

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВЕДЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

БОРИСОВ А.А., асп.

**Сформулирована задача оптимального планирования режимов работы оборудования теплоэлектростанций при участии в торгах на оптовом рынке электроэнергии и мощности. Приведено описание функциональных возможностей и алгоритма программного комплекса «ТЭС-Эксперт» для оптимального ведения режима работы электростанции.**

*Ключевые слова:* тепловая электрическая станция, режим работы оборудования, турбоагрегат, котел, программный комплекс, оптимизация, экономия топлива.

## BUNDLED SOFTWARE FOR OPERATING REGIME'S OPTIMUM RUNNING OF A HEATING PLANT

A.A. BORISOV, Post Graduate Student,

**The task for operating regime's optimum running of a heating plant equipment participating in auctions at the electrical energy and power wholesale market are formulated. Functional capabilities' description and bundled software's algorithm of «TPS-expert» for operating regime's optimum running of a heating plant are shown.**

*Keywords:* heat power station, operating running regime, turboset, steam-boiler, bundled software, optimization, fuel economy.

Выбор правильной стратегии поведения электростанции при участии в торгах на оптовом рынке электроэнергии и мощности является одной из приоритетных задач функционирования генерирующих компаний в современных условиях. Эффективность этой стратегии во многом определяется выбором наиболее оптимальных показателей режимов работы оборудования электростанции. В большинстве случаев прогнозирование таких режимов осуществляется на основе отчетных данных о работе электростанции в прошедшем периоде. Совершенно ясно, что такой подход будет успешным, если режимы работы оборудования в прошедшем периоде поддерживались оптимальными.

Эффективность работы электростанции определяется многими факторами: составом работающего оборудования, тепловыми нагрузками регулируемых отборов пара и электрической мощности отдельных агрегатов, нагрузками котельного оборудования, нагрузками потребителей собственных нужд, параметрами работы теплосетевого оборудования, параметрами окружающей среды, качеством топлива и многими другими. Таким образом, математическая модель электростанции является многопараметрической. Оптимизация такой системы требует проведения большого объема вычислительных операций. Сокращение этого объема возможно при исключении из рассмотрения ряда влияющих факторов, что приводит к ухудшению прогностических возможностей модели.

Для проведения такого рода расчетов необходимы специальные компьютерные программы. Рассмотрим основные функциональные возможности разрабатываемого нами про-

граммного комплекса «ТЭС-Эксперт» применительно к Владимирской ТЭЦ-2 ОАО «ТГК-6».

Алгоритм прогнозирования режима работы электростанции (рис. 1) обеспечивает поиск значений показателей работы оборудования, характеризующих оптимальные условия функционирования электростанции. Ниже приведено описание основных этапов расчета.

*Блок 1.* Производится распределение суммарной тепловой нагрузки теплофикационных отборов между отдельными турбоагрегатами. Общая тепловая нагрузка складывается из нагрузок внешних потребителей с горячей водой, расхода тепла на собственные и производственно-хозяйственные нужды. Эта нагрузка может быть обеспечена регулируемыми теплофикационными отборами турбин, а также пиковыми водогрейными котлами (ПВК) или редукционно-охладительными установками (РОУ). Тепловая нагрузка с горячей водой может быть обеспечена за счет отпуска тепла от основных и пиковых подогревателей сетевой воды, ПВК.

*Блок 2.* Выполняется распределение суммарной тепловой нагрузки с паром давлением 10–18 ата между источниками тепла: производственными отборами турбоагрегатов и РОУ острого пара. Суммарная нагрузка включает отпуск пара внешним потребителям, расход пара на пиковые подогреватели сетевой воды и на собственные нужды. Производится определение диапазонов возможных значений электрической нагрузки турбоагрегатов.

*Блок 3.* Определяются оптимальные значения параметров режима работы теплофикационных установок: расходов сетевой воды через подогреватели, давления пара теплофикационных отборов турбоагрегатов. Критерием оптимизации расходов сетевой воды

через подогреватели является минимальное давление пара в камерах теплофикационных отборов турбин. Задача оптимизации режима работы теплофикационных установок решена нами ранее [1].

