми функциями:

1. Функцией потребления сочетанием оборудования турбинного цеха (ТЦ) пара из коллектора острого пара:

$$G^k_0 = \Sigma(G^i), \quad (2.1)$$

где k – номер сочетания, i – номер оборудования, входящего в сочетание, G^i – расход пара на оборудование турбинного цеха, входящее в сочетание

Для турбин типа «ПТ»:

$$G^i = f(Q_t^i, Q_p^i, N_e^i) \quad (2.2)$$

Для турбин типа «Т»:

$$G^i = f(Q_t^i, N_e^i) \quad (2.3)$$

Для турбин типа «К»:

$$G^i = f(N_e^i) \quad (2.4)$$

Для РОУ, РУ:

$$G^i = f(G_{\text{вых}}^i), \quad (2.5)$$

где N_e^i , Q_t^i , Q_p^i – электрическая нагрузка турбины, нагрузка теплофикационного отбора, нагрузка промышленного отбора пара, $G_{\text{вых}}^i$ – расход пара на выходе из РОУ, РУ.

2. Функцией потребления топлива сочетанием котлов котельного цеха

(КЦ):

$$B_k^{ct} = f(\sum B^i); \quad (2.6)$$

$$B^i = f(D^i);$$

$$\sum D^i = G_{0 \min}^k \quad (2.7)$$

где B^i – расход топлива i -м котлом; D^i – паропроизводительности котлов, которые в сочетании суммарно дают нужное количество пара $G_{0 \min}^k$.

Отметим, что между котлами распределяется минимальный расход пара в коллектор острого пара - $G_{0 \min}^k$.

Модуль оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок между сочетаниями оборудования турбинного цеха осуществляет следующие процедуры:

1. Для каждого сочетания формируется своя функция потребления (расходная характеристика) из коллектора острого пара (2.1).
2. Для расходной характеристики будет производиться оптимизация распределения тепловых и электрических (при задании электрического графика работы ТЭС) нагрузок «внутри» каждого сочетания оборудования методом поиска условного оптимума с ограничениями типа равенств и неравенств (ограничения на минимумы и максимумы нагрузок, суммарный баланс тепловых и электрических нагрузок), так что:

$$G_0^k \rightarrow \min \quad (2.8)$$

3. Просчитанные сочетания ТЦ ранжируются по критерию оптимизации - выбирается сочетание с минимальным потреблением пара из коллектора острого пара - $G_{0 \min}^k$.

При распределении нагрузок Ne^{ct} , Qt^{ct} , $Q^z p^{ct}$, рассчитанных в модуле расчета тепловых схем ТЭС, для каждого сочетания проверяются балансовые уравнения ограничений по нагрузкам:

- а) допустимые диапазоны нагрузок станции для оптимизируемого сочетания:

$$Ne_{\min}^{ct} \leq Ne^{ct} \leq Ne_{\max}^{ct};$$

$$Qt_{\min}^{ct} \leq Qt^{ct} \leq Qt_{\max}^{ct};$$

$$Q^z p_{\min}^{ct} \leq Q^z p^{ct} \leq Q^z p_{\max}^{ct};$$

$$Ne^{ct}_{min} = \sum Ne^i_{min}; \quad Ne^{ct}_{max} = \sum Ne^i_{max}; \quad (2.9)$$

$$Qt^{ct}_{min} = \sum Qt^i_{min}; \quad Qt^{ct}_{max} = \sum Qt^i_{max};$$

$$Q^z p^{ct}_{min} = \sum Q^z p^i_{min}; \quad Q^z p^{ct}_{max} = \sum Q^z p^i_{max}$$

б) допустимые пределы изменения мощностей турбоагрегатов:

$$Ne^i_{min} \leq Ne^i \leq Ne^i_{max};$$

$$Qt^i_{min} \leq Qt^i \leq Qt^i_{max}; \quad (2.10)$$

$$Q^z p^i_{min} \leq Q^z p^i \leq Q^z p^i_{max}$$

в) балансы мощностей:

$$Ne^{ct} = \sum Ne^i;$$

$$Qt^{ct} = \sum Qt^i; \quad (2.11)$$

$$Q^z p^{ct} = \sum Q^z p^i,$$

где:

– Ne^{ct} , Ne^i - электрическая нагрузка станции и i -го турбоагрегата;

– Qt^{ct} , Qt^i - теплофикационная нагрузка станции и i -го турбоагрегата;

– $Q^z p^{ct}$, $Q^z p^i$ - нагрузка промышленных и общестанционных теплообменников ТЭС z -го коллектора и i -го промышленного отбора пара турбоагрегата типа «ПТР» или «ПТ». Значения z соответствуют значениям давлений пара в коллекторах потребителей – 0,6 МПа (пар на пиковые бойлеры, общестанционные подогреватели высокого давления и др.), 1,3 МПа (пар к промышленным потребителям, пар на вагоноразмораживатель и др.).

