

05.13.06
Б405

На правах рукописи



Безруков Дмитрий Александрович

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИХ
ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2006

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Казаринов Лев Сергеевич.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Сарваров Анвар Сабулханович;
кандидат технических наук Самсонов Павел Леонидович.

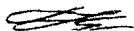
Ведущая организация – ОАО «Уралэнергочермет», г. Екатеринбург.

Защита состоится 17 мая 2006г., в 16 часов, на заседании
диссертационного совета Д 212.298.03 при Южно-Уральском
государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.
Ленина, 76, ауд.1001/главный корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского
государственного университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2006г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.М. Коровин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

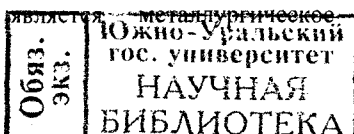
Повышение эффективности систем энергообеспечения производства является важной хозяйственной задачей для экономики России. В настоящее время энергоёмкость промышленного производства в РФ значительно превышает соответствующие показатели развитых стран, что снижает конкурентоспособность российских товаров на внутреннем и внешнем рынках. Поэтому одним из основных направлений в государственной политике РФ является развитие работ по энергосбережению во всех сферах хозяйства.

Особую актуальность работы по энергосбережению имеют для металлургической промышленности. Металлургическое производство является весьма энергоёмким и, как правило, представляет собой комплекс, состоящий из собственно металлургического производства и обеспечивающих энергетических систем. Эффективность энергетических систем в составе энерго-металлургических производственных комплексов существенно влияет на эффективность металлургического производства в целом. В этих условиях важное значение имеет управление энергетическими процессами и процессами энергосбережения на металлургических предприятиях.

Глубокие исследования данного вопроса содержатся в работах член-корреспондента АЭН РФ, д.т.н. Никифорова Г.В., к.т.н., проф. Олейникова В.К., цикл работ указанных авторов в сфере энергосбережения и управления энергопотреблением в металлургическом производстве был удостоен в 2003 году премии Правительства РФ в области науки и техники. Существенный вклад в развитии работ по данному направлению внесли: д.т.н., проф. Кудрин Б.И., д.т.н., проф. Казаринов Л.С., к.т.н., проф. Заславец Б.И., Дегтярёв В.В., Лоскутов А.Б., Праховник А.В., Розен В.П., Хайд Д., Чоджой М.Х., Башмаков Н.А., Закиров Д.Г. и др.

Управление энергетическими процессами в металлургическом производстве осуществляется на основе автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления являются многоуровневыми распределёнными системами, собирающие значительные объёмы информации об энергетических процессах в металлургическом производстве. Они призваны осуществлять управление как на уровне оперативно-диспетчерского управления, так и на уровнях оптимизации технологических процессов и технико-экономического планирования.

В настоящее время уровень оперативно-диспетчерского управления энергетическими процессами достаточно хорошо разработан. Однако уровень оптимизации технологических процессов, несмотря на множество теоретических работ в данном направлении, еще не получил должной практической реализации. Дело в том, что при эксплуатации сложных технологических производств, каковым является металлургическое



производство, решение комбинаторных задач оптимизации на основе перебора вариантов сложно реализуется, при этом на первое место выходят вопросы идентификации и оптимального нормирования производственных характеристик технологического оборудования. Подобные задачи целесообразно решать с использованием интеллектуального анализа данных эксплуатации. В настоящее время методы интеллектуального анализа данных широко рекомендуются к использованию в системах управления качеством в металлургическом производстве. Здесь необходимо отметить работы Чертова А.Д., Паршина В.Н. и др. Однако применительно к задаче энергосбережения такой подход не достаточно изучен, что определяет актуальность выбранной темы исследования.

Объектом исследования являются АСУ энергетическими процессами в энерго-металлургических производственных комплексах, включающих собственно металлургическое производство и энергетические системы.

Предметом исследования являются методы идентификации эффективных производственных характеристик энергетических систем на основе интеллектуального анализа данных их эксплуатации и решение на данной основе задач оптимизации параметров режимов энергетических систем.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности автоматизированного управления энергетическими системами энерго-металлургических производственных комплексов с использованием оптимизации параметров их режимов, основанной на идентификации эффективных производственных характеристик методами интеллектуального анализа данных эксплуатации.

В работе решены следующие задачи:

1. Проведен анализ методов повышения эффективности управления энергетическими процессами на основе идентификации по данным эксплуатации их текущих производственных характеристик в рамках АСУ ТП.
2. Разработаны методики идентификации эффективных производственных характеристик энергетических систем по данным эксплуатации.
3. Разработано программное обеспечение для задачи идентификации эффективных производственных характеристик энергетических систем в рамках АСУ ТП.
4. Разработаны методики оптимизации параметров режимов энергетических систем с использованием эффективных производственных характеристик.

5. Экспериментально подтверждены результаты работ путем внедрения на ОАО “ММК” разработанного методического, программного и организационно-технологического обеспечения автоматизированного управления энергосистемами на основе идентификации их эффективных производственных характеристик.

Методология и методика исследования

Для решения поставленных задач в диссертационной работе применены методы идентификации характеристик технологических систем, методы обработки информации в АСУ ТП в реальном времени, методы построения информационных баз данных.

Проверка изложенных в работе методов проводилась с использованием компьютерного моделирования и экспериментально.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Предложен подход к оптимизации управления сложными технологическими процессами, основанный на использовании эффективных производственных характеристик.

2. Разработан метод идентификации эффективных производственных характеристик технологических систем, позволяющий оценивать текущие потенциальные возможности технологического производства по данным эксплуатации в условиях неопределенности данных.

3. Решена задача повышения эффективности управления в рамках АСУ ТП параметрами режимов энергетических систем в энерго-металлургическом производственном комплексе.

Практическая ценность:

1. Разработанный метод идентификации эффективных производственных характеристик позволяет на основе данных эксплуатации оборудования оценивать его потенциальные возможности, тем самым создает основу для нормирования рабочих характеристик, обеспечивающих повышение эффективности его функционирования.