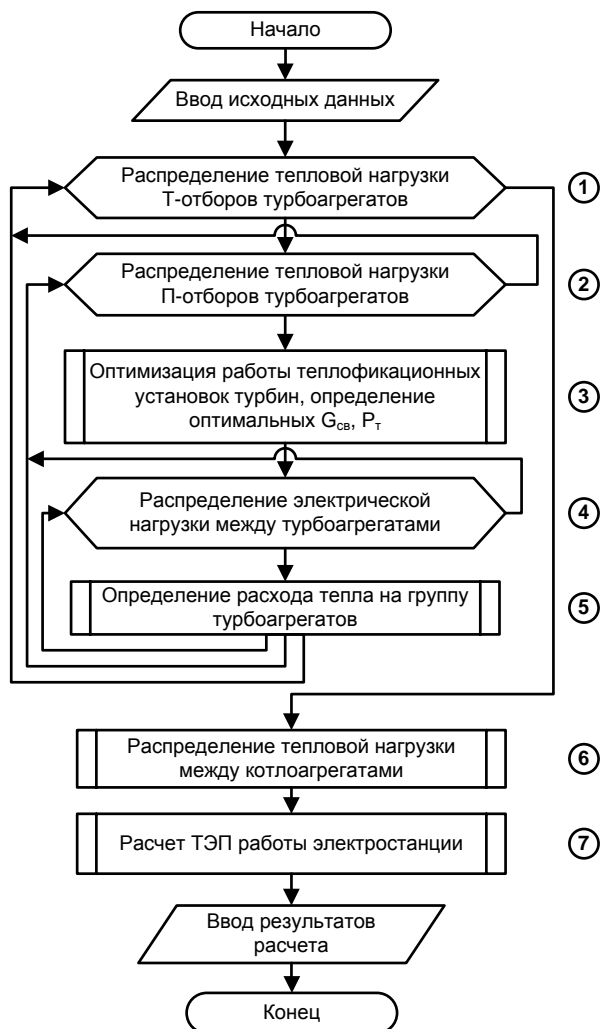


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программного комплекса «ТЭС-Эксперт»

**Блок 4.** Вычисляются оптимальные значения электрической нагрузки турбоагрегатов. Распределение нагрузок производится методом относительных приростов. При распределении нагрузок учитывается влияние внешних факторов на экономичность работы отдельных турбоагрегатов: параметров острого пара, показателей работы конденсаторов, давлений в регулируемых отборах пара и др.

**Блок 5.** Осуществляется окончательный выбор варианта распределения нагрузок между турбоагрегатами. В качестве критерия оптимизации используется минимум расхода тепловой энергии с острым паром на группу турбоагрегатов при обеспечении заданных значений отпуска электроэнергии в сеть и тепловой энергии с коллекторов ТЭС. Производится расчет суммарной тепловой нагрузки энергетических котлов.

**Блок 6.** Производится поиск оптимального режима работы группы энергетических котлов при обеспечении ими суммарной расчетной теплопроизводительности. Оптимизация производится методом относительных приростов. Критерием оптимизации является минимум топливных издержек в денежном выражении (с учетом стоимости лимитного и сверхлимитного газа, мазута и т.п.).

**Блок 7.** Выполняются расчеты технико-экономических показателей работы оборудования электростанции. Алгоритм расчета соответствует утвержденной для электростанции нормативно-технической документации по топливоиспользованию.

Основой математической модели электростанции являются энергетические характеристики оборудования, входящие в состав нормативно-технической документации по топливоиспользованию. Поскольку эти характеристики представляются в виде графических зависимостей, на этапе разработки программного комплекса для конкретной электростанции производится их оцифровка. Для этого используется специальный программный модуль, обеспечивающий преобразование графических зависимостей в математические функции. На этом этапе могут быть использованы различные методы аппроксимации: метод наименьших квадратов, Гаусса-аппроксимация, полиномиальная интерполяция, рациональная интерполяция, интерполяция сплайнами (рис. 2).

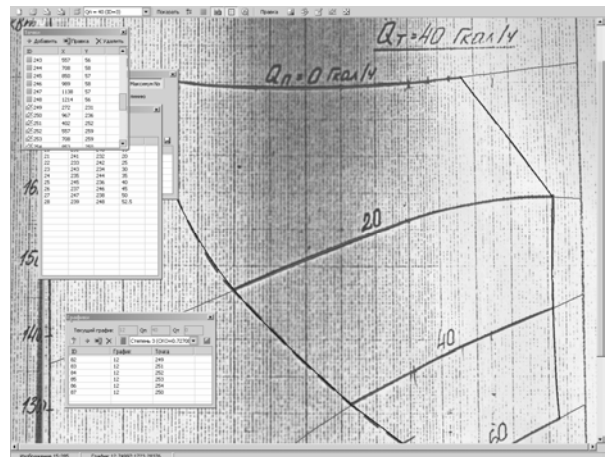


Рис. 2. Экранная форма программного модуля для аппроксимации энергетических характеристик

Программный комплекс разработан в среде Borland Code Gear RAD Studio для платформы Microsoft Windows, интегрирован с офисными приложениями Microsoft Office и системой управления базами данных Microsoft SQL Server. Интерфейс программного комплекса создан при участии специалистов ТЭС и максимально адаптирован к условиям работы производственных подразделений электростанции (рис. 3).