Модуль оптимального распределения расходов пара между сочетаниями котлов осуществляет следующие процедуры:

1. Для каждого сочетания котлов формируется своя функция потребления (расходная характеристика) топлива (2.6).

Уравнения ограничений для котлов:

$$D^c_{min} \leq D^c \leq D^c_{max},$$

$$D^i_{min} \leq D^i \leq D^i_{max}$$

$$D^c_{min} = \sum D^i_{min}, \quad (2.12)$$

$$D^c_{max} = \sum D^i_{max}$$

где D^c – суммарная паропроизводительность котлов, входящих в сочетание.

2. Для расходной характеристики потребления топлива будет производиться оптимизация распределения расходов пара «внутри» каждого сочетания котлов методом поиска условного оптимума с ограничениями типа равенств и неравенств, так что:

$$B_k^{ct} \rightarrow \min \quad (2.13)$$

3. Просчитанные сочетания котлов ранжируются по критерию оптимизации - выбирается сочетание с минимальным критерием. В итоге, критерием оптимальности сочетания режима работы ТЭС (включающего режимы работы турбин, РОУ, РУ и котлов) служит выражение.

$$B^{ct} \rightarrow \min \quad (2.14)$$

Структурная схема программного комплекса

На рис. 2 приведены потоки между модулями структурной схемы программного комплекса:

1. Исходные данные, вводимые инженером (расходы и температуры прямой и обратной сетевой воды по тепломагистралям, расходы пара для промышленных потребителей и коэффициенты возврата пара от потребителей, электрическая нагрузка ТЭС и др.). Эти данные поступают в модуль расчёта тепловых схем ТЭС для вычисления нагрузок на общестанционные теплообменники (подогреватели сырой и умягчённой воды, деаэраторы подпитки теплосети, котлов, подогреватели высокого давления и др.).
2. Рассчитанные нагрузки, подлежащие распределению между оборудованием ТЦ, поступают в модуль выборки сочетаний из базы данных ТЦ.
3. В базу данных приходит запрос на выборку сочетаний из БД ТЦ, удовлетворяющих рассчитанным нагрузкам.

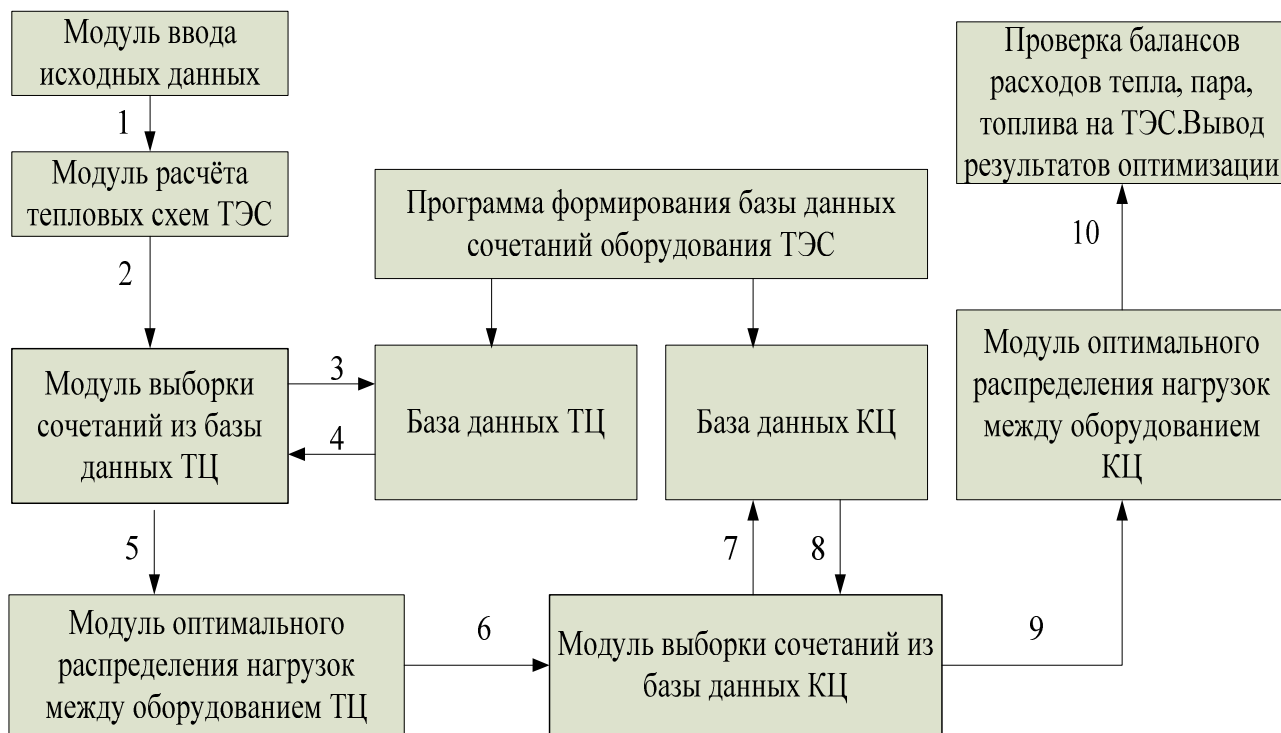


Рис. 2. Основные элементы структурной схемы программного комплекса для оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования ТЭС

