

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МАГИСТРАТУРА

Кафедра «Информатики и вычислительной техники»

Магистерская диссертация

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ
КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА П-ОБРАЗНОЙ КОМПОНОВКИ
6N0111 «Информатика»

Исполнитель _____ Глазырина Н.С.
(подпись, дата)

Научный руководитель

д.т.н., профессор _____ Глазырин А.И.
(подпись, дата)

Допущена к защите:

Зав. кафедрой «ИВТ»
к.т.н., профессор _____ Деревягин С.И.
(подпись, дата)

Павлодар, 2007

РЕФЕРАТ

Построенная математическая модель позволяет не только решать задачу определения КПД котла и расхода топлива, но также исследовать влияние различных эксплуатационных параметров на характеристику котла.

С помощью программы производится анализ влияния на q_2 различных смесей топлив, элементарного состава одного вида топлива, температуры уходящих газов, холодного и подогретого воздуха, питательной воды, содержания кислорода в уходящих газах (O_2).

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения и приложения общим объёмом 140 стр., в том числе 18 рисунков на страницах, список использованных источников включает 15 наименований.

Целью работы является:

- разработка программы и математической модели расчета теплового баланса котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров для оптимизации их режима работы.

Научная новизна:

- разработана программа на основе математической модели расчета теплового баланса котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров с целью оптимизации режима работы;

- проведены исследования на математической модели при различных значениях нагрузки и различном топливе.

Практическая ценность работы: разработана программа и математическая модель оптимизации режимов работы котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров, применение которых возможно как в учебном процессе, так и в производстве – на теплоэнергетических установках.

АНДАПТА

АННОТАЦИЯ

В диссертации применяется математическое моделирование для оптимизации режимов работы теплоэнергетического оборудования, в частности, котельных агрегатов.

Построенная математическая модель позволяет не только решать задачу определения КПД котла и расхода топлива, но также исследовать влияние различных эксплуатационных параметров на характеристику котла.

С помощью программы производится анализ влияния на q_2 различных смесей топлив, элементарного состава одного вида топлива, температуры уходящих газов, холодного и подогретого воздуха, питательной воды, содержания кислорода в уходящих газах (O_2).

THE SUMMARY

In a thesis mathematical modelling to the mathematical modelling to mathematical modelling.

The built mathematical model allows not only to decide a problem of definition of boiler efficiency and propellant consumption, but also to investigate influencing different operational parameters on the characteristic of the boiler.

With the help of the program the analysis of influencing on q_2 of different mixes of combustibles, elementary structure of one fuel, temperature of going around gases, cold and heated air, feed-water, contents of oxygen in going around gases (O_2) is made.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	15
2 ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ КОТЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	24
2.1 Построение математической модели расчета котельного агрегата	24
2.2 Постановка задачи моделирования	30
2.3 Математический алгоритм расчета режима функционирования котельного агрегата	36
2.4 Погрешности, возникающие при моделировании котельных агрегатов	49
3 РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ЭВМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕННОЙ МОДЕЛИ	67
3.1 Реализация математической модели на ЭВМ	67
3.2 Проведение исследований на математической модели с целью получения нескольких вариантов режимов работы котельного агрегата	76
4 ВНЕДРЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	97
ПРИЛОЖЕНИЕ А ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ	99

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития энергетики РК связан с гигантским количественным и качественным ростом энергетического производства, характеризующимся созданием крупных энергетических объединений, резким увеличением мощностей электростанций и широким строительством электрических сетей. При этом главная роль в приросте электрогенерирующих мощностей принадлежит тепловым электростанциям (ТЭС) различных типов. Уже в недалеком будущем ежегодный рост общей мощности ТЭС в нашей стране будет измеряться десятками миллионов киловатт.

Возможности совершенствования типов и характеристик теплоэнергетических установок путем укрупнения мощности агрегатов, применения целесообразных параметров рабочего процесса, рациональных материалов и улучшенных конструктивных решений имеются и в пределах уже освоенных термодинамических циклов. Совершенствование таких типов теплоэнергетических установок электростанций, как паротурбинные, в направлении повышения их экономичности и надежности остается основной задачей технического прогресса в теплоэнергетике по крайней мере на ближайшие 10—15 лет. Сложные задачи поиска оптимального решения по совокупности определяющих параметров возникают для теплоэнергетических установок с новыми термодинамическими циклами и схемами — газотурбинных, парогазовых, установок с магнитогидродинамическими (МГД) генераторами, установок с новыми теплоносителями, различных типов энергетических установок на ядерном горючем.

Правильное решение проблемы выбора параметров и профиля теплоэнергетического оборудования имеет первостепенное значение для успешного развития энергетики нашей страны. Даже частичное решение этой проблемы за счет приближения выбираемых параметров к оптимальным вследствие больших объемов вновь вводимых мощностей на тепловых электростанциях и размеров производства на них электроэнергии за длительные (20—30 лет и более) периоды эксплуатации обеспечивает весьма высокий

экономический эффект. Поэтому нужно всемерно расширять и совершенствовать исследования по нахождению оптимальных параметров и характеристик теплоэнергетического оборудования и путей развития новой техники преобразования тепловой энергии в электрическую.

Разработку методики и аналитических средств для технико-экономического определения оптимальных параметров и профиля оборудования теплоэнергетических установок следует проводить с учетом инженерной специфики объекта оптимизации, а также условий сооружения и будущей эксплуатации тепловой электростанции данного типа в развивающейся энергетической системе.

Крупная теплоэнергетическая установка, разрабатываемая для применения в перспективной энергетической системе, представляет собой единый промышленный комплекс разнородных узлов оборудования со сложной схемой технологических связей. В таком многоузловом комплексе осуществляются непрерывные взаимосвязанные процессы преобразования, передачи и перераспределения различных видов энергии, изменения состояния и расходов рабочих веществ. Всякое изменение любого параметра или узла в той или иной степени влияет на параметры, характеристики и показатели всего комплекса. В то же время процесс дальнейшего развития и совершенствования крупных теплоэнергетических установок сопровождается все большим усложнением тепловых схем, увеличением числа разнородных элементов в установке, применением новых теплоносителей (часто нескольких в одной установке), увеличением числа параметров и усложнением связей между ними. Очень важно, что термодинамические, расходные и конструктивные параметры установки могут изменяться лишь в пределах физически возможных и технически осуществимых состояний энергоносителей и конструкций, а также в пределах технически допустимых начальных и эксплуатационных состояний материалов в узлах. Поэтому при проектировании и оптимизации теплоэнергетических установок необходимо учитывать множество технических ограничений, выражаемых в форме равенств и неравенств, так как только при этом условии

возможно создание экономически оптимальной и в то же время технически выполнимой и надежной в эксплуатации энергоустановки.

Изложенное показывает, что имеют место, с одной стороны, сложность внутренних и внешних связей современной теплоэнергетической установки и тенденция к дальнейшему их усложнению, а с другой стороны — необходимость при решении задачи по выбору оптимальных параметров и профиля теплоэнергетической установки комплексного учета всех этих связей. Все это свидетельствует о повышении роли технико-экономических исследований при выборе параметров и профиля теплоэнергетических установок. Поэтому несомненна необходимость в специальных методах исследования теплоэнергетических установок, которые обеспечивали бы при всех возможных характеристиках и показателях внешних связей поиск наилучшего (оптимального) решения из большого числа возможных как по основным параметрам рабочего процесса, так и по частным параметрам, конструктивным и технико-экономическим характеристикам отдельных элементов и узлов.

Существующие методы не обеспечивают качественного решения задачи комплексной оптимизации теплоэнергетических установок. В результате этого имеющиеся проектные проработки теплоэнергетических установок, особенно реализующих новые схемы и циклы, имеют ряд серьезных недостатков в части обоснованности решений по выбору параметров и профиля этих установок. К числу недостатков проектов перспективных теплоэнергетических установок в первую очередь необходимо отнести:

- Выбор оптимальных значений параметров и вида тепловой схемы исходя в основном из результатов термодинамического анализа установки без должного комплексного учета технических ограничений и при неполном учете экономических факторов;
- Рассмотрение ограниченного числа возможных вариантов установки и узкого диапазона изменения основных ее параметров;
- Различную степень эффективности капитальных вложений в отдельные узлы и элементы установки, так как для большинства узлов и элементов

соответствующего комплексного технико-экономического анализа не производится;

– Значительное несоответствие исходных данных, принятых при разработке того или иного типа теплоэнергетической установки, реальным условиям, в которых данная установка должна использоваться.

Наличие указанных недостатков при технико-экономическом исследовании теплоэнергетических установок объясняется главным образом большой сложностью и трудоемкостью технико-экономического анализа теплоэнергетических установок. Эти недостатки в некоторой степени были неизбежны при применявшихся до недавнего времени вариантных методах технико-экономического анализа и ручном или маломеханизированном способе счета, распространение быстродействующих электронных цифровых вычислительных машин (ЭВМ) весьма способствует расширению объемов расчетов при выборе параметров и профиля теплоэнергетических установок.

Однако использование ЭВМ будет недостаточно эффективным, если оно ограничивается лишь механизацией вычислений. Применение ЭЦВМ в практике оптимизации теплоэнергетических установок неразрывно связано с применением метода математического моделирования и с превращением этого метода в мощный инструмент научных исследований. Метод математического моделирования позволяет описать все основные связи, характеризующие изучаемый объект, и в то же время раскрывает и развивает внутреннюю логику изучаемых объектов, позволяя тем самым находить качественно новые связи и закономерности. Последнее положение особенно важно. Кроме того, использование ЭВМ содействует применению специальных математических методов, как можно лучше соответствующих характеру решаемой задачи.

На основании сказанного можно утверждать, что применение ЭВМ в сочетании с методом математического моделирования и эффективными математическими методами нахождения оптимума при решении многофакторных задач позволит резко повысить уровень исследований и проектирования теплоэнергетических установок электростанций. Вместе с тем применение метода математического моделирования и ЭВМ требует новых подходов к постановке и

решению задач оптимизации теплоэнергетических установок. Необходимо предельно четко формулировать решаемую задачу как в части задания совокупностей исходных параметров, так и в части требований к алгоритму решения задачи. При этом очень часто оказываются необходимыми пересмотр многих положений существующих методов оптимизации параметров теплоэнергетических установок и разработка новых методов. В частности, следует указать, что накопленные к настоящему времени сведения о теплоэнергетических установках, выраженные большим числом не универсальных эмпирических, графических и табличных зависимостей и используемые в проектно-конструкторских разработках, не могут быть непосредственно применены при создании математических моделей и постановке исследований на ЭВМ.

Большие трудности при разработке математических моделей теплоэнергетических установок и решении задачи оптимизации их параметров на ЭВМ встречаются также по причине ограниченности существующих методов решения экстремальных задач: например, еще нет законченной разработки универсальных методов определения оптимума в области допустимых значений целевой функции без предположения о выпуклости и связанности последней, а также строгого решения нелинейных экстремальных задач при дискретном характере изменения переменных.

Все изложенное показывает принципиальную возможность решения задач оптимизации параметров теплоэнергетических установок при использовании современных быстродействующих ЭВМ, но одновременно указывает и на наличие больших трудностей, которые при этом встретятся, преодоление этих трудностей требует совместного применения методов нелинейного математического программирования, метода математического моделирования и обычного инженерного анализа. Последнее весьма важно, так как только тщательный инженерный анализ решаемой задачи позволяет правильно ее сформулировать, найти приемлемые (по точности и времени счета) методы решения и правильно оценить полученные результаты.

Следует отметить, что было бы неправильным разрабатывать для каждого данного вида теплоэнергетической установки только одну единственную математическую модель и пытаться в этой одной модели учитывать и одновременно исследовать весь сложный комплекс связей, реально существующих в данной установке. Такая постановка задачи была бы теоретически неправильной, хотя бы из-за исключительной разноточности исходной информации. Кроме того, она трудно реализуема и практически вследствие необходимости описания в единой математической модели всех свойств сложной теплоэнергетической установки и ограниченности возможностей ЭВМ. Имеющийся опыт решения задач комплексной оптимизации параметров и профиля теплоэнергетических установок показывает, что постановка такой задачи для любой разрабатываемой теплоэнергетической установки должна иметь в виду необходимость создания системы взаимосвязанных математических моделей. Эта система включает:

- группу математических моделей отдельных узлов и элементов установки, в которых в наиболее полной форме учитываются внутренние специфические для данного узла или элемента факторы;
- более общие математические модели для групп узлов и агрегатов;
- обобщенную математическую модель всей теплоэнергетической установки с укрупненным учетом частных зависимостей параметров от конструктивных решений по отдельным узлам и элементам.

При проектировании и создании сложных объектов, к которым принадлежат современные теплоэнергетические установки, требуются знания о количественных и качественных закономерностях, свойственных рассматриваемым объектам. Осуществить непосредственную практическую проверку тех или иных закономерностей, закладываемых в проекты сложных объектов, очень часто не представляется возможным по ряду соображений. Так, реализация всех разрабатываемых в настоящее время типов теплоэнергетических установок и отдельных их модификаций с целью их практической проверки потребовала бы исключительно больших материальных затрат. Кроме того, этот путь установления количественных и качественных закономерностей, присущих

теплоэнергетическим установкам различных типов, потребовал бы значительного времени. В связи с этим приобретает все большее значение изучение свойств и закономерностей рассматриваемых сложных объектов на базе методов моделирования.

Надежная и эффективная работа котлоагрегатов электростанций во многом зависит от правильной постановки и проведения наладочных и экспериментальных работ. Это особенно важно в настоящее время в связи с тем, что испытания проводятся, главным образом, на мощных блочных установках, характеризующихся сжатыми сроками ввода их в эксплуатацию и повышенными требованиями к надежности.

В соответствии с характером исходной информации условия оптимизации можно подразделить на три категории:

- определенные, когда вся исходная информация задана однозначно;
- вероятностные, когда исходная информация обо всех случайных факторах задана в вероятностной форме;
- неопределенные, когда такое вероятностное описание для некоторых случайных факторов отсутствует.

Целью решения, задачи оптимизации в неопределенных условиях должно быть не нахождение одного оптимального варианта установки, а получение серий опытов на основе которых подбирается вариант, принимаемый к осуществлению. Такое положение вполне объяснимо: неопределенность исходной информации приводит в конечном итоге и к неопределенности решения. Математическое решение задачи в условиях неопределенности не может выявить какой-то один наилучший вариант.

Применяемые в настоящее время методы оптимизации параметров и профили теплоэнергетических установок, как правило, базируются на рассмотрении установок в статике, при этом все расчеты производятся в лучшем случае применительно к некоторому условному усредняющему расчетному году. Для получения правильного решения такой подход является недостаточным, так как условный расчетный год может быть усредняющим годом эксплуатации лишь по какому-либо одному фактору. Однако такой год не может служить

усредняющим одновременно по всем изменяющимся во времени факторам. Указанный недостаток существующих методов является одной из основных причин допускаемых ошибок в расчетных исследованиях.

Корректные методы оптимизации теплоэнергетической установки должны учитывать все происходящие изменения за полный период ее эксплуатации. Например, весь многолетний период эксплуатации теплоэнергетической установки следует разбить на ряд расчетных периодов в соответствии с изменением режимов использования установки, переменной технических и стоимостных характеристик топлива. В свою очередь каждый расчетный период нужно делить на интервалы с учетом режимов нагрузки, сезонных изменений расчетных температур охлаждающей воды и наружного воздуха и т. п. Повышение степени детализации при учете изменения влияющих факторов сопровождается снижением погрешности решения задачи оптимизации и увеличением времени счета на ЭВМ. Сопоставление этих двух показателей применительно к конкретным условиям решаемой задачи позволяет определить целесообразную степень детализации.