Наименование показателя, единицы измерения	Значение					
	T2	T3	T4	T5	T6	по группе
Оперативное состояние	В резерве	В работе	В работе	В работе	В работе	
Режим работы		T2	T2	ПТ2	ПТ2	
<b>Нагрузка турбоагрегата</b>						
Выработка электроэнергии, тыс. кВтч		2228.8	2093.9	1920	1917.3	8160
Отпуск тепла из производственного отбора, Гкал				1440	1440	2880
Отпуск тепла из теплофикационного отбора, Гкал		3360	3360	2400	2400	11520
Мощность турбоагрегата, МВт		92.9	87.2	80	79.9	340
Тепловая негарузка производственного отбора, Гкал/ч				60	60	120
Тепловая негарузка теплофикационного отбора, Гкал/ч		140	140	100	100	480
Давление в камере производственного отбора, кгс/см <sup>2</sup>				13	13	
Давление в камере теплофикационного отбора, кгс/см <sup>2</sup>		1	1.5	2	2	
Давление пара в конденсаторе, ата		0.04	0.04	0.05	0.05	
Расход острого пара, т/ч		448	449.2	408.3	407.9	1713.5
Расход пара в конденсатор, т/ч		74.5	75.3	5.1	4.8	
Расход сетевой воды через подогреватель, т/ч		4000	3300	2065.1	2021.1	11386.2
Температура сетевой воды перед сетевым подогревателем, °С		59.3	59.3	59.3	59.3	
Температура сетевой воды после сетевого подогревателя, °С		94.3	101.8	107.8	108.8	
<b>Удельный расход тепла brutto на выработку электроэнергии, ккал/кВт ч</b>						
Исходно-номинальное значение		1313.1	1405.6	1117.5	1122.9	
Поправка на отклонение давления пара в Т-отборе						
Поправка на отклонение давления пара в П-отборе				0	0	
Поправка на отклонение давления пара в конденсаторе		0	0	0	0	

Рис. 3. Пример экранной формы программного комплекса «ТЭС-Эксперт»

В настоящее время программный комплекс внедрен на Владимирской ТЭЦ-2 ОАО «ТГК-6», некоторые модули комплекса используются на Киришской ГРЭС ОАО «ОГК-6». Применительно к Владимирской ТЭЦ-2 программный комплекс позволяет решать следующие задачи.

1. Перспективное планирование показателей функционирования ТЭЦ на предстоящий период:

- определение оптимального состава и показателей режима работы оборудования ТЭЦ при заданных тепловых и электрических нагрузках;

- определение минимальной и максимальной мощности ТЭЦ при заданном уровне тепловых нагрузок;

- прогнозирование технико-экономических показателей работы электростанции.

2. Оперативное ведение режима работы электростанции:

- определение оптимального состава и показателей режима работы оборудования ТЭЦ при заданных тепловых и электрических нагрузках с учетом исходного оперативного состояния оборудования;

- расчет топливной составляющей себестоимости и характеристики относительных приростов себестоимости электроэнергии;

- прогнозирование технико-экономических показателей работы электростанции.

3. Автоматизированный расчет технико-экономических показателей работы ТЭЦ:

- расчет номинальных и нормативных удельных расходов топлива в соответствии с утвержденной нормативно-технической документацией по топливоиспользованию;

- расчет фактических удельных расходов топлива.

Особое внимание следует уделить задаче оперативного ведения режима работы ТЭЦ. Эта задача напрямую связана с выбором стратегии поведения электростанции при участии в торгах на оптовом рынке электроэнергии и мощности. В настоящее время в соответствии с Регламентами нового оптового рынка электроэнергии и мощности (НОРЭМ) генерирующие компании формируют трехуровневые заявки. Для каждого уровня необходимо указать уровень планируемой электрической мощности и цену за 1 МВт·ч, соответствующую этой мощности. В результате торгов на НОРЭМ может выиграть одна, две либо три ступени заявки. В таких условиях необходимо достаточно точно

и оперативно определять топливную составляющую себестоимости электроэнергии при разных уровнях электрической нагрузки ТЭЦ.

Расчеты такого рода на каждый час планируемых суток требуют определения оптимальных значений мощности: нормативной (при обеспечении планируемой тепловой нагрузки с паром и горячей водой и минимальном пропуске пара в конденсаторы турбин); мощности, соответствующей переходу с одного вида топлива на другое (лимитный и сверхлимитный газ, мазут и т.п.); максимальной мощности ТЭЦ. При этом учитывается исходный состав работающего оборудования и текущие нагрузки каждого агрегата.