2. Разработанное программное обеспечение позволяет в рамках АСУ ТП в реальном времени оценивать эффективность работы технологического оборудования и его потенциальные возможности, тем самым организовать управление эффективностью технологических процессов.

3. Применение разработанных методов позволяет оптимизировать параметры технологических процессов в энерго-металлургических производственных комплексах.

Реализация работы

Разработанное методическое и программное обеспечение внедрено в АСУ “Энерго” ОАО “ММК”, было использовано для оценки и нормирования энергетических характеристик электрических станций ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС и

позволило решать задачу оптимизации технологических параметров в энерго-металлургическом производственном комплексе ОАО "ММК".

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующими актами. Экономический эффект внедрения на ОАО "ММК" составил более 2 млн. рублей в месяц.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы доложены на третьей Всероссийской научно-технической конференции «Энергетики и металлурги настоящему и будущему России», г. Магнитогорск 22-23 мая 2002г., на семинарах «Современные проблемы электроснабжения и электропотребления металлургических предприятий в условиях реформирования электроэнергетики (на примере ОАО «ММК»)), г. Магнитогорск 19-21 апреля 2004г., «Энерго-ресурсосбережение, оптимизация энергопотребления и обеспечение экологической безопасности на предприятиях металлургической промышленности», г. Магнитогорск 6-7 октября 2005г., на Всероссийской научно-технической конференции «Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации», г. Магнитогорск 25-26 октября 2005г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Подход к повышению эффективности управления технологическими процессами в рамках АСУ ТП на основе идентификации эффективных производственных характеристик технологических объектов.
2. Метод и алгоритм идентификации эффективных производственных характеристик по данным эксплуатации при неопределенности исходных данных.
3. Постановка и решение задач оптимизации режимных параметров энергетических процессов в энерго-металлургическом производственном комплексе на примере ОАО "ММК".

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблемы управления энергопотреблением и энергосбережением в энерго-металлургическом производственном комплексе

Снижение потребления энергетических ресурсов за счет повышения эффективности автоматизированного управления энергетическими потоками в масштабах предприятия представляет собой высоко прибыльное мероприятие, т.к. снижение потребления энергетических ресурсов достигается без существенных дополнительных капитальных вложений и материальных затрат. Однако решение данной задачи является весьма сложным и одним из проблемных вопросов представляет оценка текущих энергетических характеристик оборудования. Традиционный подход к оценке энергетических характеристик оборудования основан на проведении испытаний энергетического оборудования, что является высоко затратным мероприятием. Поэтому для решения данной задачи целесообразно использовать данные эксплуатации в рамках АСУ ТП.

Практика эксплуатации энергетического оборудования показывает, что значения параметров их энергетических характеристик обладают большим разбросом, часть параметров является ненаблюдаемой. Проведение традиционного статистического анализа позволяет получить только усредненные характеристики, которые не позволяют получать эффективные решения применительно к индивидуальному оборудованию для конкретного периода эксплуатации. Более того, для решения задачи оптимизации важны не среднестатистические характеристики, а эффективные характеристики, отражающие потенциальные возможности технологического оборудования. Определить подобные характеристики можно на основе применения методов интеллектуального анализа данных, включающих в себя процедуры кластеризации.

Данные эксплуатации обычно характеризуются незначительными вариациями параметров, высоким уровнем помех и малой информативностью. Для обработки подобных данных необходимы специальные методы.

В работе приводится обзор методов обработки данных, из которого следует, что существующие методы для рассматриваемой в работе задачи построения экстремальных производственных характеристик при малой информативности данных и высоком уровне помех разработаны недостаточно.

На основе проведенного анализа и обзора литературы ставятся цели и задачи исследования.

Методы и алгоритмы построения эффективных производственных характеристик по данным эксплуатации

Конкретное оборудование можно рассматривать как энергетические узлы, в которых сходятся и расходятся энергетические потоки. В общем случае для энергетического узла можно сформулировать два вида энергетического баланса:

- по ведущему ресурсу

$$u_o = \Delta u_{o, \text{пот}} + \sum_{i=1}^n a_i p_i - \sum_{j=1}^m b_j u_j; \quad (1)$$

- по ведущей продукции

$$p_o = \sum_{j=1}^m b_j u_j - \sum_{i=1}^n a_i p_i - \Delta p_{o, \text{пот}}, \quad (2)$$

где p_i - суммируемые энергетические потоки; u_o - суммарный энергетический поток; a_i - удельные коэффициенты преобразования энергии i -го потока в энергию суммарного потока; $\Delta u_{o, \text{пот}}$ - суммарные энергетические потери; p_o - энергетическая продукция; u_j - j -ый энергетический ресурс; b_j - удельный коэффициент преобразования энергии j -го ресурса в выходной энергетический поток p ; $\Delta p_{o, \text{пот}}$ - суммарные энергетические потери в узле, приведенные к потере продукции.

В качестве ведущего ресурса и ведущей продукции в принципе можно выбрать любой из ресурсов, поступающих в энергетический узел, а также любую продукцию, исходящую из узла.

Далее, определяются граничные условия энергетического баланса:

$$u_{o, \text{min}} = \sum_{i=1}^n a_{i, \text{min}} p_i - \sum_{j=1}^m b_{j, \text{max}} u_j; \quad (3)$$

либо

$$p_{o, \text{max}} = \sum_{j=1}^m b_{j, \text{max}} u_j - \sum_{i=1}^n a_{i, \text{min}} p_i. \quad (4)$$

С использованием граничных условий оцениваются энергетические потери

$$\delta u_{o, \text{пот}} = \frac{u_o - u_{o, \text{min}}}{u_{o, \text{min}}}, \quad (5)$$

$$\delta p_{o, \text{пот}} = \frac{p_{o, \text{max}} - p_o}{p_{o, \text{max}}}. \quad (6)$$

Относительные потери аппроксимируются эмпирическими формулами

$$\delta u_{o, \text{пот}} = f(\mathbf{p}, \mathbf{u}, \mathbf{p}), \quad (7)$$

$$\delta p_{o, \text{пот}} = \varphi(\mathbf{u}, \mathbf{p}, \mathbf{x}), \quad (8)$$

где u - вектор ресурсов; p - вектор продукции; x - вектор режимных факторов.