Целью работы является:

- разработка программы и математической модели расчета теплового баланса котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров для оптимизации их режима работы.

Научная новизна:

- разработана программа на основе математической модели расчета теплового баланса котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров с целью оптимизации режима работы;
- проведены исследования на математической модели при различных значениях нагрузки и различном топливе.

Практическая ценность работы: разработана программа и математическая модель оптимизации режимов работы котельных агрегатов высокого и сверхкритического параметров, применение которых возможно как в учебном процессе, так и в производстве – на теплоэнергетических установках.

1 ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Автоматизированные системы, предназначенные для расчета технико-экономических показателей (ТЭП) тепловых электростанций, не могут быть непосредственно использованы для источников энергоснабжения (ИЭ) промышленных предприятий, с одной стороны, в силу меньшей масштабности последних, а с другой стороны, из-за сложности связей с обслуживаемыми технологическими объектами, большего разнообразия оборудования и видов вырабатываемой энергии.

Сотрудниками Укрэнергочермета была разработана автоматизированная система расчета и анализа ТЭП (система АПТЭЦ-ЕМЗ) и введена в промышленную эксплуатацию на ТЭЦ-ПВС Енакиевского металлургического завода. Система предназначена для автоматизированного получения форм статистической отчетности № 3 и № 6 с дополнениями и приложениями к ним, а также для анализа использования топлива с выявлением его перерасхода по различным категориям и причин отклонения эксплуатационных ТЭП от нормативных. Система может использоваться как для получения форм статистической отчетности за отчетный период (месяц, квартал, год), так и для расчета и анализа ТЭП за любой эксплуатационный период.

Система АНТЭЦ-ЕМЗ предназначена для расчета и анализа ТЭП только для данной ТЭЦ-ПВС, хотя методические разработки могут быть в значительной мере использованы при разработке аналогичных систем для других ИЭ промышленных предприятий. Кроме того, данная система предназначена не для расчета и нахождения оптимального режима работы котельного агрегата, а только для расчета ТЭП (КПД, расход топлива, себестоимость тепловой и электрической энергии и т.д.) установленного режима ТЭЦ.

Сотрудниками Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова была разработана модель работы котельных агрегатов БКЗ-420-

140 и БКЗ-160/190-100Ф, перенесенная в систему программирования «Basic». Модель – программа создана в качестве тренажера для проработки тренировочных сценариев на следующие темы:

- Установка нормального режима работы при растопке котла из холодного состояния;
- Уменьшение паровой нагрузки котла с повышенной до номинального значения;
- Повышение уровня воды в барабане;
- Выход из строя клапана регулятора питания;
- Падение давления питательной воды;
- Повышение или понижение температуры перегретого пара;
- Повышение давления перегретого пара;
- Потускнение и обрыв факела в топке;
- Аварийный останов одного дымососа;
- Аварийный останов мельницы.

Недостаток модели заключается в том, что тренировочные занятия по установленным сценариям могут проводиться только для указанных котлов и на одном топливе, нет возможности поиска и нахождения оптимального режима работы – возможно только устранение указанной аварийной ситуации, причем решение проблемы запрограммировано заранее.

Коллектив авторов: Попырин Л. С., Каплун С. М. и Анишкова А. Г. разработали модель оптимизации компоновочных решений по парогенератору методом динамического программирования. При этом решался вопрос о наилучшей последовательности размещения поверхностей нагрева. Основными особенностями данной задачи являются естественное разбиение процесса передачи тепла в парогенераторе на ряд этапов в соответствии с числом поверхностей нагрева, постоянство полного температурного перепада охлаждаемых продуктов сгорания при фиксированных значениях начальной и конечной температур, постоянство количества тепла, передаваемого во всех поверхностях нагрева котла. В связи с этим, разработанная модель применима

для решения поставленной задачи только в условиях строгого соблюдения одного режима работы котельного агрегата.

Сотрудниками кафедры «Тепловые электрические станции» Красноярского государственного технического университета была разработана программа расчета характеристик топлива и объемов воздуха и продуктов сгорания. В программе заложена большая база твердого, жидкого и газообразного видов топлива стран СНГ. Недостаток: в программе не предусмотрен вывод результатов расчета в компьютерном формате для использования их в расчетах котельных агрегатов.

Компанией Company IMPERS (Израиль) по методике Карасиной Э.С. разработана программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов Furnace.

Она основана на трехмерном зональном методе анализа радиационного теплообмена в селективно поглощающей и излучающей среде. Она предназначена для помощи при конструировании, наладке и эксплуатации паровых котлов.

Программа предназначена для пользователей, знакомых с основами теплопередачи и горения в топках паровых котлов, а также с их конструкцией. Использование программы сводится к выполнению четырех этапов:

- Подготовка исходных данных;
- Ввод исходных данных в программу;
- Работа программы;
- Получение результатов.

В начале расчета программа позволяет отправить заданный набор исходных данных на решение. В процессе расчета появляется диагностическое окно, с помощью которого у пользователя появляется возможность отслеживать устойчивость расчетных балансов и скорость сходимости. Окончание расчета сопровождается соответствующим предупреждением и автоматической записью результатов в цифровом виде в файл result.out

расположенный в директории Furnace. Посредством этого файла осуществляется вывод в дальнейшем результатов в графическом виде.

Недостаток: для того, чтобы запустить расчет необходимо ввести с клавиатуры очень много величин, без регулярной проверки правильности ввода.

В 2002 году на Рязанской ГРЭС для целей подготовки оперативного персонала были разработаны компьютерные тренажерные системы (КТС).

За прототип взят пылеугольный блок 260 МВт (котлоагрегат Пп-990/255 (П-59)), турбина К-300-240 ЛМЗ, поверхностные ПНД, деаэратор на 7 кгс/см^2 , РОУ 255/40, схема пылеприготовления прямого вдувания с молотковыми мельницами типа ММТ и инерционными сепараторами, топливо: бурый уголь (мазут, газ).

На основании принципа декомпозиции прямоточный котельный агрегат СКД типа П-59 с наличием вспомогательных технологических систем, обеспечивающих его нормальное функционирование во всех эксплуатационных режимах, рассматривается как совокупность моделей процессов, аппаратов, механизмов, систем, взаимосвязанных по каналам поступления внешних управляющих воздействий, внешних и внутренних возмущений. С этих позиций котлоагрегат представляет следующую совокупность взаимосвязанных математических моделей в виде отдельных программных модулей, описывающих:

- топочные процессы;
- состояние газоздушного тракта;
- гидродинамику и теплообмен рабочей среды по тракту котлоагрегата;
- питание топливом (газовое кольцо, мазутное кольцо, паровое кольцо, пылеугольный тракт);
- состояние растопочного узла в режимах пуска;
- положение запорно-регулирующей и предохранительной арматуры;
- управление арматурой, агрегатами и механизмами;
- срабатывание сигнализации, блокировок, защит.

Особенностью рассматриваемой модели котлоагрегата является моделирование его состояния во всех режимах работы не как отдельно выделенного объекта численного исследования, а как неразрывной части управляемых технологических процессов энергоблока единой динамической системы.

Базовый вариант КТС (см. рисунок 1.1) предусматривает два рабочих места обучаемых для подготовки машинистов энергоблока по котлу (МЭБк) и по турбине (МЭБт).

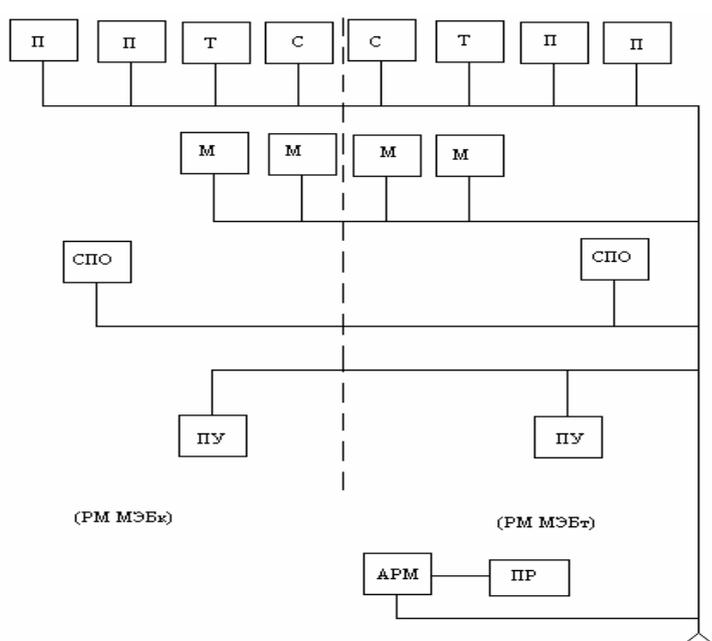


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема построения КТС пылеугольного энергоблока

Примечание: П - приборы; Т - тренды; С - табло сигнализации; М - мнемосхемы; СПО - система поддержки оператора; ПУ - пульт управления; АРМ - автоматизированное рабочее место инструктора; ПР – принтер.

Тренажер рассчитан для работы в локальной или корпоративной сети ТЭС под управлением Windows 98 или Windows 2000 в одноранговой сети Microsoft.

Для имитации структуры блочного щита управления конфигурация тренажера предусматривает оптимально пять-восемь мониторов для

размещения моторных и информационных полей на одном рабочем месте подготавливаемого оператора (органы управления - один; схемы - один, два; приборы контроля - один, два; сигнализация - один; тренды - один). В состав тренажера входит выделенное автоматизированное рабочее место (АРМ) инструктора тренировки.

В объем моделирования компьютерного тренажера входят: технологические схемы и оборудование блока; система контроля и управления; система защит и блокировок оборудования; перечень режимов нормальной эксплуатации; перечень нарушений и отказов в работе оборудования блока; пределы моделирования; удаленное автоматизированное рабочее место (АРМ) инструктора для подготовки, управления и протоколирования результатов тренировки.

Перечень моделируемых режимов нормальной эксплуатации предусматривает:

- пуски из любого теплового состояния;
- нагружение и разгружение блока во всем энергетическом диапазоне его работы;
- останов блока с расхолаживанием и без расхолаживания турбины.

Пределы моделирования тренажера включают:

- выполнение подготовительных, пусковых и остановочных операций;
- ручное, дистанционное и автоматическое управление оборудованием в нормальных, с отклонениями и аварийных режимах работы блока в соответствии с положениями инструкции по эксплуатации энергоблока-прототипа.

Недостаток – отсутствие наглядности результатов исследования с точки зрения оптимальности режима работы котлоагрегата.

Группой российских специалистов Академгородка города Новосибирска — ЗАО «Модульные Системы Торнадо» («МСТ») был разработан программно-вычислительный комплекс (ПТК) «Торнадо-М». Сделано это было по следующим причинам: фирма расположена фактически в центре огромного

энергетического региона Сибири, имеет высокий научно-технический потенциал и ориентируется на общие мировые тенденции в области систем управления.

В ПТК «Торнадо-М» для автоматизации крупных энергогенерирующих объектов применяется распределенная архитектура, не имеющая центральных обрабатывающих устройств. ПТК характеризуется необходимым уровнем резервирования, «горячей» безударной заменой и перезагрузкой модулей, распределенной обработкой, пропорциональным ростом производительности системы при увеличении объема, устойчивостью к любому единичному отказу.

Существуют особенности, выгодно отличающие его от ПТК некоторых других поставщиков:

– мощность процессоров модулей интеллектуальных функций (MIF-модулей), устанавливаемых для решения технологических задач (MIF-base с 32-разрядным микропроцессором MC68EN360 фирмы «Motorola» с тактовой частотой 33 МГц и MIF-PPC на базе 32-разрядного суперскалярного RISC процессора PowerPC PPC860T), значительно превосходит мощность процессоров, используемых, например, в модулях контроллеров ПТК «Teleperm». Это позволяет решать ряд диагностических и прочих задач программным способом, а не схемотехнически, как в других ПТК, что обуславливает возможность снижения стоимости модуля. Кроме того, благодаря существенному уменьшению плотности монтажа компонент на модулях можно расширить рабочий температурный диапазон последних от - 25 до 70 °С и снизить их энергопотребление;

– в архитектуре интеллектуальных MIF-модулей используется мезонинная технология, согласно которой в контроллере только один тип модуля-носителя с встроенным обрабатывающим микропроцессорным ядром, а все коммуникационные функции и функции ввода/вывода устройства связи с объектом (УСО) определяются проектно-компоновочной установкой мезонинных submodule аналогового и дискретного ввода/вывода, что существенно

сокращает стоимость ЗИП и упрощает обслуживание системы. В ПТК других поставщиков используется до нескольких десятков разнотипных модулей;

– для коммуникаций контроллеров применяются MIF-модули MIF-PPC на базе суперскалярного RISC процессора нового поколения с архитектурой PowerPC PPC860T и встроенным контроллером Ethernet-100. Это позволяет организовать стандартную (100 Мбит) сеть с коммутируемыми каналами, в десятки раз превосходящую по своей производительности сети в ПТК других поставщиков. При этом ее стоимость может быть значительно ниже, чем сетей других поставщиков, так как она построена исключительно на стандартных программно-аппаратных средствах и не требует покупки уникального и дорогостоящего фирменного оборудования и ПО. Коммутационные модули в контроллерах дублированы;

– электропитание ПТК дублируется: один фидер переменного тока 220 В с АВР подключен к двум разным секциям шин собственных нужд, а второй фидер постоянного тока 220 В — к стационарной батарее. По такой схеме питаются все контроллеры и серверы. Для обеспечения бесперебойного питания АРМ, мониторов, вспомогательных компьютеров и сетевых коммутаторов Ethernet используются стационарные дублированные источники двойного преобразования с подключаемой батареей;

– ПТК «Торнадо-М» не содержит промежуточных кроссовых шкафов, так как в нем обеспечен прием полевых сигналов непосредственно блоками полевых интерфейсов, образующих УСО. В УСО используются типовые стандартные клеммные пружинные зажимы типа «Wago», которые существенно облегчают монтаж и делают его более компактным. Это еще один существенный фактор, обуславливающий снижение стоимости рассматриваемого ПТК.

Структура ПТК, производимых практически всеми фирмами, одна и та же. Следует отметить наметившуюся тенденцию к упрощению ПТК и снижению их стоимости. Если раньше на уровне контроллеров в обязательном порядке применялась детерминированная сеть, то сейчас практически все обходятся

промышленной сетью Ethernet. Скорость передачи данных (100 Мбит) и технические средства позволяют сделать ее условно детерминированной, что никак не отражается на функциональных возможностях системы в целом.

ПТК «Торнадо-1» для вспомогательных технологических установок и котельных, предназначен для построения систем управления небольших объектов и вспомогательных установок. В отличие от ПТК «Торнадо-М» здесь используется модульный интеллектуальный контроллер МІС. Если МІF-контроллеры имеют мультипроцессорную архитектуру с распределенной обработкой, то в МІС-контроллерах архитектура — однопроцессорная. Кроме того, в них не предусматривается «горячая» замена модулей. Контроллеры «Торнадо-1» оснащены МІF-модулями на базе суперскалярного RISC процессора нового поколения с архитектурой PowerPC PPC860T с недублированной (100 Мбит) Ethernet сетью. ПТК «Торнадо-1» программно совместимы с контроллерами «Торнадо-М», что позволяет иметь те же средства разработки, сократить время инсталляции и понизить стоимость обслуживания; они также совместимы по мезонинным модулям УСО и БПИ, благодаря чему уменьшается объем ЗИП и соответственно стоимость оборудования.