4. В модуль выборки сочетаний из БД поступают коды выбранных сочетаний. Код сочетания – это цифровое указание режима работы каждой единицы оборудования турбинного цеха ТЭС – турбин, РОУ, РУ.
5. Во всех сочетаниях, поступивших из модуля выборки, осуществляется поиск оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок между оборудованием ТЦ.
6. В результате расчёта режимов работы оборудования ТЦ и выбора оптимального сочетания определяются расходы пара в коллекторы острого пара ТЭС.
7. В базу данных КЦ поступает запрос из модуля выборки сочетаний котлов.
8. В модуль выборки сочетаний котлов из БД КЦ поступают коды выбранных сочетаний котлов. Код сочетания – это цифровое указание режима работы каждого котла котельного цеха ТЭС. Для котлов выделены 2 режима – работа на задаваемом виде топлива и отключен.

9. Во всех сочетаниях, поступивших из модуля выборки котлов, осуществляется поиск оптимального распределения расходов пара между котлами, входящими в каждое сочетание по критерию минимума расхода топлива. Сочетания котлов ранжируются по критерию оптимизации - минимуму расхода топлива ТЭС. Выбирается сочетание с минимальным критерием.

10. Данные оптимизации поступают в блок проверки балансов расходов тепла, пара, топлива. Выводятся результаты расчёта программного комплекса.

В алгоритм оптимизации закладываются энергетические характеристики оборудования. Для их получения аппроксимирована нормативно-техническая документация исследуемых ТЭС – диаграммы режимов работы оборудования.

В главе 3 приведена методика формирования базы данных всех возможных сочетаний составов и режимов работы оборудования турбинного и котельного цехов ТЭС.

В соответствии с типовой тепловой схемой ТЭС с поперечными связями (рис.1) имеем 14 элементов (исключая элементы, транспортирующие пар из коллектора 9 МПа в коллектор 3,2 МПа).

Эти 14 элементов условно можно поделить на 2 группы:

1. Передаточная. Эта группа включает в себя те элементы, которые не запитаны с коллектора острого пара, а получают пар из промежуточных коллекторов. Пар с элементов передаточной группы может поступать потребителям.
2. Питающая. Эта группа включает в себя те элементы, которые запитаны с коллектора острого пара. Пар с элементов питающей группы может поступать потребителям или в элементы передаточной группы.

База данных сочетаний составов и режимов работы оборудования турбинного цеха формируется на основании формул комбинаторного исчисления с учётом следующих моментов, учитывающих структуру тепловой схемы ТЭС:

1. В любом сочетании оборудования должен быть минимум один питающий

элемент. Одного передаточного элемента в сочетании не должно быть, только в связке с элементом из питающей группы, причем выходное давление питающего элемента должно быть входным для элемента из передаточной группы.

2. С выхода питающего и (или) передаточного элемента должен быть «запитан» потребитель или общестанционный коллектор, с которого запитан потребитель (один или несколько).

Таким образом, сочетание должно содержать набор оборудования, которое потребляет пар из коллектора острого пара и отпускает какие-либо нагрузки потребителям. База данных сочетаний котлов формируется также на основании комбинаторного исчисления с разделением на группы по уровню давления острого пара.

По методике созданы базы данных Кемеровской ГРЭС и Новосибирской ТЭЦ-4, в которых сформировано 982 и 674 сочетания составов по котлам, 12042 и 8538 сочетаний составов и режимов работы по оборудованию турбинного цеха.

Каждое сочетание характеризуется определёнными параметрами, по которым происходит выборка состояний из БД:

$$\begin{aligned} Ne^c_{\min} \leq Ne^c \leq Ne^c_{\max}; \\ Qt^c_{\min} \leq Qt^c \leq Qt^c_{\max}; \\ Q^z p^c_{\min} \leq Q^z p^c \leq Q^z p^c_{\max}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где $Ne^{ct} = Ne^c$, $Qt^{ct} = Qt^c$, $Qp^{ct} = Qp^c$ – общие нагрузки ТЭС, подлежащие распределению между оборудованием сочетаний.

Минимальные и максимальные диапазоны сочетаний определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} Ne^c_{\min} = \sum Ne^i_{\min}; \quad Ne^c_{\max} = \sum Ne^i_{\max}; \\ Qt^c_{\min} = \sum Qt^i_{\min}; \quad Qt^c_{\max} = \sum Qt^i_{\max}; \\ Q^z p^c_{\min} = \sum Q^z p^i_{\min}; \quad Q^z p^c_{\max} = \sum Q^z p^i_{\max}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

Уравнения ограничений для котлов:

$$D^c_{\min} \leq D^c \leq D^c_{\max}, \quad (3.3)$$

$$D_{\min}^c = \sum D_{\min}^i; \quad D_{\max}^c = \sum D_{\max}^i, \quad (3.4)$$

где D_{\min}^i , D_{\max}^i – минимум и максимум паропроизводительности котла при работе на заданном виде топлива в режиме работы, входящим в сочетание.