В итоге прогнозные формулы энергетического баланса узла будут иметь вид

$$u_o = u_{o,\min}(1 + \delta u_{o,\text{пот}}), \quad (9)$$

$$p_o = p_{o,\max}(1 - \delta p_{o,\text{пот}}). \quad (10)$$

Оптимизация энергетического узла состоит в минимизации потерь

$$\delta u_{o,\text{пот}} \rightarrow \min; \quad (11)$$

$$\delta p_{o,\text{пот}} \rightarrow \min; \quad (12)$$

Задача (11) приводит к минимизации потребления ведущего ресурса, а задача (12) соответствует максимизации производства ведущей продукции.

Применительно к задаче оптимизации режимов электрических станций в качестве ведущего ресурса можно использовать природный газ, а в качестве ведущей продукции – электрическую энергию. При этом можно поставить две оптимизационные задачи:

(i) задача минимизации потребления природного газа при заданных значениях объемов производства электрической и тепловой энергии, а также режимных факторов;

(ii) задача максимизации выпуска электрической энергии при заданных значениях объемов потребления природного газа, производства тепловой энергии и др.

Обе задачи являются двойственными друг другу и приводят к одной и той же энергетической характеристике станции.

Рассмотрим вопрос определения экстремальных энергетических характеристик узлов на основе данных испытаний и эксплуатации.

На рисунке 1 представлена типовая картина распределения данных испытаний и эксплуатации энергетического оборудования:

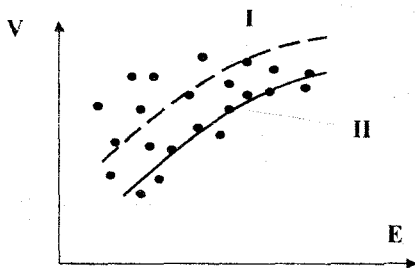


Рисунок 1

Здесь V - объем потребления природного газа; E - объем производства электрической энергии.

Эти данные, как правило, характеризуются большим разбросом, определяемым вариациями режимных факторов и эксплуатационных условий. Конкретно, например, характеристика (рисунок 1) не ограничена сверху, так как возможности нерационального использования природного газа теоретически не ограничены. Поэтому представляет интерес нижняя граница данных, которая определяет эффективные не улучшаемые решения.

Выделение эффективных энергетических характеристик на основе статистических данных требует использования специального математического аппарата. Типовой метод наименьших квадратов здесь не подходит. Метод наименьших квадратов позволяет выделить усредненные характеристики, а не экстремальные. Разница между ними иллюстрирована на рисунке 1. Здесь кривая (I) – усредненная характеристика, (II) – эффективная характеристика. Поэтому здесь необходимо использовать специальные методы кластеризации данных, позволяющие выделять эффективные данные эксплуатации из общего объема данных

Исходным пунктом построения эффективных характеристик является сбор данных испытаний и эксплуатации, результаты которого представляются в виде таблицы наблюдений

$$\{(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}; y_t) : t \in T\}, \quad (13)$$

где x_{it} - значения i -ых действующих факторов на момент наблюдения t ; y_t - значения выходного эффекта на момент наблюдения t ; T - множество моментов наблюдения.

Эмпирическую формулу, связывающую выходной эффект с действующими факторами, будем сначала считать линейной

$$y = \sum_{j=0}^n a_j x_j, \quad x_0 = 1. \quad (14)$$

Ошибка представления (14) данных (13) определяется соотношениями

$$e_t = y_t - \sum_{j=0}^n a_j x_{jt} : \alpha_t, \quad t \in T, \quad (15)$$

где α_t - вес наблюдения t .

Средневзвешенная квадратичная ошибка наблюдений

$$E^2 = \sum_{t \in T} \alpha_t e_t^2 / \sum_{t \in T} \alpha_t. \quad (16)$$

Неизвестные коэффициенты $\{a_j\}$ зависимости (15) определяются из условия минимума ошибки наблюдений (16). Задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{j=0}^n c_{ij} a_j = d_j, \quad (17)$$

где

$$c_{ij} = \sum_{t \in T} \alpha_t x_{it} x_{jt}, \quad (18)$$

$$d_i = \sum_{t \in T} \alpha_t x_{it} y_t. \quad (19)$$

Соотношения (14-19) представляют собой соотношение известного метода взвешенных наименьших квадратов. Для решения задачи кластеризации данных в работе веса $\{a_j\}$ интерпретируются как значения дискриминантной функции, имеющий вид, представленный на рисунке 2.

Алгоритм нахождения эффективной характеристики следующий.

1⁰. Решается задача (17) при значении весов $\alpha_t = 1$.

2⁰. Для полученного решения $\{a_j\}$ определяются веса наблюдений в соответствии с графиком (рисунок 2).

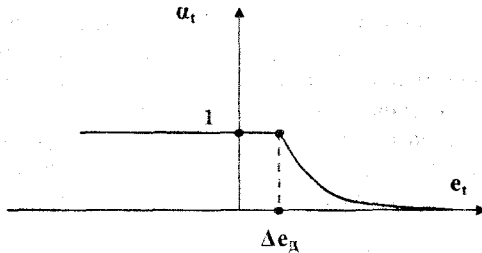


Рисунок 2

Аналитическое выражение веса:

$$\alpha_t = \begin{cases} 1, & \text{при } e_t \leq \Delta e_d; \\ \exp(-de_t), & \text{при } e_t > \Delta e_d; \end{cases} \quad (20)$$

где d - коэффициент, определяющий скорость убывания веса; Δe_d - допустимая величина ошибки сверху.

Вес (20) позволяет определить нижнюю граничную характеристику. Допустимая величина ошибки сверху вводится для фильтрации выбросов вверх точек наблюдения.