Сотрудниками отделения парогенераторов и топочных устройств электростанций ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» разработана компьютерная программа расчетов циркуляционных характеристик и надежности естественной циркуляции котлов ТПЕ-216М, ТГМЕ-433 (Е-500), ПК-9.

Имеется возможность выполнить многовариантные расчеты при применении различных параметров котла. На основе полученных данных делается мониторинг и находится оптимальное решение. Определяются также показатели надежности циркуляции как при стационарном, так и при нестационарном режимах работы котла.

2 ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ КОТЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

2.1 Построение математической модели расчета котельного агрегата

В общетеоретическом плане моделирование означает осуществление каким-либо способом отображения или воспроизведения действительности для изучения имеющихся в ней объективных закономерностей. Обобщенно моделирование можно определить как метод опосредствованного познания, при котором изучаемый объект (оригинал) находится в некотором соответствии с другим объектом (моделью), причем объект-модель способен в том или ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса. Стадии познания, на которых может происходить такая замена, а также формы соответствия модели и оригинала могут быть различны. В процессе изучения модель служит самостоятельным объектом, позволяющим получить при его исследовании некоторые знания об объекте-оригинале. Но с другой стороны, модель используется для получения такой информации об оригинале, которую затруднительно или невозможно получить путем непосредственного исследования оригинала. Ясно, что для того, чтобы модель могла выполнить эту задачу, она должна быть не только сходной с оригиналом, но и отличаться от него. Отличие от оригинала — обязательный признак модели. Лишь в том случае, когда созданная модель отличается от оригинала как раз в тех отношениях, которые препятствуют непосредственному познанию оригинала, появляется возможность обойти эти препятствия.

Таким образом, отношение модели к оригиналу противоречиво: она обязательно должна быть сходна с ним и отлична от него. Благодаря этому в процессе моделирования от установления отношений сходства между одними элементами модели и оригинала можно осуществить переход к установлению отношений сходства между другими элементами оригинала и модели. Именно наличие такого перехода и дает возможность получить новые данные об оригинале, о тех его свойствах, связях, и соотношениях, которые на начальной ступени моделирования были еще не известны.

В настоящее время существуют и широко применяются различные виды моделей. В работе рассматривается и используется только один вид, а именно — математические модели, реализуемые на ЭВМ. В отличие от физического моделирования математическое моделирование позволяет изучать только те параметры оригинала, которые имеют математическое описание и связаны математическими соотношениями в уравнениях, относящихся как к модели, так и к оригиналу.

Математическая модель реального объекта есть некоторый математический объект, поставленный в соответствие данному физическому объекту. Естественно, что должны быть известны соотношения, которые выражают в виде математических зависимостей реальные физические связи.

Процесс математического моделирования включает в себя ряд этапов. Начинается он с постановки задачи, решение которой должно быть получено посредством использования модели. В соответствии с конкретной задачей необходимо выделить некоторые свойства и связи (отношения), исследование которых может привести к достижению цели. Следовательно, на данном этапе рассматриваемый объект изучается лишь под определенным углом зрения, т. е. более или менее односторонне. Второй этап — разработка математической модели. Создание математической модели предполагает предварительное осознание ее общей схемы, после чего можно переходить непосредственно к использованию метода моделирования. При разработке математической модели создается объект, в котором интересующие свойства и отношения оригинала могут быть изучены проще, чем при непосредственном его изучении. Объект как бы освобождается от связей и отношений, затрудняющих его познание. Необходимо подчеркнуть, что математическая модель может появиться только как следствие четкого формального описания рассматриваемого объекта с требуемой степенью приближения к действительности. На третьем этапе математическая модель, о которой ранее говорилось как о средстве познания, становится объектом исследования, проводится вычислительный эксперимент. При этом все действия производятся над моделью и направлены непосредственно на получение знаний об этом объекте, на установление законов его развития, его

свойств и отношений. Все эксперименты производятся только с моделью. Предметом теоретического анализа также является математическая модель. Важным преимуществом исследования модели является наличие возможности повторять многие явления для различных исходных условий и с различным характером их изменения во времени. При этом объекты, являвшиеся ранее лишь объектами наблюдения, благодаря математическому моделированию становятся объектами экспериментирования. На четвертом, заключительном этапе процесса математического моделирования необходимо рассматривать вопрос о переносе значений, полученных на математической модели, на реальный объект изучения. Знания, получаемые при исследовании математической модели, относятся прямо и непосредственно лишь к объекту изучения, т. е. к самой модели. Исследователя, однако, интересует не модель как таковая и не ее свойства, а свойства другого объекта (оригинала), который замещается моделью в процессе исследования. Возможность такого перевода знаний существует благодаря наличию определенного соответствия элементов и отношений модели элементам и отношениям оригинала. Связи соответствующих элементов и отношений одного множества (математической модели) с элементами и отношениями другого множества (оригинала) устанавливаются в процессе моделирования. Возможность установления этих связей в свою очередь позволяет определить правила переноса знаний, полученных с помощью математической модели, на моделируемый объект.

Вместе с тем при использовании метода математического моделирования необходимо иметь в виду качественно-количественную специфику моделируемого объекта и учитывать ее при переносе знаний с математической модели на оригинал. Здесь имеется в виду, прежде всего вопрос о точности получаемых данных. Среди главных факторов, от которых зависит точность результатов, получаемых в процессе математического моделирования, следует отметить степень адекватности описания объекта.

Методические принципы, принятые при исследовании, опыт и теоретические знания исследователя, а также уровень развития науки вообще определяют, насколько существенные связи и отношения объекта были выделены для их

описания и последующего изучения посредством математического моделирования и с какой точностью они были описаны.

Таким образом, успешность применения математического моделирования решающим образом зависит от того, насколько удачно была построена модель. При этом необходимо иметь в виду и характер соответствия модели оригиналу, и степень изученности модели, и удобство оперирования с ней.

Вычислительный эксперимент — метод изучения устройств или физических процессов с помощью математического моделирования. Он предполагает, что вслед за построением математической модели проводится ее численное исследование, позволяющее изучить поведение исследуемого объекта в различных условиях или в различных модификациях. Численное исследование модели дает возможность определять разнообразные характеристики процессов, оптимизировать конструкции или режимы функционирования проектируемых устройств. Более того, случается, что в ходе вычислительного эксперимента исследователь неожиданно открывает новые процессы и свойства, о которых ему ранее ничего не было известно.

Вычислительный эксперимент занимает промежуточное положение между натурным экспериментом и аналитическим исследованием.

Натурный (физический) эксперимент при надлежащей постановке может, вообще говоря, дать исчерпывающие и надежные результаты. И все же во многих случаях предпочтение отдается вычислительному эксперименту.

Дело в том, что в вычислительном эксперименте в роли опытной установки выступает не конкретное физическое устройство, а программа. Ее построение и последующие модификации, как правило, требуют существенно меньших затрат, чем подобные манипуляции над реальным объектом.

Кроме того, в опытной установке нередко просто невозможно бывает воссоздать некоторые критические режимы или экстремальные условия. Поэтому математическое моделирование может оказаться практически единственным возможным способом исследования.

При аналитическом подходе так же, как и в вычислительном эксперименте, строится математическая модель. Но исследуется эта модель исключительно

посредством аналитических выкладок, без привлечения каких-либо численных методов. Если аналитических выкладок оказывается достаточно, то данный подход приводит к строгому точному решению.

Однако на практике, как это ни парадоксально, аналитическому подходу обычно отводится роль инструмента для (сравнительно быстрого) получения грубых оценок. Объясняется это тем, что аналитическими выкладками удается ограничиться только для несложных, сильно упрощенных моделей реальных процессов. Получаемое тут строгое аналитическое решение на самом деле в силу исходного огрубления модели оказывается весьма далеким от совершенства. Напротив, численные методы, применяемые в вычислительном эксперименте, дают возможность изучать более сложные модели, достаточно полно и точно отражающие исследуемые процессы.

Отмеченные достоинства вычислительного эксперимента вывели его в число основных методов исследования таких крупных физических и инженерно-технических проблем, как задачи ядерной энергетики, освоения космического пространства и др.

Программные комплексы, обслуживающие вычислительный эксперимент, объемны и сложны, в их создание вовлечен многочисленный отряд программистов. Поэтому особую актуальность приобретает изучение возникающих здесь конфигурационных построений, которые, как будет видно из дальнейшего изложения, постоянно находятся в центре внимания участников такого рода разработок.

В цикле вычислительного эксперимента можно выделить следующие этапы (см. рисунок 2.1):

Этап первый. Построение математической модели (составление уравнений, описывающих исследуемое явление).

Этап второй. Выбор численных методов расчета (построение дискретной модели, аппроксимирующей исходную математическую задачу, построение разностной схемы, разработка вычислительного алгоритма и т. д.).

Этап третий. Создание программы, реализующей вычислительный алгоритм.

Этап четвертый. Проведение расчетов и обработка полученной информации.

Этап пятый. Анализ результатов расчетов, сравнение (если это возможно) с натурным экспериментом.



Рисунок 2.1 – Цикл вычислительного эксперимента

Обычно на последнем (пятом) этапе исследователь приходит к заключению о том, что необходимо внести определенные изменения в решения, принятые на этапах первом, втором или третьем.

Так, может выясниться, что построенная модель недостаточно хорошо отражает особенности исследуемого явления. В этом случае модель корректируется, вносятся соответствующие поправки в численные методы и реализующие их программы и выполняется новый расчет. Тем самым цикл вычислительного эксперимента воспроизводится в полном объеме.

При анализе результатов могут быть выявлены какие-либо недостатки используемых численных методов, связанные, в частности, с соображениями точности или эффективности. Изменение методов влечет за собой изменение соответствующих программ и т.д. Иначе говоря, цикл повторяется в несколько сокращенном виде (этапы со второго по пятый).

Наконец, может оказаться неудачным некоторое программное решение, например выбранный способ работы с внешней памятью. Пересмотр таких решений приводит к повторению этапов с третьего по пятый.

Вместе с тем при использовании метода математического моделирования необходимо иметь в виду качественно-количественную специфику моделируемого объекта и учитывать ее при переносе знаний с математической модели на оригинал. Здесь имеется в виду, прежде всего вопрос о точности получаемых данных. Среди главных факторов, от которых зависит точность результатов, получаемых в процессе математического моделирования, следует отметить степень адекватности описания объекта.

Методические принципы, принятые при исследовании, опыт и теоретические знания исследователя, а также уровень развития науки вообще определяют, насколько существенные связи и отношения объекта были выделены для их описания и последующего изучения посредством математического моделирования и с какой точностью они были описаны.

Таким образом, успешность применения математического моделирования решающим образом зависит от того, насколько удачно была построена модель. При этом необходимо иметь в виду и характер соответствия модели оригиналу, и степень изученности модели, и удобство оперирования с ней.

2.2 Постановка задачи моделирования

Режим работы котлоагрегата характеризуется нагрузкой и совокупностью значений параметров, определяющих экономичность процесса производства пара. Каждому режиму работы котлоагрегата отвечает определенное значение параметров теплоносителя соответственно по газовому и паровому трактам.

Если значения всех параметров, определяющих режим работы котлоагрегата, остаются неизменными, то такой режим называется стационарным или установившимся. Переменные режимы котлоагрегата состоят из последовательно проходимых установившихся режимов. При переходе от одного стационарного режима к другому параметры, характеризующие работу котлоагрегата, изменяются от одного установившегося значения к другому. Процессы, которые при этом происходят, называются переходными или неустановившимися.

Изменение во времени параметров при неустановившемся режиме зависит от динамических характеристик котлоагрегата. Динамические характеристики

являются определяющими для разработки систем автоматического регулирования и выбора параметров настройки авторегуляторов.

С точки зрения эксплуатации и организации режимов работы котлоагрегатов основное значение имеют установившиеся режимы. При таких режимах зависимость между выходными и входными параметрами котлоагрегата определяется тепловыми, или статическими, характеристиками.

Предлагаемая математическая модель котла предназначена для решения в автоматизированном режиме следующих частных задач:

- расчета расхода сожженного котлом топлива;
- расчета потерь теплоты и определения КПД котла брутто;
- исследования влияния на экономичность работы котла эксплуатационных параметров;
- обработки данных теплотехнических испытаний котла и построения его нормативной характеристики.

Исходными данными для модели расчета котла являются:

- тип котельного агрегата, выбранного для расчета, и его конструктивные параметры;
- топливо, его состав и технологические характеристики;
- режим работы котла;
- температура, давление и теплосодержание питательной воды;

Ограничения, применяемые при построении разработанной математической модели котельных агрегатов:

- тип котельного агрегата – паровой;
- моделируемый котельный агрегат должен быть с высокими или сверхкритическими параметрами пара;
- способ сжигания топлива – факельный;
- тип топки – камерная;
- минимальная нагрузка котла – 60% от номинальной;
- максимальная нагрузка котла – 120% от номинальной;

Тепловое совершенство конструкции котла, а также качество его эксплуатации характеризуются тепловым балансом, составляемым для установившегося режима работы:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (2.1)$$

или в долях располагаемой теплоты, внесенной в топку,

$$1 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (2.2)$$

где,

Q_p^p — располагаемая теплота топлива;

Q_1, q_1 — теплота, полезно используемая в котле;

Q_2, q_2 — потери теплоты с уходящими газами;

Q_3, q_3 — потери теплоты от химической неполноты сгорания;

Q_4, q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания;

Q_5, q_5 — потери теплоты в окружающую среду;

Q_6, q_6 — потери теплоты с физической теплотой шлака.

Для определения теплоты топлива q_1 , полезно используемого в котле, обычно применяются два метода — прямой и косвенный (методы прямого и обратного баланса).

Выражение для определения полезно используемой теплоты по прямому балансу имеет вид:

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{ад}}}{\hat{A}}; \eta_e^{\text{ад}} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} \quad (2.3)$$

где,

$Q_{\text{бр}}$ — полное количество теплоты, полезно использованной котлом;

\hat{A} — расход топлива;

$\eta_k^{\text{бр}}$ — тепловой КПД брутто котла.