Глава 4 содержит требования к методам оптимизации и краткое описание численных методов поиска условных экстремумов для решения задачи оптимального распределения нагрузок на ТЭЦ.

Отыскание оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок в каждом сочетании режимов работы оборудования турбинного (2.1) и котельного цехов (2.6) при наличии ограничений в виде уравнений неравенств (2.10), (2.12) и равенств – уравнений балансов (2.11), (2.7) представляется весьма сложной задачей и требует значительных ресурсов памяти вычислительной техники и ее быстродействия.

Время счёта для решения задачи оптимизации с учетом краткосрочности режимов должно составлять не более 30 мин. (график генерации станции содержит значения выработки электрической энергии за каждый получасовой отрезок согласно «Положению о диспетчерском графике»), а с учётом времени, затрачиваемого на ввод исходных данных, расчёт тепловых схем, запрос к базам данных и обработки информации из них, анализ оператором результатов оптимизации, то время, отводимое непосредственно для поиска оптимального распределения нагрузок в сочетаниях оборудования турбинного и котельного цехов, должно составлять не более 20 мин.

В результате сопоставления методов по условию точности и времени счёта выбран метод оптимизации Хука-Дживса. Метод представляет собой комбинацию исследующего поиска с циклическим изменением переменных и ускоряющего поиска по образцу

Глава 5 содержит краткое описание одного объекта исследования - типовой ТЭС с поперечными связями на примере Кемеровской ГРЭС.

Для принципиальных тепловых схем ГРЭС (подпитки теплосети, котлов, отпуска сетевой воды и т.д.) составлены математические модели. Для расчёта

нагрузок подлежащих распределению между оборудованием турбинного цеха необходимо определить нагрузки на коллекторы и отдельные теплообменники ГРЭС. При расчёте математических моделей (в модуле расчета тепловых схем ТЭС) определяются расходы пара не общестанционные теплообменники (подогреватели хим.очищенной воды, подогреватели сырой умягченной воды, подогреватели сырой воды, деаэраторы подпитки теплосети и котлов, пиковые бойлера, подогреватели высокого давления и др.). Также рассчитываются величины собственных электрических нужд механизмов этих схем.

В главе 6 описана работа и вид окон программного комплекса по расчёту и выбору режимов работы оборудования тепловых электростанций.

Для Кемеровской ГРЭС и Новосибирской ТЭЦ-4 был разработан программный комплекс для оптимизации краткосрочных режимов основного оборудования (котлы, турбины, РОУ) и распределением между ними электрических и тепловых нагрузок.

Для этого выполнены следующие работы:

1. Аппроксимация энергетических характеристик турбин и котлов.
2. Создание математических моделей расчёта тепловых схем ТЭС.
3. Формирование баз данных оборудования ТЭС.
4. Создание модулей выборки сочетаний оборудования из баз данных.
5. Создание модуля оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок между оборудованием ТЦ и распределения расходов пара между котлами.
6. Реализация модуля ввода исходных данных (рис. 3) и вывода результатов оптимизации.

Выводятся следующие данные (рис. 4):

1. режим работы турбин (конденсационный, теплофикационный, отключена и др.), значения нагрузок – Ne^i , Qt^i , Qp^i ; расход свежего пара G_0^i ;
2. давление в теплофикационных отборах турбин $P_{\text{отбора}}$;
3. расходы сетевой воды через турбины, температуры за сетевыми подогревателями турбин;