В случае нахождения верхней граничной характеристики график веса (рис. 2) симметрично изменяется на противоположный.

3⁰. Решается задача (17) при найденных значениях весов.

4⁰. Проверяется условие сходимости решения

$$\max_{(j)} \{ |a_{j,k} - a_{j,k-1}| \} \leq \varepsilon.$$

Если решение не сошлось, то переход к п. 2⁰.

5⁰. Конец решения.

Ошибка полученного решения оценивается по формуле

$$\sigma^2 = \sum_{t \in T} \alpha_t e_t^2 / \left(\sum_{t \in T} \alpha_t - (n+1) \right), \quad (21)$$

где n - число факторов.

Здесь величина $(n+1)$ определяет минимально-необходимый объем обучающей выборки, $\left(\sum_{t \in T} \alpha_t - (n+1) \right)$ - объем поверочной выборки.

В результате решения будет построена решающая функция

$$\alpha(y_t - \sum_{j=0}^n a_{jm} x_{jt}), \quad (22)$$

которая для конкретной реализации данных $(x_{1s}, x_{2s}, \dots; y_s)$ классифицирует в соответствии со значением веса α принадлежность их эффективной производственной характеристики с допуском Δe . Использование решающей функции (22) позволяет осуществить кластеризацию исходных данных (13) на 2 группы, одна из которых, соответствует эффективным режимам, другая - неэффективным. Обработка данных принадлежащих эффективным режимам может быть осуществлена как известными методами регрессионного анализа, так и с использованием средств интеллектуального анализа, например нейронных сетей.

В зависимости от исходных данных может оказаться, что объем поверочной выборки недостаточен и решение некорректно, т.к. малые вариации исходных данных могут приводить к большим вариациям результата.

Для регуляризации постановки задачи необходимо использовать дополнительные источники данных, например, существующие нормативные характеристики и экспертные оценки. Будем полагать, что данные из дополнительных источников представляют собой следующий набор:

$$T_H = \{(x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{nu}; y_u) : u = 1 \dots M\}, \quad (23)$$

где M - количество дополнительных данных.

Средневзвешенная квадратичная ошибка определяется по формуле:

$$E_H^2 = \sum_{u \in M} (y_u - \sum_{j=0}^n a_j x_{ju})^2 / M. \quad (24)$$

Задача решается при ограничении на средневзвешенную квадратичную ошибку (24).

Функция Лагранжа дает общую средневзвешенную квадратичную ошибку:

$$E_0^2 = E^2 \cdot (1 - \beta) + \beta \cdot E_H^2, \quad (25)$$

где β - нормированный множитель Лагранжа ($0 \leq \beta \leq 1$).

Задача сводится к решению системы уравнений (17), где

$$c_{ij} = (1 - \beta) \cdot \frac{1}{\sum_{t \in T} \alpha_t} \cdot \sum_{t \in T} \alpha_t x_{it} x_{jt} + \beta \cdot \frac{1}{M} \cdot \sum_{u \in M} x_{iu} x_{ju}, \quad (26)$$

$$d_i = (1 - \beta) \cdot \frac{1}{\sum_{t \in T} \alpha_t} \cdot \sum_{t \in T} \alpha_t y_t x_{ji} + \beta \cdot \frac{1}{M} \cdot \sum_{u \in M} y_u x_{ju}. \quad (27)$$

В целом алгоритм решения расширенной задачи аналогичен выше описанному.

В нелинейном случае решается система нелинейных уравнений методом Ньютона. Метод Ньютона осуществляет итеративное решение системы линеаризованных уравнений, для которых применим выше изложенный алгоритм.

Настройка неизвестных параметров, а именно коэффициента, определяющего скорость убывания веса и множителя Лагранжа осуществляется, исходя из минимизации ошибки решения (22).

Апробация алгоритма осуществлялась на задаче идентификации эффективных производственных характеристик электрических станций ОАО "ММК" по данным системы оперативно-диспетчерского управления. Так, например, были получены эффективные производственные характеристики на ТЭЦ по выработке пара и электроэнергии.

Был принят следующий вид факторной зависимости для выработки пара:

$$G_{\Pi}^{TЭЦ} = a_{\Pi 0}^{TЭЦ} + a_{\Gamma}^{TЭЦ} V_{\Gamma}^{TЭЦ} + a_{y}^{TЭЦ} G_{y}^{TЭЦ} + b_{H.B.}^{TЭЦ} t_{H.B.}, \quad (28)$$

где $G_{\Pi}^{TЭЦ}$ - выработка пара, тонн/час; $V_{\Gamma}^{TЭЦ}$ - потребление природного газа, тыс. м³/час; $G_{y}^{TЭЦ}$ - потребление угля, тонн/сутки; $t_{H.B.}$ - температура наружного воздуха, °С; $a_{\Pi 0}^{TЭЦ}$ - постоянная составляющая факторной зависимости по выработке пара; $a_{\Gamma}^{TЭЦ}$ - удельная долевая выработка пара на единицу потребленного природного газа, тонн / тыс. м³; $a_{y}^{TЭЦ} / 24$ - удельная долевая выработка пара на единицу угля, тонн пара/тонн угля; $b_{H.B.}^{TЭЦ}$ - коэффициент влияния температуры наружного воздуха, тонн/°С.

В результате применения изложенной выше методики были получены следующие коэффициенты факторной зависимости: $a_{\Pi 0}^{TЭЦ} = -68,9$, $a_{\Gamma}^{TЭЦ} = 13,13$, $a_{y}^{TЭЦ} = 0,69$, $b_{H.B.}^{TЭЦ} = 3,21$. Абсолютная ошибка решения при этом имеет значение 31,7, относительная ошибка 1,8%.