По обратному балансу Q_1 и $\eta_k^{\text{бп}} = q_1$ определяются соответственно из формул 2.1 и 2.2. Подсчет $\eta_k^{\text{бп}}$ по обратному балансу имеет ряд преимуществ по сравнению с прямым балансом. Обратный баланс дает необходимую информацию для детализированного анализа экономичности работы котла и выявления причин пережогов топлива. Кроме того, обратный баланс не требует непосредственного измерения расхода и теплоты сгорания топлива, что существенно повышает точность при определении $\eta_k^{\text{бп}}$ по сравнению с прямым балансом (особенно при сжигании мазута и угля). Поэтому математическая модель котла ориентирована на обратный баланс. В общем виде модель экономичности котла представлена следующим набором функционалов:

$$Q_p^p = f(C_i, \alpha_i, Q_{\text{ái}}, Q_{\text{ñè}}, Q_{\text{ó}}); \quad (2.4)$$

$$q_2 = f(W_k, C_i, \alpha_i, O_2, t_{\text{á}}, t_{\text{óá}}, t_{\text{ád}}, q_4); \quad (2.5)$$

$$q_3 = f(C_i, \alpha_i, O_2, \dot{I}_i); \quad (2.6)$$

$$q_4 = f(\check{A}_{\text{т}}, \check{A}_{\text{ç}}, \check{A}_{\text{ói}}, \dot{f}_{\text{рэ}}, \dot{f}_{\text{çè}}, \dot{f}_{\text{ói}}, \dot{R}^d); \quad (2.7)$$

$$q_5 = f(W_k); \quad (2.8)$$

$$q_6 = f(\dot{f}_{\text{рэ}}, \dot{N}_{\text{рэ}}, t_{\text{рэ}}, \dot{R}^d); \quad (2.9)$$

$$\eta_{\text{е}}^{\text{ád}} = q_1 = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6); \quad (2.10)$$

$$B = \frac{Q_{\text{ád}}}{\eta_{\text{е}}^{\text{ád}}}; \quad (2.11)$$

$$W_{\text{эфéп}} = f(C_i, t_{\text{á}}, t_{\text{óá}}, S_{\text{нío}}, N_{\text{нá}}); \quad (2.12)$$

$$W_{\text{эци}} = f(C_i, t_a, t_{\text{оа}}, S_{\text{нл}}, N_{\text{на}}, N_{\text{о}}).$$

(2.13)

Эксплуатационные ограничения:

$$W_{\text{эфен}} \leq W_e \leq W_{\text{эци}} \quad (2.14)$$

где,

C_i — элементарный состав каждого вида топлива;

α_i — доля каждого вида топлива в смеси по теплоте;

$Q_{\text{вн}}$ — теплота, вносимая в топку с воздухом, подогретым вне котла;

$Q_{\text{тл}}$ — теплота, вносимая в топку с топливом, подогретым вне котла;

$Q_{\text{ф}}$ — теплота, вносимая в топку с форсуночным паром;

$W_k = D_k$ — паровая нагрузка котла.

O_2 — содержание кислорода в уходящих газах;

$t_v = t_{\text{пв}}$ — температура питательной воды парового котла;

$t_{\text{хв}}, t_{\text{вп}}$ — температура холодного и подогретого воздуха;

N_i — долевой состав продуктов неполного сгорания топлива в уходящих газах (CO, H₂, CH₄ и др.);

$\Gamma_{\text{ш}}, \Gamma_{\text{з}}, \Gamma_{\text{ун}}$ — содержание горючих в шлаке, золе и уносе;

$a_{\text{ш}}, a_{\text{з}}, a_{\text{ун}}$ — доля золы в шлаке, золе и уносе;

A^p — зольность на рабочую массу топлива;

$c_{\text{ш}}, t_{\text{ш}}$ — теплоемкость и температура шлака;

$S_{\text{тех}}$ — техническое состояние котла;

$N_{\text{тд}}$ — мощность тягодутьевой установки;

$N_{\text{ц}}$ — мощность циркуляционных насосов водогрейного котла;

$W_{\text{макс}}, W_{\text{мин}}$ — эксплуатационные ограничения по максимальной и минимальной паропроизводительности $D_{\text{макс}}, D_{\text{мин}}$ парового котла.

Представление модели котла в виде набора функционалов иллюстрирует влияние рассматриваемых переменных на его характеристику.

При решении каждой конкретной задачи в зависимости от требований, предъявляемых к точности математической модели, и наличия исходных данных количество переменных в функционалах с 2.4 по 2.13 может быть ограничено. Например, если математическая модель (ММ) применяется при решении задач расчета и анализа эксплуатационных показателей котла, используется весь набор параметров ММ, так как, с одной стороны, это необходимо для проведения детализированного анализа, а с другой стороны, значения параметров известны по данным измерений. Если же модель используется при решении задач оптимизации проектирования или планирования, значения многих параметров не известны, а степень их влияния на характеристику котла находится за пределами точности, предъявляемой к такого рода расчетам. В этих случаях модель котла упрощается.

Предлагаемая модель позволяет не только решать задачу определения КПД котла и расхода топлива, но также исследовать влияние различных эксплуатационных параметров на характеристику котла и производить пересчет характеристики на новые значения параметров.

Алгоритм расчета построен таким образом, что все виды газообразных топлив, входящих в смесь, пересчитываются на элементарный состав твердого топлива, а затем расчет производится для одного смешанного вида топлива, физические характеристики которого являются средневзвешенными по тепловым долям компонентов смеси. В программе создан каталог топлив, содержащий данные о составе каждого вида топлива, что дает возможность вести многовариантные исследовательские расчеты как по изменению элементарного состава, так и по комбинациям топлива в смеси.

С помощью программы производится анализ влияния на q_2 различных смесей топлив, элементарного состава одного вида топлива, температуры уходящих газов, холодного и подогретого воздуха, питательной воды, содержания кислорода в уходящих газах (O_2).

2.3 Математический алгоритм расчета режима функционирования котельного агрегата

Элементарный состав заданного твердого, жидкого или газообразного топлива принимается на рабочую массу. Последовательная компоновка хвостовых поверхностей нагрева должна применяться при температуре горячего воздуха $t_{\text{А.А}} < 300$ °С, а компоновка в «рассечку» - при $t_{\text{А.А}} \geq 300$ °С. Рекомендуется применять вид топки, данный в чертежах, выбрав в зависимости от вида топлива, тип и расположение горелочных устройств. В зависимости от тугоплавкости золы, зольности и выхода летучих, выбирается тип шлакоудаления – жидкое или твердое.

Далее выбирается коэффициент избытка в топке и присосы воздуха в поверхностях нагрева парогенератора. Коэффициент избытка воздуха за каждой поверхностью нагрева после топочной камеры определяются нарастающим итогом путем суммирования избытка воздуха за предшествующей поверхностью с присосом очередной по ходу газов:

$$\alpha_i = \alpha_T + \sum_1^i \Delta\alpha, \quad (2.15)$$

где,

i - номер поверхности нагрева по ходу дымовых газов;

α_T - коэффициент избытка воздуха в топке.

Теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания топлива:

- при сжигании твердого тела и жидкого топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V^0 = 0,0889(C^P + 0,375S^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P; \quad (2.16)$$

- при сжигании газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V^0 = 0,0476 \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + 0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S - O_2 \right]. \quad (2.17)$$

Пример изображения схемы приведен на рисунке 2.2.

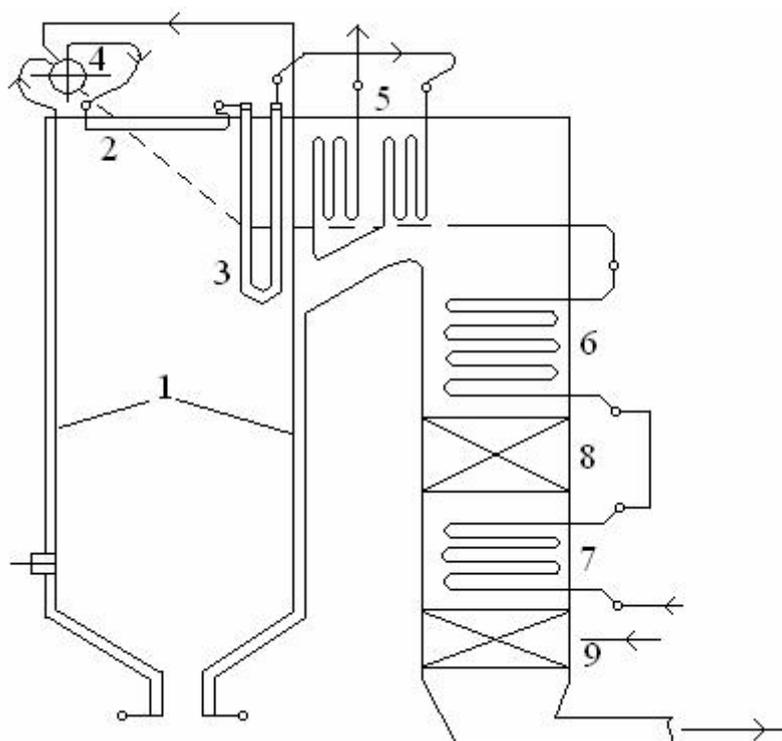


Рисунок 2.2 – Расчетная схема барабанного котла

Примечание: 1-топочные экраны (парообразующие поверхности нагрева); 2-потолочный пароперегреватель; 3- ширмовый пароперегреватель; 4- барабан котла; 5- конвективный пароперегреватель; 6, 7 - соответственно вторая и первая ступени экономайзера соответственно; 8, 9 - соответственно вторая и первая ступени воздухоподогревателя.

Теоретический объем азота:

- при сжигании твердого и жидкого топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100}; \quad (2.18)$$

- при сжигании газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \frac{N_2}{100}. \quad (2.19)$$

Объем трехатомных газов:

- при сжигании твердого и жидкого топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0186(C^P + 0,375S^P); \quad (2.20)$$

- при сжигании газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01\left(\sum mC_m H_n + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S}\right). \quad (2.21)$$

Теоретический объем водяных паров:

- при сжигании твердого и жидкого топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{N}_2\text{O}}^0 = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161V^0; \quad (2.22)$$

- при сжигании газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,1\left(\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum \frac{n}{2}C_m H_n + 0,124d_\Gamma\right) + 0,0161V^0, \quad (2.23)$$

где,

d_Γ - влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа, при расчетной температуре $10 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_\Gamma \approx 10 \text{ г/м}^3$.

Для расчета действительных объемов продуктов сгорания по поверхностям нагрева используются найденные коэффициенты избытков воздуха. Расчет сводится в таблицу 2.1.

Объем газов и водяных паров определяются по среднему коэффициенту избытка воздуха в поверхности нагрева, равному полусумме его значений на входе в поверхность и на выходе из нее.

Таблица 2.1 - Объем газов, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы, масса дымовых газов

Наименование величин	Размерность	$V^0 = V_{N_2}^0 = V_{RO_2} =$ $V_{H_2O}^0 =$	
		Топка и фестон	Остальные по ходу газов поверхности нагрева
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α	-		
Коэффициент избытка воздуха, α_{CP}	-		
Суммарный присос воздуха $(\alpha_{CP} - 1) \cdot V^0$	$M^3/KГ,$ (M^3/M^3)		
Действительный объем водяных паров $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,016 \cdot (\alpha_{CP} - 1) V^0$	$M^3/KГ,$ (M^3/M^3)		
$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) V^0$	$M^3/KГ,$ (M^3/M^3)		
$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}$	-		
$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}}$	-		
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	-		
Масса дымовых газов $G_{\Gamma} = 1 - \frac{A^P}{100} + 1,306 \cdot \alpha_{CP} \cdot V^0$	КГ/КГ		
$\mu_{3\Lambda} = \frac{A^P \cdot \alpha_{yH}}{100 \cdot G_{\Gamma}}$	КГ/КГ		

Окончание таблицы 2.1

Удельный вес дымовых газов	кг/м ³		
$\gamma_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{V_{\Gamma}}$			

По среднему объему газов в поверхности рассчитывается в дальнейшем средняя скорость газового потока, определяющая конвективный теплообмен. Определенные в таблице объемные доли трехатомных газов, и концентрация золовых частиц используются для последующего расчета лучистого теплообмена. Доля золы, уносимая потоком газов, a_{0i} зависит от конструкции топочной камеры и горелок, а также от способа сжигания топлива.

Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия теоретически необходимого воздуха при соответствующей температуре газов ϑ , кДж/кг (кДж/м³):

$$H_B^0 = V^0 (c\vartheta)_B, \quad (2.24)$$

где,

$(c\vartheta)_B$ - энтальпия 1 м³ влажного воздуха, кДж/м³.

Энтальпия дымовых газов при $\alpha = 1$ и температуре газов ϑ , кДж/кг (кДж/м³):

$$H_{\Gamma}^0 = V_{RO_2} (c\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2}^0 (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (c\vartheta)_{H_2O}, \quad (2.25)$$

где,

$(c\vartheta)_{RO_2}$, $(c\vartheta)_{N_2}$, $(c\vartheta)_{H_2O}$ - энтальпии 1 м³ трехатомных газов, азота и водяных паров соответственно, определяются в зависимости от температуры газов, кДж/м³.

Энтальпия золы, содержащейся в дымовых газах, кДж/кг:

$$H_{зл} = \frac{A^p \cdot \alpha_{oi}}{100} (c\vartheta)_{зл}, \quad (2.26)$$

где,

$(c\vartheta)_{зл}$ - энтальпия 1 кг золы, кДж/кг.

При приведенной величине уноса золы из топки равной

$$10^3 \frac{\alpha_{oi} \cdot A^p}{Q_H^p} \leq 1,5, \quad (2.27)$$

значением энтальпии золы можно пренебречь.

Для всех видов топлив энтальпия продуктов сгорания при избытке воздуха $\alpha \geq 1$, кДж/кг (кДж/м³), определяется по формуле:

$$H_{г} = H_{г}^0 + (\alpha_{ср} - 1)H_{в}^0 + H_{зл}. \quad (2.28)$$

Результаты расчета энтальпий газов при действительных избытках воздуха в поверхностях нагрева сводятся в таблицу 2.2. Поскольку, на данном этапе расчета, температура газов за той или иной поверхностью нагрева неизвестна, расчет энтальпий газов выполняется на весь возможный за этой поверхностью диапазон температур.

Тепловой баланс парогенератора

Составление теплового баланса парогенератора заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат количеством тепла, называемым располагаемым теплом Q_p^p , и суммой полезно использованного тепла Q_1 и тепловых потерь Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6 .

На основании теплового баланса вычисляются коэффициент полезного действия и необходимый расход топлива.

Тепловой баланс и все последующие расчеты выполняются на номинальную нагрузку парогенератора.

Таблица 2.2 - Энтальпия продуктов сгорания

Температура, °С	Теоретическая энтальпия воздуха, кДж/кг, (кДж/м ³)	Теоретическая энтальпия газов, кДж/кг, (кДж/м ³)	Энтальпия золы, кДж/кг, (кДж/м ³)	Энтальпия газов, Н _Г , кДж/кг (кДж/м ³)					
				$\alpha_{\text{ТОПКИ}}^{\text{СР}}$		$\alpha_{\text{СР}}$ последующих поверхностей нагрева по ходу дымовых газов			
t	H _В ⁰	H _Г ⁰	H _{ЗЛ}	Н	ΔН	Н	ΔН	Н	ΔН
2200									
2100									
2000									
1900									
«-»									
«-»									
«-»									
300									
200									
100									

Общее уравнение теплового баланса на единицу топлива, кДж/кг (кДж/м³):

$$Q_P^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (2.29)$$

Располагаемое тепло определяется по формулам:

- для твердого и жидкого топлива, кДж/кг:

$$Q_P^P = Q_H^P + Q_{B.VH} + Q_{TA} + Q_\phi; \quad (2.30)$$

- для газообразного топлива, кДж/м³:

$$Q_P^P = Q_H^C + Q_{B.VH} + Q_{TA}, \quad (2.31)$$

где,

Q_H^P, Q_H^C - низшая теплота сгорания рабочей массы твердого и жидкого, и сухой массы газообразного топлива, кДж/кг (кДж/м³);

$Q_{B.VH}$ - тепло внешнего подогрева, подаваемого в парогенератор воздуха за счет посторонних источников тепла, кДж/кг (кДж/м³);

Q_{TA} - физическое тепло топлива, кДж/кг;

Q_ϕ - тепло, вносимое в парогенератор с паровым дутьем (учитывается при сжигании мазута с применением форсунок парового распыливания).