Наиболее сложным является планирование затрат тепла и электроэнергии на собственные нужды для каждого режима работы ТЭЦ. Мы используем следующий подход. По результатам работы ТЭЦ в прошедшем периоде со сходным составом и режимом работы оборудования определяются коэффициенты соотношения номинальных и фактических затрат тепла и электроэнергии на собственные нужды. Далее для каждого планируемого режима работы ТЭЦ по утвержденной нормативно-технической документации по топливоиспользованию рассчитываются номинальные значения нагрузок потребителей собственных нужд, а затем с учетом рассчитанных ранее коэффициентов определяются планируемые значения этих нагрузок.

В заключение рассмотрим потенциальные возможности использования оптимизационных программных комплексов. Расчет технико-экономических показателей для одной из

ТЭЦ Северо-Западного региона России (рис. 4) показывает, что даже без изменения состава работающих агрегатов (при оптимизации только распределения тепловых и электрических нагрузок между отдельными агрегатами) существует возможность реализации существенного резерва тепловой экономичности. Внедрение новых способов оптимизации состава работающего оборудования вместе с оптимальным распределением нагрузок между отдельными агрегатами позволяет при сохранении отпуска тепловой и электрической энергии экономить до 30 тыс. т у.т./год (в данном примере).

Расчетные данные (рис. 4) свидетельствуют, что максимальный эффект может быть достигнут в летний период, то есть при минимальном отпуске тепловой энергии с паром и горячей водой.

### Заключение

Сформулирована задача оптимального планирования режимов работы оборудования теплоэлектроцентралей при участии в торгах на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Разработанный программный комплекс «ТЭС-Эксперт» для оптимального ведения режима работы электростанции обеспечивает определение оптимального состава и показателей режима работы оборудования ТЭЦ при перспективном долгосрочном планировании показателей функционирования ТЭЦ на предстоящий период, а также при оперативном ведении режима работы электростанции.

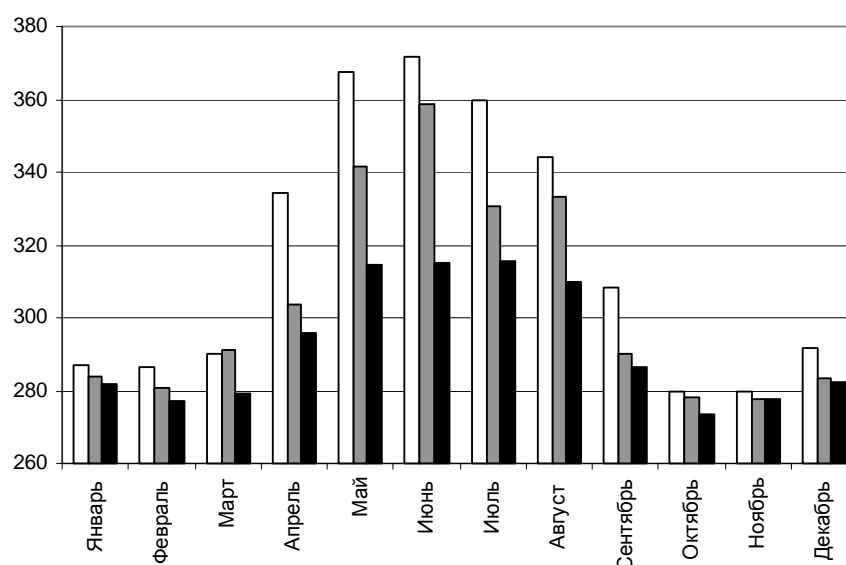


Рис. 4. Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии  $b_3$  (г у.т./кВт·ч): □ – при распределении нагрузок, выполненном персоналом ТЭЦ; ■ – при распределении нагрузок, выполненном с использованием ПК «ТЭС-Эксперт» (оптимальный режим работы оборудования при выбранном специалистами ТЭЦ составе работающего оборудования); ■ – при распределении нагрузок, выполненном с использованием ПК «ТЭС-Эксперт» (оптимальный режим и состав работающего оборудования).

При разработке ПК «ТЭС-Эксперт» решена задача совместной оптимизации режима работы турбоагрегатов и теплофикационных установок ТЭЦ.

Предложенный метод расчета планируемых значений тепловых и электрических нагрузок потребителей собственных нужд обеспечивает максимальную точность прогно-

зирования уровней топливной составляющей себестоимости электроэнергии.

#### Список литературы

1. Оптимизация многоступенчатых теплофикационных установок / А.А. Борисов, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский и др. // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 2. – С. 38 – 41.

Борисов Антон Александрович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант кафедры прикладной математики,  
телефон (4932) 26-97-45.