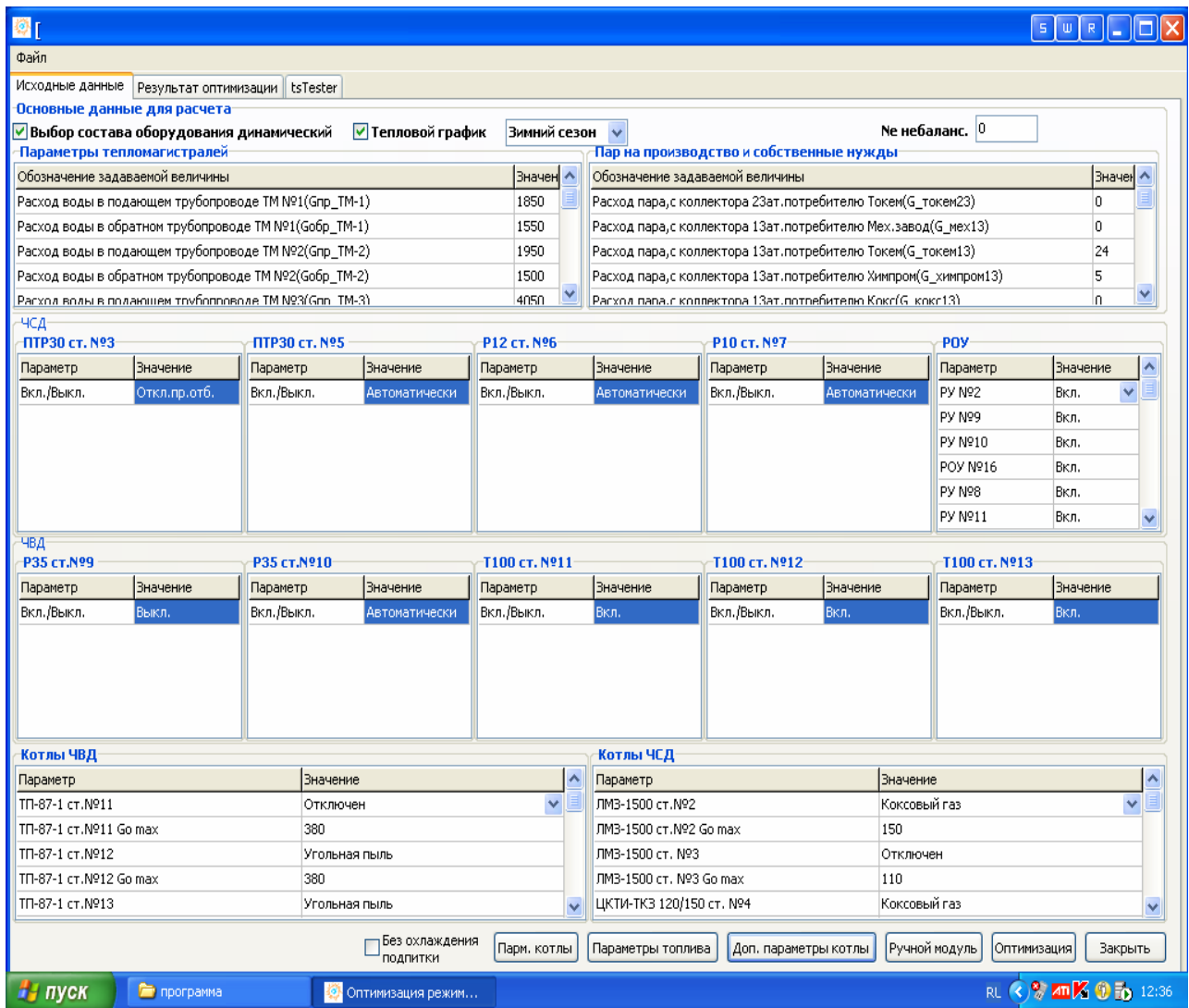


Рис. 3. Окно программы для ввода исходных данных

4. нагрузки по пару РОУ, РУ и расход охлаждающей воды на РОУ;
5. режимы работы котлов; паропроизводительность D_0 и расход топлива B_0 , теплопроизводительность $Q_{бр}$, КПД котлов;
6. расход пара в каждый коллектор;
7. расходы пара на общестанционные теплообменники ТЭС;
8. величины собственных электрических и тепловых нужд;
9. выработка и отпуск электроэнергии;
10. общее число рассчитанных сочетаний оборудования по ТЦ и КЦ;
11. суммарный расход топлива ТЭС для оптимального сочетания - $B^{ст}$.