Факторная зависимость для выработки электроэнергии:

$$E^{TЭЦ} = a_{E0}^{TЭЦ} + a_{\Pi}^{TЭЦ} G_{\Pi}^{TЭЦ} - a_{K}^{TЭЦ} V_{K}^{TЭЦ} - a_{n/б}^{TЭЦ} Q_{n/б}^{TЭЦ} - a_{л/б}^{TЭЦ} Q_{л/б}^{TЭЦ} + b_{H.B.}^{TЭЦ} t_{H.B.} + b_{\text{пр.}}^{TЭЦ} t_{\text{пр.}} + b_{\text{обр.}}^{TЭЦ} t_{\text{обр.}}, \quad (29)$$

где $E^{TЭЦ}$ - выработка электроэнергии, МВт; $G_{\Pi}^{TЭЦ}$ - потребление пара, тонн/час; $V_{K}^{TЭЦ}$ - отпуск пара на КЦ, тонн/час; $Q_{n/б}^{TЭЦ}$ - отпуск тепла потребителям п/б, Гкал; $Q_{л/б}^{TЭЦ}$ - отпуск тепла потребителям л/б, Гкал; $t_{H.B.}$ -

температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{пр}^{ТЭЦ}$ - температура прямой подачи воды, $^{\circ}\text{C}$; $t_{обр}^{ТЭЦ}$ - температура обратной подачи воды, $^{\circ}\text{C}$; $a_{Е0}^{ТЭЦ}$ - постоянная составляющая факторной зависимости по выработке электроэнергии; $a_{п}^{ТЭЦ}$ - удельная долевая выработка электроэнергии на единицу потребленного пара, $\frac{\text{МВт}}{\text{тонн/час}}$; $a_{к}^{ТЭЦ}$ - удельное долевое снижение выработки электроэнергии на единицу отпущенного пара технологическому потребителю (КЦ), $\frac{\text{МВт}}{\text{тонн/час}}$; $a_{п/б}^{ТЭЦ}$ - удельное долевое снижение выработки электроэнергии на единицу отпущенного тепла потребителям п/б, МВт/Гкал ; $a_{п/б}^{ТЭЦ}$ - удельное долевое снижение выработки электроэнергии на единицу отпущенного тепла потребителям л/б, МВт/Гкал ; $b_{н.в.}^{ТЭЦ}$ - коэффициент влияния температуры наружного воздуха, $\text{тонн}/^{\circ}\text{C}$; $b_{пр.}^{ТЭЦ}$ - коэффициент влияния температуры прямой подачи воды, $\text{тонн}/^{\circ}\text{C}$; $b_{обр.}^{ТЭЦ}$ - коэффициент влияния температуры обратной подачи воды, $\text{тонн}/^{\circ}\text{C}$.

Полученные значения коэффициентов факторной зависимости следующие: $a_{Е0}^{ТЭЦ} = 84,0$, $a_{п}^{ТЭЦ} = 0,16$, $a_{к}^{ТЭЦ} = -0,09$, $a_{п/б}^{ТЭЦ} = -0,23$, $a_{л/б}^{ТЭЦ} = 0,09$, $b_{н.в.}^{ТЭЦ} = 0,62$, $b_{пр.}^{ТЭЦ} = 1,5$, $b_{обр.}^{ТЭЦ} = -2,14$. Абсолютная ошибка решения при этом равна 5,54, относительная ошибка 2%.

Эффективные энергетические характеристики могут быть представлены аналитически в виде эмпирических формул

$$u_o = u_{o,\text{min}}(1 + \delta u_{o,\text{пот}})(1 + \delta_3), \quad (30)$$

$$p_o = p_{o,\text{max}}(1 - \delta p_{o,\text{пот}})(1 + \delta_3), \quad (31)$$

где δ - допуск на эксплуатационные условия.

Знание характеристик (30), (31) позволяет обоснованно судить об эффективности эксплуатации энергетического оборудования.

Так, если текущий расход ресурса u_o превышает эффективное значение u_o , определяемое соотношением (30), то режим эксплуатации неэффективен и перерасход ресурса определяется разностью

$$\Delta u_{от} = u_{от} - u_o.$$

Если текущее производство продукции p_o ниже эффективного значения p_o , определяемого соотношением (31), то режим эксплуатации оборудования неэффективен и недополучение продукции составит:

$$\Delta p_{от} = p_o - p_{от}.$$

Производя наблюдения за эффективностью эксплуатации оборудования в течение определенного периода, можно оценить перерасход потребляемого ресурса и недополучение продукции:

$$\Delta u_{os} = \sum_i (u_{ot} - u_o), \quad (32)$$

$$\Delta p_{os} = \sum_i (p_o - p_{ot}). \quad (33)$$

Мониторинг показателей (32), (33) целесообразно организовать как на уровне диспетчерской УГЭ, так и на уровне станций. На уровне станций мониторинг показателей (32), (33) целесообразно организовать в рамках АСУ ТП для каждого энергетического агрегата.

Мониторинг и нормирование характеристик потребления энергетических ресурсов электрических станций в рамках АСУ УГЭ ОАО «ММК»

Структурная схема автоматизированной системы мониторинга и нормирования (АСМиН) потребления энергетических ресурсов электрическими станциями ОАО «ММК» приведена на рисунке 3.