Тепло внешнего подогрева воздуха, кДж/кг (кДж/м³):

$$Q_{B.VH} = (\alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{ПЛ} + \Delta\alpha_{ВП}) \left[(H_B^O)^Y - H_{XB} \right], \quad (2.32)$$

где,

$\Delta\alpha_{ПЛ}$ - присос воздуха в пылеприготовительную установку;

$\Delta\alpha_{ВП}$ - присос воздуха в воздухоподогреватель;

$(H_B^O)^Y$ - энтальпия теоретического объема при температуре его предварительного подогрева вне парогенератора, определяется по температуре $t'_{ВП}$ согласно таблицы 2.3 линейной интерполяцией H_B^O (по таблице 2.2);

H_{XB} - энтальпия теоретического объема холодного воздуха при температуре $t_{XB} = 30$ °С, определяется из таблицы 2.2.

Подогрев воздуха до 70 °С осуществляется за счет рециркуляции горячего воздуха, более высокий подогрев – с помощью паровых и водяных калориферов.

Таблица 2.3 - Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель

Сжигаемое топливо	Рекомендуемая температура, °С
Сухое, $W^n \leq 0,7$, % кг/МДж	30
Умеренно влажное, $W^n = 1 \div 5$, % кг/МДж	45-55
Сильно влажное, $W^n \geq 5$, % кг/МДж	60-70
Природный газ	30
Мазут малосернистый, $S^p \leq 0,5\%$	30
Мазут сернистый, $S^p = 0,5 - 2,0\%$	50-70
Мазут высокосернистый, $S^p \geq 2,0\%$	80-100

Приведенная влажность W^n рассчитывается по формуле, % кг/МДж:

$$W^n = \frac{W^p}{Q_H^p}, \quad (2.33)$$

где,

W^p - влажность рабочей массы топлива, %;

Q_H^p - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Физическое тепло топлива, кДж/кг:

$$Q_{NE} = c_{NE}^p \cdot t_{NE}. \quad (2.34)$$

Теплоемкость рабочей массы, кДж/кг:

$$c_{\text{NE}}^{\text{D}} = c_{\text{NE}}^{\text{N}} \frac{100 - W^{\text{P}}}{100} + \frac{W^{\text{P}}}{100}, \quad (2.35)$$

где $c_{\text{ТЛ}}^{\text{C}}$ - теплоемкость сухой массы топлива, кДж/(кг×К), принимается по таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Теплоемкость сухой массы топлива

Топливо	Температура сухой массы топлива, °С			
	0	100	200	300
Антрацит и тощие угли	0,92	0,96	1,05	1,13
Каменный уголь	0,96	1,09	1,26	1,42
Бурый уголь	1,09	1,26	1,46	-
Сланцы	1,05	1,13	1,30	-
Торф	1,30	1,51	1,80	-

Теплоемкость мазута составляет, кДж/кг×К,

$$c_{\text{NE}}^{\text{N}} = 1,74 + 0,0025 \cdot t_{\text{NE}}^{\text{E}}, \quad (2.36)$$

где,

$t_{\text{ТЛ}}^{\text{M}}$ - температура мазута, °С. Температура мазута определяется его подогревом и обычно составляет $t_{\text{ТЛ}}^{\text{M}} = 90 \div 130$ °С.

При отсутствии постороннего подогрева физическое тепло топлива учитывается для топлив с $W^{\text{P}} > 1,6 \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot 10^{-3}$.

В этом случае температура топлива принимается 20 °С.

Физическое тепло топлива при сжигании газообразного топлива принимается равным нулю.

Коэффициент полезного действия парогенератора определяется по обратному балансу, %:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (2.37)$$

Потеря тепла с уходящими газами, %:

$$q_2 = \frac{(H_{\text{ог}} - \alpha_{\text{ог}} \cdot \dot{I}_{\text{ог}}) \cdot (100 - q_4)}{Q_{\text{п}}^{\text{п}}} \quad (2.38)$$

где,

$H_{\text{ух}}$ – энтальпия уходящих газов, определяется по величине $q_{\text{ух}}$ (рекомендации по выбору приведены в таблице 2.5) по таблице 2.2 при $\alpha_{\text{ух}}$;

$\alpha_{\text{ух}}$ – коэффициент избытка воздуха в последней по ходу газов ступени нагрева.

Таблица 2.5 - Температура уходящих газов

Топливо		Рекомендуемая температура $q_{\text{ух}}, ^\circ\text{C}$
Твердое	Сухое $W^n \leq 0,7$, %кг/МДж	110-140
	Влажное $W^n = 1 \div 5$, %кг/МДж	110-160
	Сильновлажное $W^n > 5$, % кг/МДж	130-180
Мазут	Высокосернистый	150-160
	Сернистый	130-140
	Малосернистый	110-120
Природный газ		110-120

Большее значение – при высоких значениях давления перегретого пара.

Потери тепла от наружного охлаждения принимаются по таблице 2.6, составленной для номинальной производительности парогенератора. При нагрузках, отличающихся от номинальной, величина потерь тепла q_5 увеличивается и пересчитывается по формуле, %:

$$q_5 = q_5^{н\ddot{н}} \cdot D^{н\ddot{н}} / D, \tag{2.39}$$

где,

$D^{н\ddot{н}}$ – номинальная производительность парогенератора, т/ч.

Таблица 2.6 - Потери тепла от наружного охлаждения

Паропроизводительность $D^{н\ddot{н}}$, т/ч	35	75	120	170	230	320	420
Потери тепла $q_5^{н\ddot{н}}$, %	1,1	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5	0,4

Для учета потери тепла на охлаждение по газходам определяется коэффициент сохранения тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{Д\ddot{А}}} + q_5}. \tag{2.40}$$

Потери тепла с физическим теплом шлака, %,

$$q_6 = \frac{a_{\text{р\ddot{н}}} (ct)_{\text{р\ddot{н}}} A^p}{Q_p^p}, \tag{2.41}$$

где,

$a_{\text{р\ddot{н}}} = 1 - f_{\text{о\ddot{н}}}$ – доля шлакоудаления;

$(\acute{n}t)_{\text{р\ddot{н}}}$ – энтальпия шлака.

Температура шлака при твердом шлакоудалении принимается равной 600 °С, а при жидком шлакоудалении – t_3+100 . Температура начала плавления золы t_3 указана в таблицах для данного вида топлива.

Полное количество теплоты, полезно отданное в парогенераторе, кВт:

$$Q_{\dot{D}\dot{A}} = D_{\dot{D}\dot{D}}(h_{\dot{D}\dot{D}} - h_{\dot{D}\dot{A}}) + D_{\dot{D}\dot{D}}(h_{\dot{E}\dot{C}\dot{D}} - h_{\dot{D}\dot{A}}) + D_{\dot{A}\dot{N}\dot{D}\dot{D}}(h_{\dot{A}\dot{N}\dot{D}\dot{D}}'' - h_{\dot{A}\dot{N}\dot{D}\dot{D}}'), \quad (2.42)$$

где,

$D_{\text{ПП}}$ – количество выработанного перегретого пара, кг/с;

$D_{\text{ПР}}$ – расход воды на продувку котла, кг/с;

$D_{\text{ВТ.ПП}}$ – расход пара через вторичный пароперегреватель, кг/с;

$h_{\text{ПП}}, h_{\text{ПВ}}, h_{\text{КИП}}$ – энтальпия соответственно перегретого пара, питательной воды и кипящей воды в барабане парогенератора, кДж/кг. Энтальпия определяется по соответствующим температурам с учетом изменения давления по рабочему тракту парогенератора;

$h_{\text{ВТ.ПП}}'', h_{\text{ВТ.ПП}}'$ – энтальпия вторичного пара на входе и выходе из пароперегревателя, кДж/кг.

При определении и величины давления пара в барабане парогенератора и давления питательной воды на входе в водяной экономайзер можно руководствоваться следующими соотношениями:

$$D_{\dot{A}} = 1,1 \cdot D_{\dot{D}\dot{D}}, \quad (2.43)$$

$$D_{\dot{D}\dot{A}} = (1,05 \div 1,08) \cdot D_{\dot{A}}, \quad (2.44)$$

где коэффициент 1,05 относится к парогенераторам высокого давления, а коэффициент 1,08 – парогенераторам среднего давления.

Расход топлива, кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$\hat{A} = \frac{Q_{\text{пг}}}{Q_{\text{р}} \eta_{\text{пг}}}. \quad (2.45)$$

Расчетный расход топлива, кг/с:

$$\hat{A}_{\text{р}} = \hat{A} \times \left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \quad (2.46)$$

2.4 Погрешности, возникающие при моделировании котельных агрегатов

В рассматриваемой задаче оптимизации параметров и профиля теплоэнергетических установок основными видами погрешностей являются:

- погрешность от упрощений при постановке задачи (исключение учета второстепенных факторов и отказ от оптимизации второстепенных независимых параметров);
- погрешность используемых аналитических зависимостей и методов расчета;
- погрешность аппроксимации исходных зависимостей;
- погрешность решения системы балансовых уравнений и расчета функции цели;
- погрешность задания исходных данных;
- погрешность метода решения задачи оптимизации;
- вычислительная погрешность.

Как видно из приведенного перечня, первые три погрешности связаны с построением математических моделей теплоэнергетических установок, четвертая и последняя — с реализацией этих моделей на ПЭВМ, а пятая—с практическим использованием построенных моделей.

Погрешность от упрощений при постановке задачи.

Известно, что математическая модель тем ближе к описываемой установке, чем более полно выявлены и учтены физические, технические и экономические зависимости, характеризующие рассматриваемую установку и ее внешние связи. С другой стороны, как ни велики возможности современных ПЭВМ, объем решаемой задачи должен быть ограниченным. Поэтому при изучении с помощью ПЭВМ сложных теплоэнергетических установок приходится, как правило, упрощать моделирующую систему по сравнению с реальной (моделируемой).

В связи с этим возникает естественная и очень важная проблема определения потери точности, которой достигается такое упрощение. При разработке математических моделей на анализ соответствия созданных моделей действительным моделируемым системам, т. е. на рассмотрение вопроса о том, в какой мере полученные математические модели отражают природу и основные свойства теплоэнергетических установок, должно быть обращено особое внимание. Строго говоря, нельзя пользоваться методом математического моделирования теплоэнергетических установок, если неизвестно, насколько изучаемая эквивалентная модель отличается от моделируемой установки. Вместе с тем следует отметить, что методы эквивалентирования применительно к теплоэнергетическим установкам разработаны еще совершенно недостаточно. Применяемые в настоящее время подходы к эквивалентированию в значительной мере основаны на использовании инженерной специфики изучаемых установок. При математическом моделировании теплоэнергетических установок эквивалентное представление рассматриваемых объектов (систем) необходимо, по крайней мере, в двух случаях. Во-первых, для описания технологических процессов, происходящих в отдельных узлах установки, конструкций и технико-экономических характеристик этих узлов, а также для описания технологических и экономических связей как между узлами внутри рассматриваемой установки, так и с внешними по отношению к установке объектами и системами (как было сказано ранее, эквивалентирование здесь достигается описанием не всех, а только основных процессов, связей, характеристик рассматриваемой теплоэнергетической установки и внешних объектов и систем). Во-вторых, для описания непрерывно изменяющихся условий использования рассматриваемой

теплоэнергетической установки в течение полного периода ее эксплуатации. В этом случае непрерывно изменяющиеся условия заменяются эквивалентной статической моделью, рассматриваемой определенное число раз (через некоторый интервал времени) в течение полного срока эксплуатации установки.

Первый случай применения эквивалентирования является основным по его значению для возможности эффективного использования метода математического моделирования для технико-экономического анализа и оптимизации теплоэнергетических установок. Поэтому вначале остановимся на рассмотрении некоторых практических приемов его реализации с точки зрения поиска путей снижения погрешности решения задачи, являющейся следствием эквивалентирования.

Для этой цели с успехом используются сами разработанные математические модели, на которых производится серия исследований по выявлению влияния всех учитываемых факторов и параметров. Т.е. связи, параметры и характеристики, которые оказывают доминирующее влияние на величину расчетных затрат, выделяются при моделировании; некоторые из них дополнительно детализируются. Второстепенные факторы, влияние которых вписывается в допустимую погрешность определения расчетных затрат, наоборот, исключаются из дальнейшего рассмотрения. Аналогично часть второстепенных независимых параметров, эффект от оптимизации которых описывается в допустимую погрешность решения задачи, фиксируется на определенных значениях и в дальнейшем не оптимизируется. Применяя указанную последовательность усовершенствования математических моделей, можно либо, не меняя существенно размеров модели, значительно снизить величину погрешности, либо при неизменном значении величины заметно уменьшить размеры модели. Таким образом, принятые принципы построения математических моделей позволяют говорить о разработке оптимальных математических моделей, по крайней мере, в части полноты учета факторов и параметров. Здесь под оптимальной понимается математическая модель, в которой наилучшим образом сочетаются погрешности, получаемые на отдельных этапах решения рассматриваемой задачи.

Важно отметить, что указанный путь совершенствования математических моделей хорошо согласуется с принятой иерархической структурой системы моделей. Наиболее детальная проверка целесообразности учета большого числа факторов и оптимизации большого числа параметров производится в моделях отдельных узлов установки. В математических моделях агрегатов или групп узлов проверяются на целесообразность включения только те факторы и на целесообразность оптимизации только те параметры, которые соответственно учитываются и оптимизируются на стадии анализа отдельных узлов. Аналогично осуществляется отбор учитываемых факторов и оптимизируемых параметров при разработке математических моделей теплоэнергетических установок в целом, включающих в себя модели агрегатов, групп узлов и отдельных узлов.

Рассмотрим вопрос о численной величине погрешности. Непосредственно из анализа математических моделей узлов имеем оценки погрешностей, которые дает отказ от учета каждого второстепенного фактора в отдельности и отказ от оптимизации каждого второстепенного параметра в отдельности. Величина будет определяться совокупным действием большого количества (практически до несколько сотен) мелких погрешностей, причем значения этих погрешностей в подавляющем большинстве случаев взаимно независимы и носят случайный характер. Тогда можно считать, что часть из этих погрешностей положительна, а часть отрицательна, т. е. они в значительной степени компенсируют друг друга. Для определения суммарной предельной погрешности в этом случае можно применить законы теории вероятностей. Последняя, в частности, устанавливает, что если абсолютные погрешности слагаемых не превышают числа Δ_i , с вероятностью, превышающей число γ , то с той же мерой достоверности абсолютная предельная погрешность суммы n погрешностей может быть найдена из выражения:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (2.47)$$

т. е. для нахождения суммарной предельной ошибки нужно складывать не сами ошибки, а их квадраты (дисперсии). Из выражения (2.47) легко найти формулу для определения предельной суммарной относительной погрешности:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (2.48)$$

Применительно к рассматриваемой задаче необходимо определять не полную, а сравнительную погрешность. Здесь под термином «сравнительная погрешность» понимается погрешность построения математической модели, проявляющаяся при использовании ее для расчета вариантов однотипной теплоэнергетической установки с целью сравнения этих вариантов между собой. Сравнительная погрешность будет существенно меньше полной погрешности, так как при сравнительном анализе однотипных установок состав и тип узлов таких установок меняются очень незначительно, а как следствие последнего имеет место стабильность большей части совокупности второстепенных неучитываемых факторов и однозначность их воздействия на погрешность всей модели. При определении суммарной сравнительной погрешности отдельные составляющие от неучета второстепенных факторов и полном объеме следует принимать лишь для узлов установки, в которых произошли принципиальные изменения. Для остальной большей части узлов установки величины погрешности от неучета второстепенных факторов будут во всех сравниваемых вариантах одинаковы по знаку и мало отличаться по величине. Учитывать следует лишь эту разницу в их значениях. Аналогичное положение, хотя и в несколько меньшей мере, имеет место с элементарными, погрешностями, обусловленными отказом от оптимизации второстепенных параметров в модели установки.