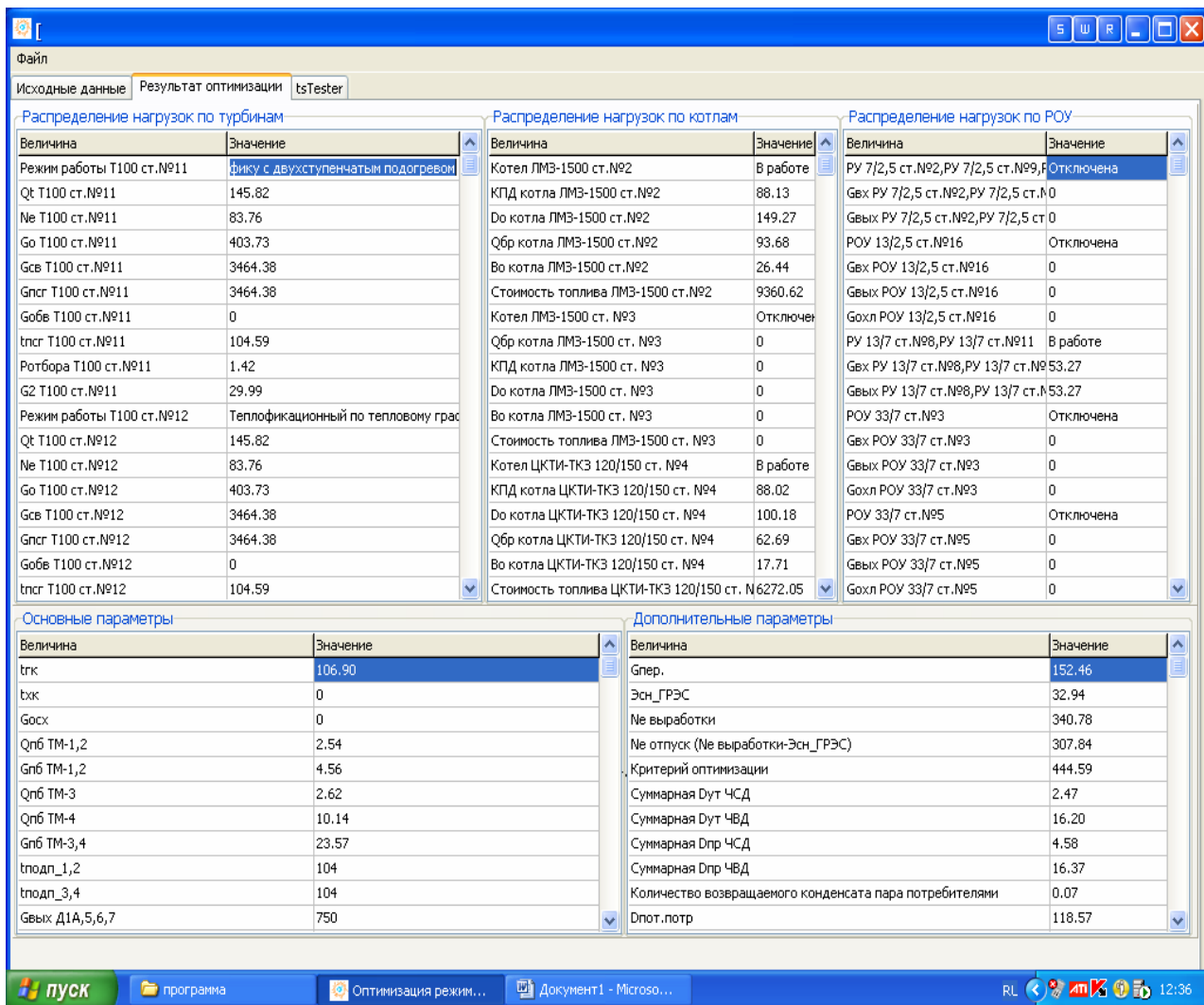


Рис. 4. Окно «Результат оптимизации» программы

Модуль произвольного задания состава и режимов работ оборудования

На рис. 5 приведена структурная схема программного комплекса при работе с модулем произвольного задания по аналогии со структурой, изображённой на рис. 2.

При использовании модуля произвольного задания состава и режимов работы оборудования осуществляются следующие операции:

1. Ввод исходных данных. Введённые исходные данные поступают так же, как и при работе модуля оптимизации, в модуль расчёта тепловых схем ТЭС, в котором вычисляются нагрузки, подлежащие распределению между оборудованием турбинного цеха - $Ne^{ст}$, $Qt^{ст}$, $Q_p^{ст}$.

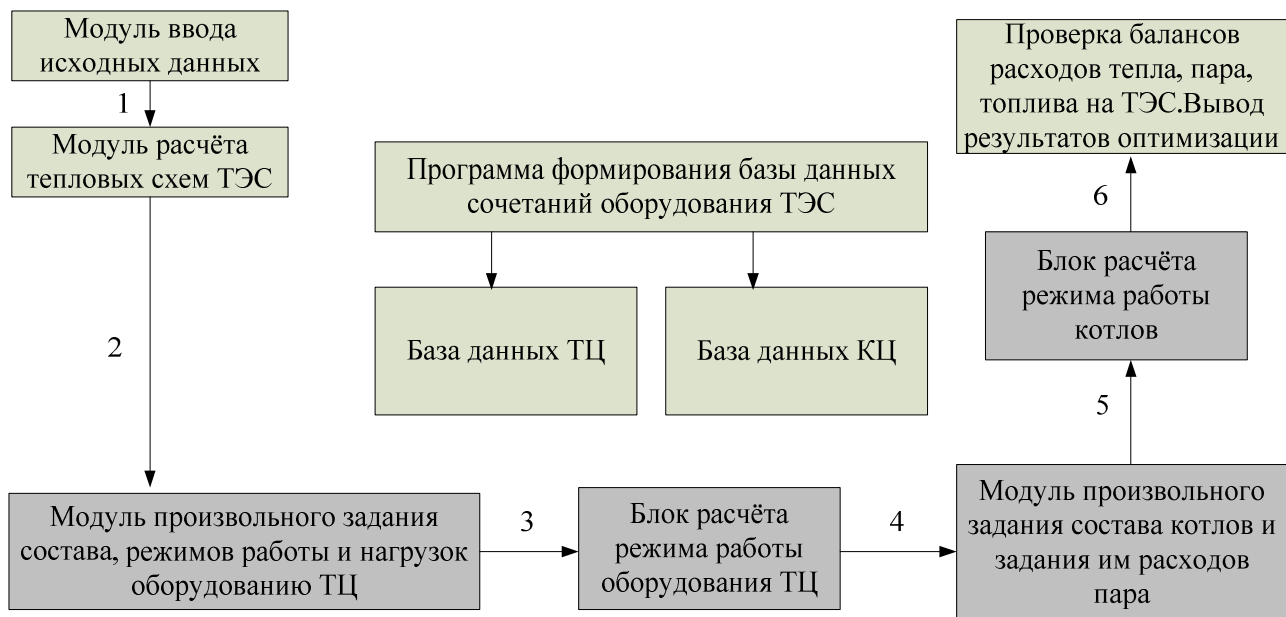


Рис. 5. Структурная схема программного комплекса при работе с модулем произвольного задания