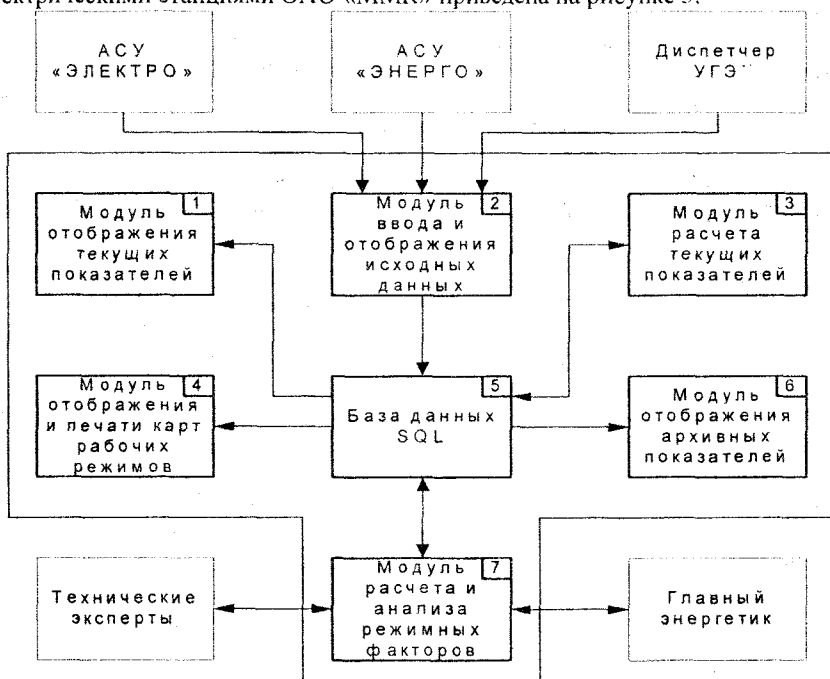


Рисунок 3 – Структурная схема АСМиН

Основными источниками исходных данных рассматриваемой системы являются автоматизированные системы диспетчерского контроля и

управления (АСДУ) «Электро» по электрической энергии и «Энерго» по остальным ресурсам.

Дополнительным источником исходных данных является ручной ввод информации, который осуществляется оператором в диспетчерской АСДУ в зависимости от периодичности обновления информации.

Исходные данные из указанных выше источников поступают на вход модуля ввода и отображения данных 2 (см. рисунок 3). Модуль 2 осуществляет считывание данных из АСДУ. Считывание данных происходит согласно расписанию, определяемому при конфигурировании системы. При этом сразу после считывания данных из АСДУ на экране оператора (диспетчера) появляется экранная форма, содержащая полученные данные. Каждое появление формы может сопровождаться звуковым сигналом. Кроме того, форма содержит пустые поля для ввода диспетчером недостающих данных (т.е. данных, отсутствующих в АСДУ), а также позволяет выбрать текущий режим работы оборудования из существующего списка режимов. Также существует возможность создать новый режим. Для каждой электростанции организуются собственные формы ввода и отображения данных. После ввода всех необходимых данных соответствующая форма закрывается и происходит сохранение информации в базе данных АСМиН.

Рассмотрим структуру базы данных 5. База данных представляет собой набор таблиц, в которых аккумулируется информация о структуре энергетического производства, текущие характеристики энергопотребления, сведения о рабочих режимах, а также расчетные эффективные производственные характеристики потребления энергетических ресурсов. В общем виде схема базы данных содержит таблицы «Станции», «Блоки» и «Агрегаты» в соответствии с наименованием соответствующих структурных единиц энергетического производства. Иерархия «Станции»-«Блоки»-«Агрегаты» позволяет обрабатывать данные как по конкретному агрегату, так и по объекту более высокого уровня, например, характеристики блока котлов ТЭЦ. В таблицу «Режимные карты» заносятся результаты расчета эффективных производственных характеристик потребления энергетических ресурсов: идентификатор оптимизируемой энергопродукции, коэффициенты расхода энергоресурсов, начальная и конечная дата выборки исходных данных, параметры расчета.

В программном обеспечении АСМиН предусматривается просмотр трендов, т.е. просмотр архива данных. Для этих целей служит модуль 6. Модуль предназначен для просмотра набора данных за указанный промежуток времени. При этом особый интерес представляет просмотр одновременно фактических и расчетных (эффективных) значений параметров работы отдельно по каждой из электрических станций. Модуль 6 может быть использован не только для просмотра истории процессов, но и для отображения текущих значений, действительных на момент последнего обновления данных. Т.е. при работе модуля 6 обновление графической

информации может происходить в реальном времени через интервалы времени, определяемые периодом обновления исходной информации.

Идентификация эффективных производственных характеристик потребления энергетических ресурсов теплоэнергетическим оборудованием электрических станций осуществляется для определенного режима работы оборудования при помощи модуля 7. Модуль 7 реализует алгоритм идентификации, изложенный выше. Расчет производится по архивным данным, содержащимся в базе данных 5. Промежуток времени, за который берутся данные, задается пользователем. Результаты расчета, представляющие собой набор коэффициентов, сохраняются в базе данных в таблице «Режимы». Каждый режим работы оборудования в таблице содержит поле «Дата утверждения». Утверждение режима осуществляет главный энергетик после согласования с техническими экспертами. База данных может содержать как утвержденные, так и неутвержденные режимы. Это позволяет проводить сравнение режимов и производить выбор наилучшего режима с точки зрения повышения эффективности работы энергетического оборудования с учетом особенностей эксплуатации.

Для поддержания эффективных режимов в процессе эксплуатации необходимо их отображение в виде номограмм (карт рабочих режимов), отражающих зависимости выработки энергетической продукции от потребления ресурсов с учетом режимных факторов. Отображение и печать карт рабочих режимов осуществляется модулем 4.

Таким образом, алгоритм работы АСМиН является достаточно сложным, разветвленным и многофункциональным, предусматривающим как аналитическую работу по выявлению наиболее эффективных режимов работы энергетического оборудования электрических станций, проводимую техническими экспертами, так и работу в режиме реального времени с использованием текущих данных эксплуатации.

Рассмотрим особенности и требования, предъявляемые к ПО АСМиН. Прежде всего, здесь необходимо отметить, что рассматриваемая система должна обеспечивать многопользовательский режим работы. Поэтому здесь использованы структуры построения базы данных по принципу «клиент-сервер». Обобщенная структура ПО системы, построенного по указанному принципу, приведена на рисунке 4.

Как видно из структуры, приведенной на рисунке 4, центральным звеном разрабатываемого ПО является сервер базы данных. Отсюда следует, что ПО АСМиН должно включать в себя систему управления базами данных (СУБД).

Помимо базы данных структура содержит клиентские приложения двух типов: приложения, реализующие алгоритм режима (А), и приложения, реализующие алгоритм режима (Б). Как уже было сказано выше режим (А) предназначен для расчета эффективных характеристик работы энергетического оборудования, составления, печати и утверждения карт рабочих режимов техническими экспертами АСДУ и главным энергетиком.