Вернемся к вопросу об эквивалентном представлении непрерывно изменяющихся во времени условий эксплуатации теплоэнергетических установок. Естественно, что чем большим числом дискретных значений заменена соответствующая непрерывная зависимость, тем меньше погрешность эквивалентирования, но одновременно при этом возрастает время решения задачи

на ПЭВМ. Задача оптимального эквивалентирования применительно к этому случаю заключается в определении рационального соотношения потери точности постановки задачи оптимизации теплоэнергетической установки и затрат времени на ее решение. При этом должны учитываться другие погрешности решения задачи и прежде всего погрешность задания исходной информации об особенностях использования теплоэнергетической установки на перспективу. Практическая оценка погрешности эквивалентного описания учитываемых факторов, изменяющихся во времени, может быть получена путем сопоставления результатов расчетов, выполненных с использованием математических моделей, при варьировании степени приближения к исходной непрерывной зависимости, т. е. при изменении числа принимаемых дискретных значений. Выполнение соответствующих расчетных исследований показало, во-первых, реальность такого подхода к оценке величины погрешности эквивалентирования, а во-вторых, относительно небольшую долю данной погрешности в суммарной погрешности.

Анализ построения математических моделей тепловых электростанций с паротурбинными блоками и парогазовыми установками показывает, что полная погрешность от упрощений при постановке задачи составляет $0,12 - 0,15\%$, а сравнительная погрешность – $0,07 - 0,1\%$.

Погрешность используемых аналитических зависимостей и методов расчета.

Реальные процессы, происходящие в отдельных узлах современных теплоэнергетических установок, очень сложны. Существующие методы их расчета, основанные, как правило, на некоторых упрощающих допущениях и рассчитанные на применение ручного счета, дают результат с определенной погрешностью, причем весьма часто эта погрешность оказывается значительно выше минимально возможной по результатам физического эксперимента или теоретического исследования из-за требований сделать методы простыми и удобными для использования при ручном счете. Применение ПЭВМ, снимая в значительной степени проблему трудоемкости расчетных работ, способствует использованию наиболее точных методов расчета и тем самым существенно уменьшает данную погрешность.

Практически об определении величины погрешности можно говорить лишь в том случае, когда наряду с используемым есть более точный метод описания происходящих процессов или данные соответствующих испытаний. В противном случае можно лишь предполагать, что имеется погрешность, отражающая неполноту наших знаний о том или ином процессе; количественная оценка ее величины будет сугубо ориентировочной. При расчете сложных теплоэнергетических установок встречаются оба случая. Поэтому численная оценка погрешности также может быть сделана лишь ориентировочно. Поскольку отдельные элементарные погрешности являются независимыми и носят случайный характер, то здесь нужно учитывать эффект их взаимной компенсации.

Применительно к изучаемой погрешности также следует различать суммарную полную погрешность и суммарную сравнительную погрешность. Величина сравнительной погрешности даже для заданной математической модели является не постоянной, а переменной величиной, определяемой числом и глубиной варьируемых параметров. Так, если варьируется только один и к тому же не основной параметр, то, естественно, сравнительная погрешность будет очень мала. Если же варьируются одновременно все основные параметры и определяющие факторы, то ее значение, существенно возрастает.

Погрешность исходных зависимостей.

Как было сказано выше, при построении математических моделей теплоэнергетических установок вместо сложных исходных функциональных зависимостей часто оказывается целесообразным использовать их приближенное аналитическое описание в виде полинома. Подобная замена, с одной стороны, существенно облегчает построение и использование математической модели установки, а с другой стороны — вносит определенную погрешность в построение модели. Опыт построения математических моделей показывает, что величина относительной погрешности аппроксимации может быть найдена достаточно легко. Суммарную погрешность аппроксимации исходных зависимостей при необходимости можно уменьшить за счет повышения точности аппроксимации отдельных зависимостей путем перехода к аппроксимирующему полиному более высокой степени.

Анализ изменения погрешностей аппроксимированных зависимостей относительно исходных точных выражений показывает, что эти погрешности имеют ярко выраженный знакопеременный характер. Это означает, что для данного случая сравнительная суммарная погрешность близка по своей величине к полной суммарной погрешности.

Следует отметить, что широкое применение аппроксимирующих полиномов и как следствие этого наличие погрешности при построении математических моделей теплоэнергетических установок носят в значительной мере временный характер и связаны с непригодностью существующих методов «ручного» счета для их использования на ПЭВМ. В перспективе вся информация по методам расчета должна сразу выдаваться в виде, удобном для использования на ПЭВМ.

Погрешность решения системы балансовых уравнений и расчета функции цели.

При решении системы нелинейных узловых балансовых уравнений итерационным методом Зейделя, применение которого к данному классу задач оказывается целесообразнее, чем какого-либо другого, наличие погрешности обусловлено необходимостью ограничения числа итераций конечным числом. Проведенные исследования показали быструю сходимость расчета системы уравнений и возможность получения решения за приемлемое время с погрешностью определения параметров не более 0,01—0,05%.

Погрешность расчета функции цели вызывается наличием рассмотренной выше погрешности расчета системы балансовых уравнений и погрешности нахождения некоторых итерационно определяемых при расчете функции цели параметров и характеристик. Наличие второй составляющей погрешности зависит от технической сущности и особенностей моделируемого объекта, а также от принятого метода построения математической модели, прежде всего от способа представления материально-технических характеристик узлов. При использовании для определения величины расчетных затрат выражений материально-технических характеристик в исходном виде неизбежен итерационный счет, поскольку некоторые из характеристик имеют неявную форму. Однако доля таких неявно выраженных материально-технических узловых

характеристик в общей их сумме мала, а образующиеся при их определении вычислительные циклы, как правило, охватывают расчет только одного узла. Проведенный расчетный анализ показал, что величина второй составляющей погрешности расчета функции цели может быть достаточно легко, т. е. за приемлемое время счета на ПЭВМ, снижена до весьма малых значений. Применение аппроксимированных выражений позволяет полностью избежать итерационного счета при вычислении функции цели.

Суммарная погрешность расчета функции цели в соответствии с высокой точностью расчета системы балансовых уравнений и возможностью снижения до небольших значений второй ее составляющей также имеет невысокие значения.

Погрешность задания исходных данных.

Развитие топливно-энергетического хозяйства страны и тепловых электростанций как одного из его элементов надо считать детерминированным в отношении общего направления. Однако в этом общем направлении возможны существенные случайные отклонения. Действие случайных факторов приводит к тому, что значительная часть исходной информации имеет случайный характер, причем многие из случайных величин, образующих исходную информацию, не имеют вероятностного описания (например, в виде функции распределения).

Также отмечено отсутствие эффективных методов решения многофакторных нелинейных, оптимизационных задач в вероятностных и неопределенных условиях. В настоящее время, как правило, решение задач оптимизации теплоэнергетических установок базируется на детерминированном задании исходной информации с указанием возможного диапазона ее изменения. Подобное допущение, естественно, приводит к определенной некорректности постановки и решения задачи. В связи с этим появляется необходимость в определении величины погрешности, обусловленной указанным допущением.

Следует заметить, что величина возможного диапазона изменения исходных данных зависит, прежде всего, от срока, на который необходимо прогнозировать исходную информацию. Для теплоэнергетических установок, если оптимизационные расчеты выполняются в процессе самого проектирования, этот срок, включающий время выполнения рабочего проекта установки и выпуска

первых серийных агрегатов, может быть относительно небольшим (до пяти—семи лет). Однако в случаях, когда оптимизационные расчеты преследуют цели предварительного изучения новых типов установок, указанный срок соответственно возрастает до десяти лет и более.

Полная суммарная погрешность задания исходных данных может быть определена по выражению в предположении, что все элементарные погрешности независимы и носят случайный характер, за исключением погрешностей по характеристикам материалов. Поскольку в ряде узлов может применяться один и тот же материал, то погрешности задания его характеристик нельзя принимать независимыми.

Сравнительная суммарная погрешность определяется следующими составляющими:

– разницей в погрешности задания исходных данных в тех узлах теплоэнергетической установки, в которых произошли принципиальные изменения (смена хорошо известного вида материала на новый, более прогрессивный, но с менее определенными характеристиками; замена старого технологического процесса на новый, более прогрессивный, но с менее известными показателями и т. п.);

– погрешностью задания исходных данных во вновь появляющихся узлах теплоэнергетической установки. Число узлов, относящихся к этим двум типам, обычно невелико. Для всех остальных узлов теплоэнергетической установки, выполненных во всех рассматриваемых вариантах установки из одних и тех же материалов для осуществления неизменных видов технологических процессов, элементарные сравнительные погрешности равны пулю.

Для примера укажем, что полная суммарная погрешность задания исходных данных применительно к котельному агрегату высокого давления равна 0,5%, сравнительная суммарная погрешность - 0,25%.

Вычислительная погрешность.

Применительно к рассматриваемому классу задач при условии грамотного составления программы расчета на ПЭВМ суммарная вычислительная погрешность незначительная и практически ее можно не учитывать, т. е.

принимать равной 0. Сказанное справедливо как для решения первой части задачи — построения и реализации математических моделей теплоэнергетических установок, так и для рассматриваемой задачи комплексной оптимизации параметров теплоэнергетической установки.

Результирующая погрешность построения и реализации математических моделей

Значение результирующей погрешности построения и реализации математических моделей определяется исходя из условия, что все составляющие результирующей погрешности являются независимыми и имеют случайный характер изменения. Сопоставление отдельных составляющих результирующей погрешности позволяет судить о степени оптимальности построения и реализации математической модели теплоэнергетической установки.

Если все погрешности являются величинами одного порядка, то это свидетельствует об оптимальности построения математической модели. Если же погрешности сильно различаются между собой, то можно говорить о неоптимальности модели, так как на каких-то этапах ее построения и реализации вложен либо излишний труд, либо затрачено излишнее время счета на ПЭВМ, не приводящие к заметному повышению точности решения задачи.

Расчет погрешностей измерений.

Для правильного анализа экспериментальных данных необходимо определить величину погрешности измерений. Различают грубые, систематические и случайные ошибки.

Грубые ошибки, как правило, обнаруживаются при первичной обработке экспериментальных данных. Внешним признаком результата, содержащего грубую ошибку, является резкое отличие этой величины от остальных при примерно одинаковых условиях. Эти ошибки вызываются неправильностью отсчета по шкале измерительного прибора, ошибочной записью в журнале наблюдения и другими причинами, которые являются следствием невнимательности, недобросовестности или недостаточной квалификации наблюдателя. Результаты измерений с грубыми ошибками отбрасываются.

Систематические ошибки вызываются факторами, действующими одинаковым образом при многократном повторении одних и тех же измерений. В зависимости от причин, вызывающих систематические ошибки, некоторые из них могут быть или устранены в процессе измерений, или учтены с помощью соответствующих поправок при обработке экспериментальных данных. Например, поправка на гидростатическое давление при сниженном расположении манометра и др. Для избежания или сведения к минимуму систематических ошибок необходимо заранее глубоко продумать методику испытаний и со всей тщательностью провести монтаж схемы измерения.

Случайные ошибки возникают в результате суммирования большого количества факторов, действие каждого из которых не может быть определено в отдельности. Случайные ошибки являются неустраняемыми, а учет их влияния на оценку истинного значения измеряемой величины производится с помощью методов теории вероятностей.

Иногда, при обработке экспериментальных данных, интервал, в котором находится истинное значение измеряемой величины, определяется исходя только из класса точности прибора. Например, если вторичный прибор со шкалой 0 – 800°C имеет класс точности 0,5, то возможные значения температуры, исходя из приведенного выше, лежат в диапазоне ± 4 °C, а наиболее вероятным значением считается измеренное значение. Такое заключение о точности измерения не содержит достаточно информации и само по себе мало эффективно и может привести к противоречивым результатам, ибо оно не учитывает вероятности того, что действительная температура может лежать вне этого диапазона.

До недавнего времени при обработке результатов промышленных исследований котлоагрегатов не использовались вероятностные методы оценки точности измерений. Экспериментаторы производили качественную оценку работы котлоагрегата на основании, в основном, средних значений и представляли большое количество графиков и таблиц, усложняющих анализ результатов, особенно при сопоставлении результатов исследования разных методик и авторов. Нередко оценка точности результатов экспериментов носила субъективный характер. В настоящее время вопросу определения точности

измерений уделяется большое внимание, особенно на мощных энергетических блоках, в которых каждый процент ошибки существенно влияет на правильность определения их экономических показателей.

К сожалению, приходится констатировать, что методика расчета погрешностей измерений на промышленных котлоагрегатах мало освещена, в специальной технической литературе.

При обработке результатов эксперимента исследователю необходимо знать соотношение между средним значением измеряемой величины, вычисленной из последовательности нескольких измерений, и истинной величиной. Способ задания этого соотношения состоит в установлении границ около среднего значения, вне которых будет находиться, например, только 10% полученных при дальнейших измерениях значений. Величина ошибки измерения не является самостоятельно существующей величиной, а зависит от принятого уровня вероятности P .

Таким образом, для характеристики случайной ошибки необходимо задать два числа, а именно: величину ошибки (или доверительного интервала) и величину доверительной вероятности.

Доверительной вероятностью называется вероятность P того, что искомая величина x находится в интервале от $x - \Delta x$ до $x + \Delta x$, который называется доверительным интервалом.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины следует принять ее среднее арифметическое значение \bar{x} , вычисленное из всего ряда измеренных значений:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.49)$$

В формуле 2.49: x_i — единично измеренная величина; n — число измерений.

Средняя квадратичная ошибка при этом вычисляется по формуле:

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}. \quad (2.50)$$

В качестве меры рассеяния исследуемой величины используют величину дисперсии σ^2 , показывающей, как сильно отклоняются отдельные измерения от своего среднего значения. Корень квадратный из дисперсии σ называют стандартом. При большом числе наблюдений величина s_n стремится к некоторому постоянному значению $\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} (s_n)$. В практических расчетах пользуются выборочной дисперсией s_n^2 , считая, что $s_n^2 \approx \sigma^2$, а выборочный стандарт $s_n \approx \sigma$.

Относительная величина средней квадратичной ошибки w , выраженная в процентах, называется коэффициентом вариации:

$$w = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (2.51)$$

В качестве закона распределения случайных ошибок измерения чаще всего принимается многократно подтвержденный экспериментами нормальный закон распределения Гаусса, согласно которому

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(\Delta x)^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (2.52)$$

В формуле: e — основание натурального логарифма.