2. Нагрузки $N_e^{ст}$, $Q_t^{ст}$, $Q_p^{ст}$ направляются не в модуль оптимального распределения нагрузок между оборудованием ТЭС, а в модуль их задания «вручную», то есть произвольного задания, главное, чтобы соблюдались уравнения балансов (2.11) и ограничений (2.10).
3. По задаваемым оборудованию ТЭС нагрузкам N_e^i , Q_t^i , Q_p^i , $G_{вых}^i$ в блоке расчёта вычисляются по энергетическим характеристикам расходы пара G^i на турбины, РОУ и РУ. Определяется расход в коллектор острого пара G_0^k .
4. Значение G_0^k направляется не в модуль оптимального распределения нагрузок между котлами, а в модуль их задания «вручную» с условием соблюдения уравнения балансов (2.7) и ограничений (2.12).
5. По заданным расходам пара D^i выбранному составу котлов в блоке расчёта режимов работы котлов вычисляются по энергетическим характеристикам котлов расходы топлива V^i на котлы. Определяется расход топлива на ТЭС - $V^{ст}$.
6. Выводятся результаты расчёта программного комплекса.

Таким образом, используя модуль произвольного задания, можно сопоставить результаты расчётов:

1. V^{CT} из блока оптимизации.
2. V^{CT} из модуля произвольного задания.

и оценить эффективность применения программного комплекса.

Определение эффективности оптимизации

На Кемеровской ГРЭС были проанализированы результаты расчётов режимов работы станции с использованием программы оптимизации с задаваемыми режимами. Для этого из оперативных ведомостей работы ГРЭС за сутки января-мая 2008г. снимались и задавались в программу исходные данные, и далее просчитывался режим работы станции по модулю оптимизации и по модулю произвольного задания. В модуль произвольного задания заносились $N_{e,i}^i$, $Q_{t,i}^i$, $Q_{p,i}^i$, $G_{\text{ВЫХ},i}^i$, D^i из суточной оперативной ведомости. При одинаковом отпуске тепла и электроэнергии от ГРЭС сравнивали результаты расчётов. Данные сравнения приведены на рис. 6. Разница в расходах топлива вызвана разным выбором режимов работы турбин, иным распределением тепловых и электрических нагрузок между оборудованием турбинного цеха, разными значениями D^i котлов.

Подчеркнём, что в модуле оптимизации и модуле произвольного задания расходы пара и топлива на турбины и котлы вычисляются по одним и тем же заложенным в программе энергетическим характеристикам, поэтому сравнение результатов правомерно.

Средневзвешенная экономия угля при оптимизации режима работы оборудования станции по программному комплексу составила $\Delta V^{CT}=3$ т/ч.

$$\Delta V^{CT}=V_{\text{опт}}^{CT} - V_{\text{мод}}^{CT} \quad (7.1)$$

где $V_{\text{опт}}^{CT}$ - значение расхода топлива ГРЭС из блока оптимизации; $V_{\text{мод}}^{CT}$ - значение из модуля произвольного задания.