Режим (Б) предназначен для расчета эффективных производственных характеристик работы электрических станций в реальном времени на основе текущей информации, включающей потребление энергетических ресурсов, режимные факторы и выработку энергетической продукции.

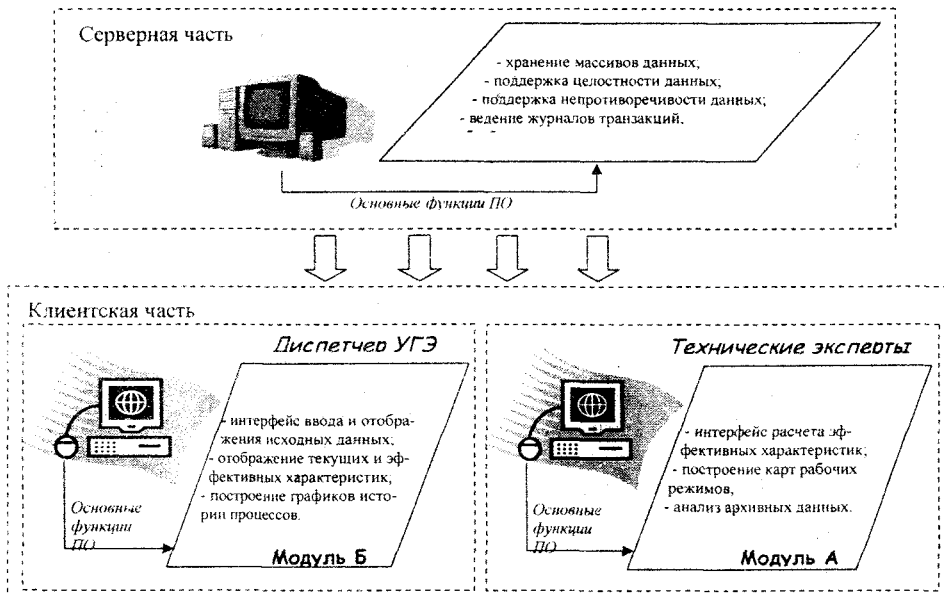


Рисунок 4 – Обобщенная структура программного обеспечения АСМиН

На основе указанных принципов была разработана АСМиН в рамках АСДУ УГЭ ОАО “ММК”, которая показала эффективную работу.

Критерии оптимизации режимов теплофикационных комплексов

В работе рассматриваются локальные теплофикационные комплексы промышленных предприятий, состоящие из ТЭЦ с внутренними поперечными связями и внешними теплофикационными связями, режимы которых управляются АСУ ТП.

Для предприятий металлургической отрасли в настоящее время характерна работа в режиме максимума электрической энергии. В этих условиях управляющим фактором задачи оптимизации является распределение тепловых нагрузок между агрегатами станций.

Формально задача оптимизации заключается максимизации общего объема вырабатываемой электроэнергии всеми агрегатами станций, при заданных теплофикационных нагрузках

$$\sum_i W_3^i(Q_{тф}^i) \rightarrow \max; \quad (34)$$

при

$$\sum_i Q_{тф}^i = Q_{тф}^3, \quad (35)$$

где $W_3^i(Q_{тф}^i)$ – зависимость максимума выработки электроэнергии i -ым турбогенератором от его теплофикационной нагрузки $Q_{тф}^i$.

$Q_{тф}^3$ – общая заданная теплофикационная нагрузка.

Определение оптимального режима перераспределения теплофикационной нагрузки производится в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Проводится факторный анализ потребления электроэнергии на собственные нужды.

Для расчета значений отпускаемой электрической мощности на основе предложенной методики строятся факторные зависимости вида:

$$k_{с.н.} = a_0 + a_1 \cdot Q_{тф} + a_2 \cdot t_{ц.в.} + a_3 \cdot D_{п.п.}, \quad (36)$$

где $Q_{тф}$ – теплофикационная нагрузка станции;

$t_{ц.в.}$ – температура циркуляционной охлаждающей воды;

$D_{п.п.}$ – отпуск пара промышленным потребителям;

a_0 – постоянная составляющая факторной зависимости;

a_1 – коэффициент факторной зависимости, учитывающий влияние теплофикационной нагрузки $Q_{тф}$;

a_2 – коэффициент факторной зависимости, учитывающий влияние температуры циркуляционной воды $t_{ц.в.}$;

a_3 – коэффициент факторной зависимости, учитывающий влияние отпуска пара промышленным потребителям $D_{п.п.}$;

$k_{с.н.}$ – коэффициент собственных нужд, рассчитываемый по формуле:

$$k_{с.н.} = W_{с.н.} / W_{в.э.}, \quad (37)$$

где $W_{с.н.}$ – потребление электроэнергии на собственные нужды станции,

$W_{в.э.}$ – выработка электроэнергии станцией.

2. Строится факторная зависимость удельного расхода топлива на выработку электроэнергии от теплофикационной нагрузки, имеющую следующий вид:

$$v_{yt}^3 = c_0 + c_1 \cdot Q_{тф}, \quad (38)$$

где $Q_{тф}$ – теплофикационная нагрузка станции;

$t_{ц.в.}$ – температура циркуляционной охлаждающей воды;

c_0 – постоянная составляющая факторной зависимости;

c_1 – коэффициент факторной зависимости, учитывающий влияние теплофикационной нагрузки $Q_{тф}$;

$v_{ум}^2$ – удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, рассчитываемый по формуле:

$$v_{ум}^2 = V_{ум}^2 / W_{в.э.}, \quad (39)$$

где $V_{ум}^2$ – расход условного топлива на выработку электроэнергии, $W_{в.э.}$ – выработка электроэнергии станцией.

3. Проводится расчет экономической эффективности распределения теплофикационной нагрузки между агрегатами станций.