Доверительный интервал обычно оценивается числами кратными σ , причем в инженерных расчетах применяют три интервала: $\pm \sigma$, $\pm 2 \sigma$, $\pm 3 \sigma$. Доверительному интервалу $\pm \sigma$ соответствует доверительная вероятность 0,68. Для получения доверительной вероятности 0,95 и 0,997 доверительный интервал должен быть равен соответственно $\pm 2 \sigma$ и $\pm 3 \sigma$.

В обычных измерениях, проводимых на котлоагрегатах, можно ограничиваться доверительной вероятностью, для единичного измерения

величиной 0,9 или 0,95. Добиться доверительной вероятности в промышленных условиях трудно.

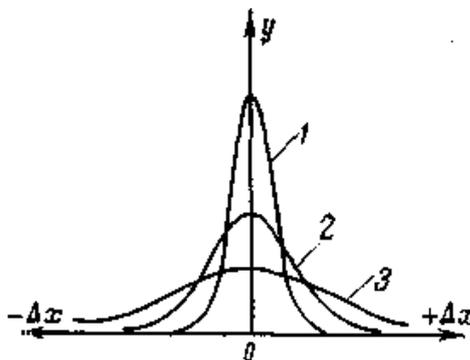


Рисунок 2.3 – Кривая нормального распределения при различных значениях σ .

Доверительная вероятность может быть рассчитана по формуле Гаусса для любой величины доверительного интервала. Результаты этих расчетов приведены в таблице 2-7. Ею рекомендуется пользоваться при определении любых, в том числе отличных от целых чисел значений σ .

Если число наблюдений невелико или даже равно единице (одно измерение), величина σ^2 и связанная с ней σ может быть вычислена по полученным ранее данным, а также из наблюдений на аналогичном оборудовании.

Стандарт σ_x распределения измеряемой величины x включает в себя как случайную ошибку измерения, так и нестабильность параметров объекта, причем эта нестабильность может намного превышать ошибку измерения. Из этого следует, что точность измерений, особенно в промышленных условиях, может быть повышена путем стабилизации параметров исследуемого объекта.

Определяется среднее арифметическое значение измеренных величин. Удобнее всего при подсчете среднего арифметического пользоваться формулой:

$$\bar{x} = b + \frac{\sum (x_i - b)}{n}. \quad (2.53)$$

В формуле: b — выбранное число, вокруг которого группируются значения отдельных измерений.

Таблица 2-7 - Доверительные вероятности α для доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки $\varepsilon = \frac{\Delta x}{\sigma}$.

α	a	S	a	S	α
0	0	1,2	0,77	2,6	0,990
0,05	0,04	1,3	0,80	2,7	0,993
0,1	0,08	1,4	0,84	2,8	0,995
0,15	0,12	1,5	0,87	2,9	0,996
0,2	0,16	1,6	0,89	3,0	0,997
0,3	0,24	1,7	0,91	3,1	0,9981
0,4	0,31	1,8	0,93	3,2	0,9986
0,5	0,38	1,9	0,94	3,3	0,9990
0,6	0,45	2,0	0,95	3,4	0,9993
0,7	0,51	2,1	0,964	3,5	0,9995
0,8	0,57	2,2	0,972	3,6	0,9997
0,9	0,63	2,3	0,978	3,7	0,9998
1,0	0,68	2,4	0,984	3,8	0,99986
1,1	0,73	2,5	0,988	3,9	0,99990
				4,0	0,99993

Затем находятся дисперсия и стандартная ошибка единичного наблюдения. Из числа наблюдений исключаются единичные наблюдения, у которых отклонение от среднего значения больше 3σ . После этого проводится второе приближение, для чего определяется среднее арифметическое значение от оставшихся измерений и определяется новое значение стандартной ошибки единичного измерения и снова определяется величина предельной ошибки 3σ .

Пользуясь таблицей, можно также определить, насколько среднее арифметическое \bar{x} может уклоняться от истинного значения x .

Для этого вместо величины σ_{x_i} следует взять величину σ_x . Тогда табличный аргумент ε считается по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\sigma_x} = \frac{\Delta x \cdot \sqrt{n}}{\sigma_{x_i}}. \quad (2.54)$$

По определению дисперсия должна вычисляться по весьма большому количеству измерений, что не всегда представляется выполнимым. Если для оценки доверительной вероятности считать, что и при малом количестве измерений $s^2 = \sigma^2$, то при использовании таблицы для нахождения доверительной вероятности значения α будут определены неправильно, а именно завышенными. Это происходит вследствие того, что точность определения среднеквадратичной ошибки при малом числе наблюдений низкая и тем ниже, чем меньше n . Поэтому замена s_n на σ приводит к снижению надежности оценки ошибки.

Закономерности ограниченного числа измерений учитываются распределением Стьюдента. Техника расчета при этом остается такой же, как и при нормальном распределении.

Пусть в результате некоторого числа измерений n была определена величина выборочной дисперсии s_n^2 . Требуется определить доверительную вероятность α для заданного доверительного интервала $\pm \Delta x$. Некая величина $t_{\alpha n}$, играющая ту же роль, что и ε , но при малом числе измерений равна:

$$t_{\alpha n} = \frac{\Delta x \cdot \sqrt{n}}{s_n}. \quad (2.55)$$

Величины $t_{\alpha n}$, носящие название коэффициентов Стьюдента и вычисленные по законам теории вероятностей для различных значений n и α , приведены в таблице 2-8. При сравнении ее с таблицей 2-7 видно, что $t_{\alpha n}$ стремится к ε при большом количестве n . Это происходит потому, что с увеличением n s_n стремится к σ .

Таблица 2-8 – Коэффициенты Стьюдента $t_{\alpha n}$.

n	α								
	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,998	0,999
2	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	318,3	636,6
3	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	22,3	31,6
4	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	10,2	12,9
5	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	7,2	8,6
6	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	5,9	6,9
7	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	5,2	6,0
8	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	4,8	5,4
9	0,9	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	4,5	5,0
10	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,3	4,8
15	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	3,8	4,1
20	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,6	3,9
25	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,5	3,7
30	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,4	3,7
40	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,3	3,6
60	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,2	3,5
120	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6	3,2	3,4
∞	0,84	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,1	3,3

3 РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ЭВМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕННОЙ МОДЕЛИ

3.1 Реализация математической модели на ЭВМ

Программа предназначена для расчета:

- теплового баланса котельного агрегата (КПД котла, расхода топлива при заданной нагрузке);
- ввода и редактирования состава и характеристик топлива и котельных агрегатов;
- проведения анализа режима работы котла для исследований влияния изменения нагрузки на КПД котла и режим его функционирования.

Исходные данные для расчета:

- тип, состав и характеристики топлива;
- тип котла и его конструктивные параметры;
- термодинамические параметры режима работы котла при заданной нагрузке.

Результатами расчета программы являются:

- теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива;
- действительный объем и характеристики дымовых газов в поверхностях нагрева котла;
- теплосодержание дымовых газов в поверхностях нагрева котла;
- потери теплоты при заданном режиме работы котла от химической и механической неполноты сгорания топлива, с уходящими газами, от наружного охлаждения котла и с физическим теплом шлака
- коэффициент полезного действия котла;
- полный часовой и расчетный часовой расходы топлива.

Для проведения анализа влияния изменения нагрузки на КПД котла и его режим функционирования строятся следующие графики:

- зависимость КПД от нагрузки;

- зависимость суммы тепловых потерь от нагрузки;
- зависимость потерь теплоты с уходящими газами от изменения температуры газов на выходе из котла.

При запуске программы появляется главное окно, показанное на рисунке 3.1, содержащее меню и следующие вкладки:

- Топливо;
- Котлы;
- Состав и характеристики топлива;
- Исходные данные и расчет объемов;
- Расчет объемов газа;
- Энтальпии;
- Тепловой баланс.

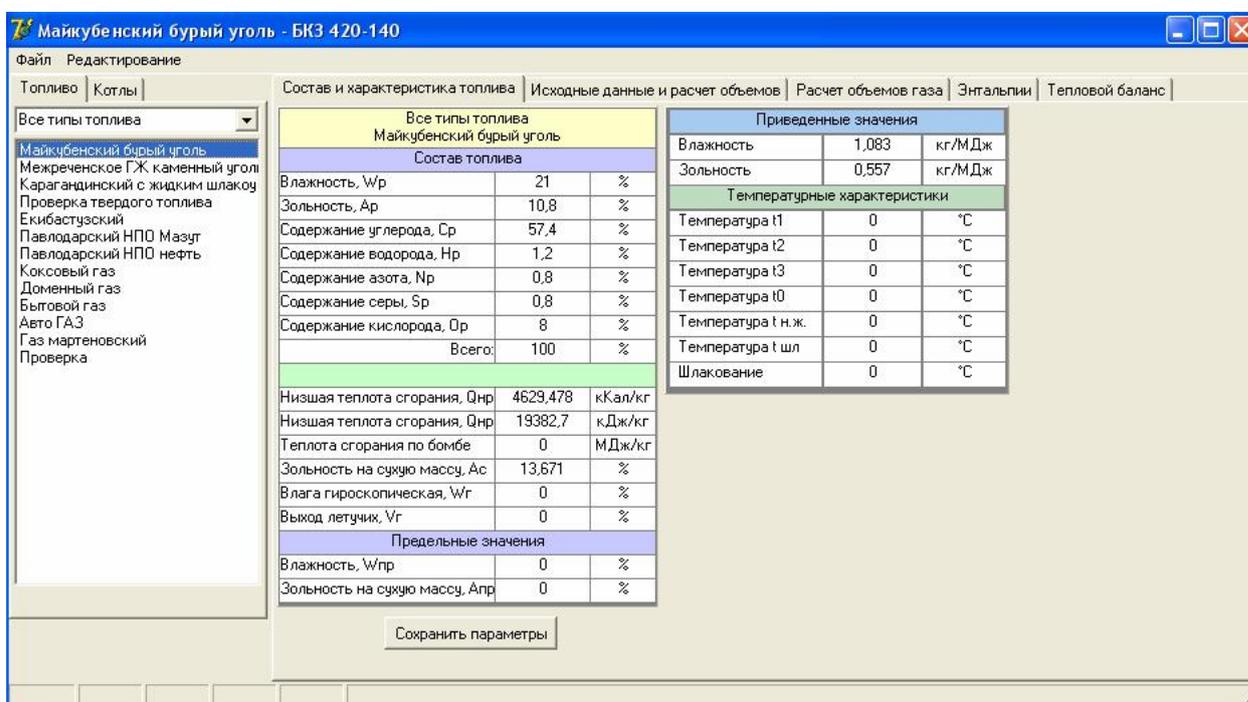


Рисунок 3.1 – Главное окно программы

Меню программы содержит следующие пункты:

- «Файл» – содержит команду «Выход» для прекращения работы программы;

– «Редактирование» - содержит команду «Типа топлива и производителя» - для добавления в список нового топлива или редактирования уже имеющегося, а также команду «Характеристики котлов» - для добавления и установки структуры рассчитываемых котельных агрегатов и редактирования количества поверхностей нагрева имеющихся котлов (см. рисунки 3.2 и 3.3).

После выбора топлива происходит проверка правильности содержания состава топлива, сумма компонентов которого должна быть ровно 100%. Если сумма не соответствует 100%, то результат суммы компонентов выделяется красным цветом (см. рисунок 3.4).

После введения или изменения состава и характеристик топлива новые данные можно сохранить под новым или старым именем.

Следующим шагом будет выбор котельного агрегата на вкладке «Котлы». Если необходимого котла в списке нет, мы можем его добавить и внести конструктивные характеристики в базу данных (см. рисунок 3.5) или отредактировать имеющиеся в списке котлы (см. рисунок 3.6).

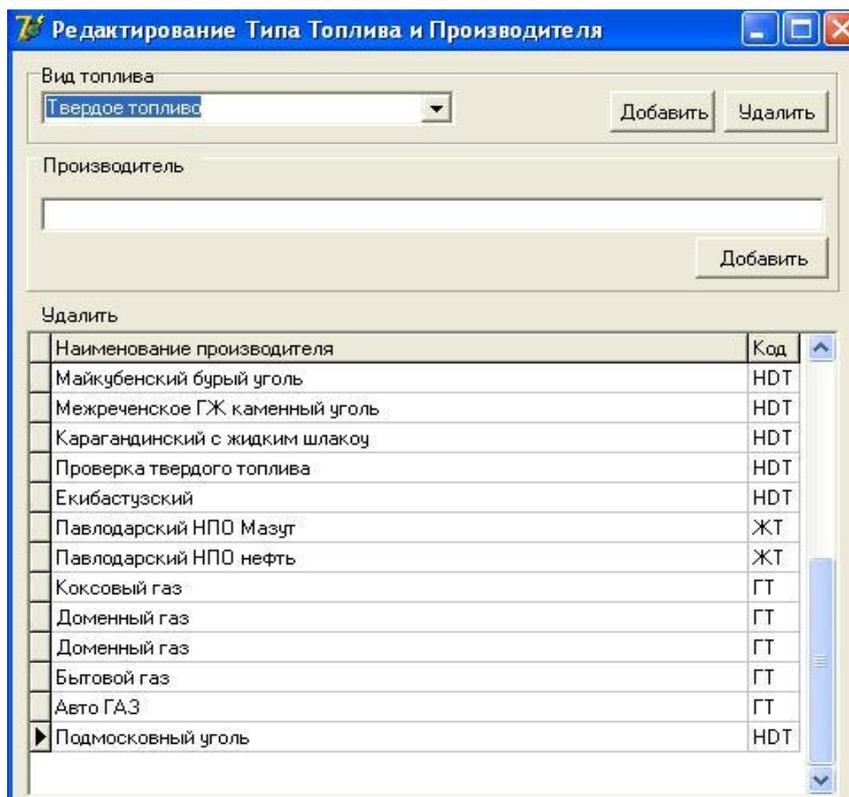


Рисунок 3.2 – Окно редактирования списка топлив

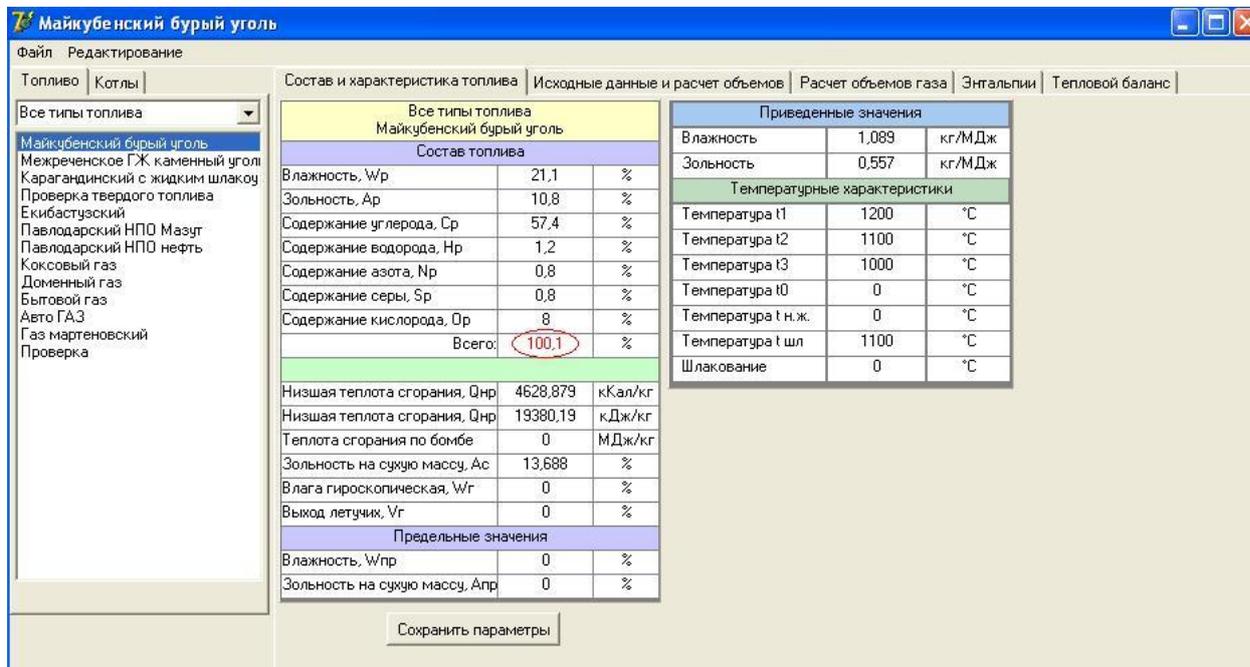


Рисунок 3.4 – Проверка суммы компонентов топлива



Рисунок 3.5 - Добавление котла

Можно изменить количество ступеней каждой поверхности нагрева и сохранить изменения (см. рисунок 3.7).