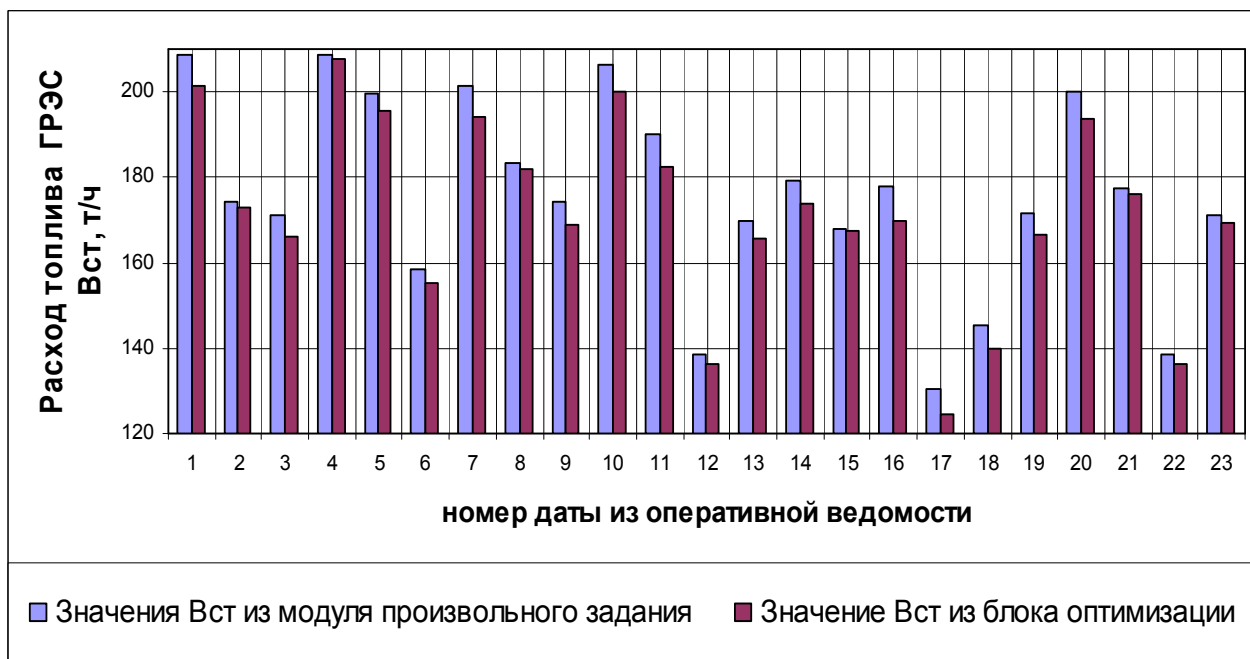


Рис. 6. Результаты расчётов режимов работы Кемеровской ГРЭС

Расчёты режимов работы оборудования ГРЭС, произведённые в программном комплексе как с использованием модуля оптимизации, так и с использованием модуля произвольного задания, достаточно точно отражают реальные процессы производства тепловой и электрической энергии (судя по оперативным ведомостям и расходу топлива по ним), что говорит о достаточной точности математической модели расчёта тепловых схем ТЭС и сведения пароводяных и электрических балансов. Так, расходы топлива по оперативным ведомостям и по модулю произвольного задания отличаются между собой в среднем на 0,4%.

В главе 7 рассматривается получение на основе расчётов программного комплекса характеристик относительных приростов (ХОП) расхода условного топлива на отпуск электроэнергии. Для теплофикационных турбоустановок ХОП представляется в сложном виде, так как она зависит от нагрузок тепловых нагрузок отборов, поэтому получить для ТЭС в целом представительную ХОП в табличном, графическом, и, тем более, аналитическом виде, практически невозможно. Характеристики расхода топлива от мощности при разных тепловых нагрузках, полученные для Кемеровской ГРЭС имеют различный наклон линий при разных тепловых нагрузках в одном диапазоне мощностей.

Возможность при работе с программным комплексом оперативного получения ХОП в конечных разностях для любого значения прироста мощности для ТЭС на любой оперативный период позволяет инженерам электростанции принимать обоснованное решение об участии ТЭС в регулировании мощности системы и подавать ценовое предложение на поставку электроэнергии Администратору торговой системы на рынке электроэнергии в котором топливная составляющая будет минимальной.

Основные выводы и результаты по диссертации

1. Показана актуальность оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования тепловых электростанций в существующих конкурентных условиях рынка.
2. Разработана методика оптимизации краткосрочных режимов работы оборудования ТЭС, в которой впервые предложено создание базы данных сочетаний всех возможных составов и режимов работы ТЭС, формируемой до оптимизационных вычислений. Методика позволяет оперативно проводить выбор лучшего сочетания состава и режимов работы оборудования из всех возможных сочетаний. Создана методика формирования БД. Создание БД позволило значительно сократить время оптимизационных вычислений.
3. По разработанной методике создан программный комплекс по расчету тепловой схемы ТЭС с **решением задачи оптимизации состава, режимов и нагрузок между основным оборудованием.**
4. С помощью созданного в рамках программного комплекса модуля произвольного задания состава и режимов работы оборудования можно сравнивать результаты оптимизации с результатами расчётов, полученными в модуле произвольного задания. Такое сравнение для Кемеровской ГРЭС показало, что средневзвешенная экономия угля при оптимизации режимов работы оборудования составила 3 т/ч.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих
работах:**

1. Иванов Н.С., Беспалов В.И., Лопатин Н.С. Математическая модель оптимизации краткосрочных режимов работы ТЭЦ в условиях конкурентного рынка // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 4. – С. 37–40.
2. Иванов Н.С., Беспалов В.И., Лопатин Н.С. Программный комплекс для оптимизации режимов работы тепловых электростанций и эффективность его применения// Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 4. – С. 40-44.
3. Иванов Н.С. Теоретические и практические предпосылки создания программного обеспечения для оптимизации распределения нагрузок на ТЭЦ //Материалы Всероссийской конференции по итогам конкурса молодых специалистов организаций НПК ОАО РАО «ЕЭС России», г. Москва, 2005. С. 88-103.
4. Иванов Н.С., Беспалов В.И., Лопатин Н.С. Оптимизация режимов работы оборудования тепловых электростанций // Материалы 10 международной конференции «Современные техники и технологии», г. Томск, 2009. С. 41-44.