Определяются значения отпуска электроэнергии по формуле:

$$W_{о.э.} = W_{в.э.} - W_{с.н.}, \quad (40)$$

где $W_{в.э.}$ – вырабатываемая электрическая мощность;

$W_{с.н.}$ – электрическая мощность, потребляемая на собственные нужды станции.

Электрическая мощность $W_{с.н.}$, потребляемая на собственные нужды станции

$$W_{с.н.} = k_{с.н.} \cdot W_{в.э.}, \quad (41)$$

Расход условного топлива на выработку электроэнергии:

$$V_{ум}^2 = v_{ум}^2 \cdot W_{в.э.}, \quad (42)$$

4. Оценка экономической эффективности \mathcal{E} :

$$\mathcal{E} = C_3 - C_T, \quad (43)$$

где C_m – дополнительные затраты на топливо;

C_3 – рыночная стоимость дополнительно отпускаемой электрической энергии.

Проведенные выше расчеты выполняются для различных вариантов перераспределения нагрузки. На данной основе выбирается наиболее экономичный режим, обеспечивающий максимум выработки электрической энергии при заданных теплофикационных нагрузках.

Указанный подход был использован для решения задач оптимизации загрузки агрегатов на станциях ТЭЦ и ЦЭС ОАО “ММК”. Экономический эффект полученного решения составил более 2 млн. руб./месяц.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Успех решения задачи повышения эффективности управления энергетическими процессами в энерго-металлургических комплексах существенно зависит от знания текущих производственных характеристик энергетических агрегатов в процессе эксплуатации. Определение производственных характеристик обычно проводится на основе натуральных испытаний, что весьма трудоемко и не позволяет оперативно решать поставленные задачи. Поэтому целесообразно организовать идентификацию текущих производственных характеристик энергетического оборудования на основе данных эксплуатации в рамках АСУ ТП.

2. Идентификация текущих производственных характеристик по данным эксплуатации представляет собой весьма сложную задачу, особенностями которой являются:

- низкая информативность данных вследствие ограниченности диапазона вариации параметров режимов,
- наличие ненаблюдаемых факторов,
- отражение в данных как эффективных, так и неэффективных режимов эксплуатации оборудования.

Для решения задачи оптимизации управления режимами необходимо оценивать значения производственных характеристик, соответствующие эффективным режимам работы оборудования. Это позволяет оценивать потенциал эффективной эксплуатации энергетического оборудования и служит основой для выбора оптимальных параметров режимов.

3. Для определения эффективных производственных характеристик оборудования целесообразно использовать кластеризацию данных эксплуатации с выделением данных, соответствующих эффективным режимам. На указанных данных строятся факторные зависимости, отражающие потенциальные возможности оборудования.

4. В работе предложен алгоритм выделения данных, соответствующих эффективным режимам эксплуатации оборудования, основанный на построении специального вида дискриминантных функций. Для реализации указанного метода разработано алгоритмическое обеспечение. Предложенный алгоритм позволяет оценивать характеристики энергетического оборудования без проведения натуральных испытаний.

5. В рамках диссертационной работы была разработана автоматизированная система мониторинга и нормирования (АСМиН), которая представляет собой многофункциональный программно-аппаратный комплекс, предназначенный как для расчета эффективных характеристик работы электрических станций, так и оперативного контроля режимов работы станций в реальном времени. Разработан алгоритм работы системы и программное обеспечение.

6. Проведённый анализ эффективности использования оборудования на станциях ЦЭС, ТЭЦ и ПВЭС-1,2 ОАО «ММК» показал, что на всех станциях наблюдаются отклонения значений параметров режимов от эффективных значений. Поэтому введение на уровне диспетчерской УГЭ мониторинга оценок верхних границ выработки энергетической продукции позволяет вести текущую оценку эффективности работы станции. Это позволяет диспетчеру УГЭ оперативно направлять эксплуатационному персоналу соответствующую управляющую информацию, что способствует повышению эффективности работы станций.

7. В работе был проведён анализ загрузки турбогенераторов ТЭЦ и ЦЭС. В результате были выявлены резервы, позволяющие повысить выработку электроэнергии и снизить потребление пара в теплоэнергетическом комплексе ТЭЦ-ЦЭС за счёт рационального распределения нагрузки между турбогенераторами. Оценка суммарного экономического эффекта от выполнения работы составляет более 2 млн. руб. в месяц.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Казаринов Л.С., Безруков Д.А., Попова О.В. Метод идентификации эффективных рабочих характеристик производственных систем по данным эксплуатации //Теория и практика совершенствования административно-организационного управления с использованием современных информационных технологий и систем: Сборник научных трудов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – С.186–193.

2. Казаринов Л.С., Безруков Д.А., Попова О.В. Алгоритм построения эффективных характеристик оборудования по данным эксплуатации //Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – Вып.3, №9(98). – С. 38.

3. Безруков Д.А., Попова О.В., Шнайдер Д.А. Об оптимальной нагрузке агрегатов ТЭЦ. //Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – Вып.3, №9(98). – С. 19–21.

4. Методика оптимизации потребления энергетических ресурсов на электрических станциях. / Л.С. Казаринов, Д.А. Безруков, О.В. Попова, Д.А. Шнайдер //Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – Вып.3, №9(98). – С. 39–43.

5. Безруков Д.А., Стульпин В.Е., Ерофеев М.М. Энерго-металлургический комплекс с утилизацией конвертерного газа //Сборник 3-й Всероссийской научно-технической конференции МГТУ-Магнитогорск: Изд. МГТУ, 2002. – С. 19–20.

6. Безруков Д.А. Повышение эффективности автоматизированного управления энергосистемами на основе нормирования характеристик потребления энергоресурсов в рамках АСДУ УГЭ ОАО «ММК» //Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации: Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд. ИПЦ ООО «Проф-Принт», 2005. – С. 96–101.

Формат 60x84 1/16. Бумага ВХИ 80 гр. Объем 3 усл. п. л.
Тираж 100 экз.

Изготовлено в полном соответствии с качеством
предоставленных оригиналов заказчиком
в ООО «РЕКПОЛ»