Далее для продолжения необходимо перейти на вкладку «Исходные данные и расчет объемов», на которой производится расчет теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания, проверка исходных данных для расчета котла и задание предварительного значения температуры дымовых газов на выходе из топки (см. рисунок 3.8).

Наименование котла
BKЗ 420-140

Топочная камера | Пароперегреватели (4) | Водяной экономайзер (2) | Воздухоподогреватель (2)

Объем топочной камеры	Vт	м3	1007
Лучевоспринимающая поверхность	Нл	м2	800
То же ошинованных экранов	Нпш	м2	350
Площадь стен топливной камеры	ст	м2	450
Кэф. учитывающий положение МАХ в топке	М	-	1
Эфф. толщина излуч-го слоя	s	м	1
Паропроизводительность котла	D	T/ч	420

Сохранить изменения

Рисунок 3.6 - Характеристики котлов и печей

Наименование котла
BKЗ 420-140

Топочная камера | Пароперегреватели (4) | Водяной экономайзер (2) | Воздухоподогреватель (2)

Количество: 4

			1 Ступень	2 Ступень (Ширма)	3 Ступень	4 Ступень
Диаметр труб (1)	d1	мм	1	2	3	4
Диаметр труб (2)	d2	мм	5	6	7	8
Шаг трубы (1)	S1	мм	9	10		
Шаг трубы (2)	S2	мм	11	12		
Поверхность нагрева труб	H	м2		13	14	15
Поверхность нагрева 1 петли	H1п	м2	16			
Сечение для прохода пара	fn	м2	17	18	19	20
Сечение для прохода газа прод	Fg	м2	21		22	23
Сечение для прохода газа прод	Fgp	м2		24		
Сечение для прохода газа попер	Fпоп	м2		25		
Лучевоспринимающая по-сть нагрева	Нл	м2		26		
Число рядов труб	Z2				27	28
Пов-ть нагрева обвяз. змеев.	Hz	м2			29	30
Сечение для прохода пара	fnз	м2			31	32
Расчетная поверхность нагрева	Hр	м2		33		

Сохранить изменения

Рисунок 3.7- Редактирование количества ступеней нагрева и их характеристик

На вкладке «Расчет объемов газов» производится вычисление средних характеристик продуктов сгорания и действительного объема газов в

поверхностях нагрева и задание значения доли уноса золы с дымовыми газами в поверхности нагрева (см. рисунок 3.9).

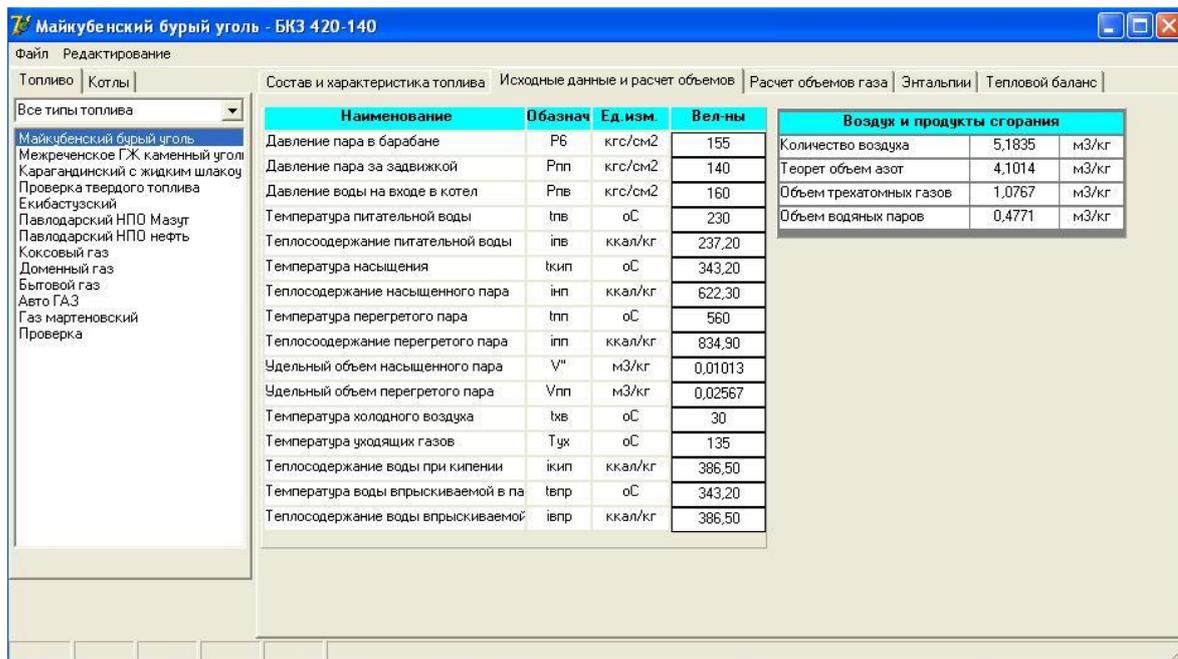


Рисунок 3.8 – Вкладка «Исходные данные и расчет объемов»

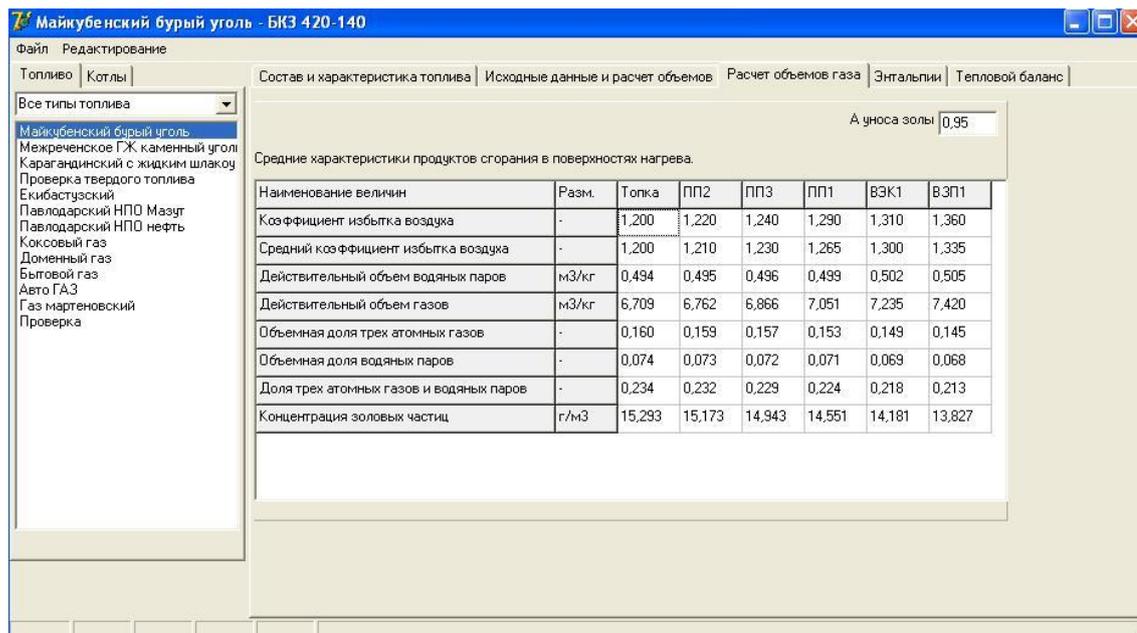


Рисунок 3.9 – Вкладка «Расчет объемов газа»

Во вкладке «Энтальпии», представленной на рисунке 3.10, располагаются результаты расчета теплосодержания дымовых газов, проходящих через поверхности нагрева, в диапазоне изменения температур от 100 °С до 2200 °С.

Темпра	Jo,газ	Jo,возд	Jo,золы	Lт=1,2	Lак=1,22	Lгаз=1,24	Lвн2=1,29	Lак1=1,31	Lвн1=1,36
2200	4963,430	4141,620	68,330	5860,080	5942,920	6025,750	6232,830	6315,660	6522,740
2100	4727,200	3944,640	64,950	5581,080	5659,970	5738,860	5936,100	6014,990	6212,220
2000	4490,970	3747,670	61,560	5302,060	5377,020	5451,970	5639,350	5714,310	5901,690
1900	4254,740	3550,700	58,480	5023,360	5094,370	5165,390	5342,920	5413,940	5591,470
1800	4018,510	3353,720	55,560	4742,810	4809,890	4876,960	5044,650	5111,720	5279,410
1700	3782,280	3156,750	50,580	4464,210	4527,350	4590,480	4748,320	4811,450	4969,290
1600	3546,050	2959,780	45,960	4183,970	4243,160	4302,360	4450,350	4509,540	4657,530
1500	3309,830	2762,810	43,090	3905,480	3960,740	4015,990	4154,130	4209,390	4347,530
1400	3061,290	2565,830	38,780	3613,240	3664,550	3715,870	3844,160	3895,480	4023,770
1300	2837,370	2368,860	33,340	3344,480	3391,860	3439,240	3557,680	3605,060	3723,500
1200	2601,140	2171,890	29,550	3065,070	3108,510	3151,940	3260,540	3303,980	3412,570
1100	2364,910	1974,910	26,880	2786,770	2826,270	2865,770	2964,510	3004,010	3102,760
1000	2128,680	1777,940	24,110	2508,380	2543,940	2579,500	2668,390	2703,950	2792,850
900	1893,520	1586,150	21,440	2232,190	2263,910	2295,640	2374,940	2406,670	2485,970
800	1660,880	1399,550	18,800	1959,590	1987,580	2015,570	2085,550	2113,540	2183,520
700	1433,410	1212,940	16,230	1692,230	1716,490	1740,750	1801,390	1825,650	1886,300
600	1212,080	1027,370	13,730	1431,280	1451,830	1472,380	1523,750	1544,290	1595,660
500	997,290	846,980	11,230	1177,920	1194,860	1211,800	1254,140	1271,080	1313,430
400	777,290	670,740	8,820	920,260	933,670	947,090	980,620	994,040	1027,580
300	580,350	498,650	6,480	686,560	696,530	706,510	731,440	741,410	766,340
200	381,330	329,670	4,150	451,410	458,010	464,600	481,080	487,680	504,160
100	188,030	163,800	1,980	222,770	226,050	229,320	237,510	240,790	248,980

Рисунок 3.10 – Вкладка «Энтальпии»

Полученные данные со вкладок «Расчет объемов газа» и «Энтальпии» используются в дальнейшем для расчета теплообмена в поверхностях нагрева и их тепловых балансов. Переходя к вычислению теплового баланса котла и построению графиков его режима функционирования необходимо убедиться в правильности выбора топлива и рассчитываемого котельного агрегата. Результаты расчета теплового баланса располагаются на вкладке «Тепловой баланс» (см. рисунок 3.11).

На вкладке «Тепловой баланс» находятся две кнопки:

- сохранения результатов расчета баланса в текстовый файл;
- построения графиков.

При нажатии кнопки «Сохранить» появляется диалоговое окно с текстом сохранения результатов расчета (рисунок 3.12) и пунктом меню «Сохранить», после нажатия которого появляется окно с возможностью выбора имени файла и директории для сохранения данных (рисунок 3.13).

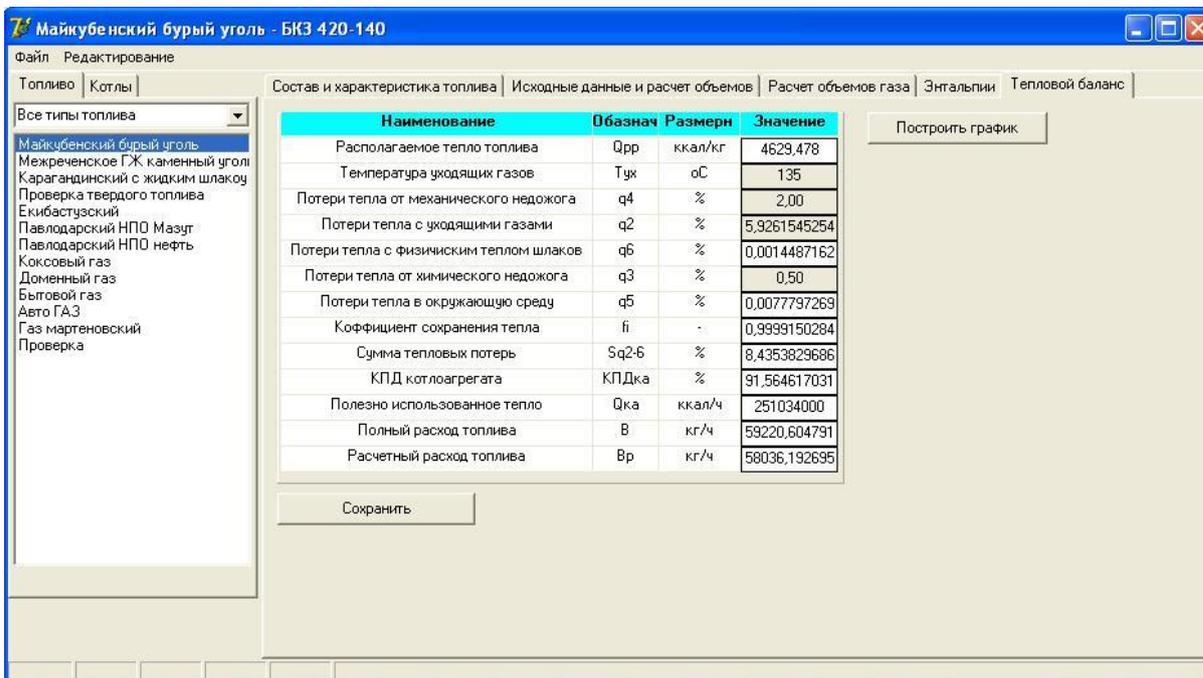


Рисунок 3.11 – Результаты расчета теплового баланса котла



Рисунок 3.12 – Вывод результатов расчета теплового баланса

– Нажав на вкладке «Тепловой баланс» кнопку «Построить график» переходим в диалоговое окно с названием «Графики» и, нажав кнопку «Построить» на вкладке «Зависимость q_2 от температуры уходящих газов» строится функция изменения потерь теплоты с уходящими газами от их температуры (см. рисунки 3.14, 3.15).

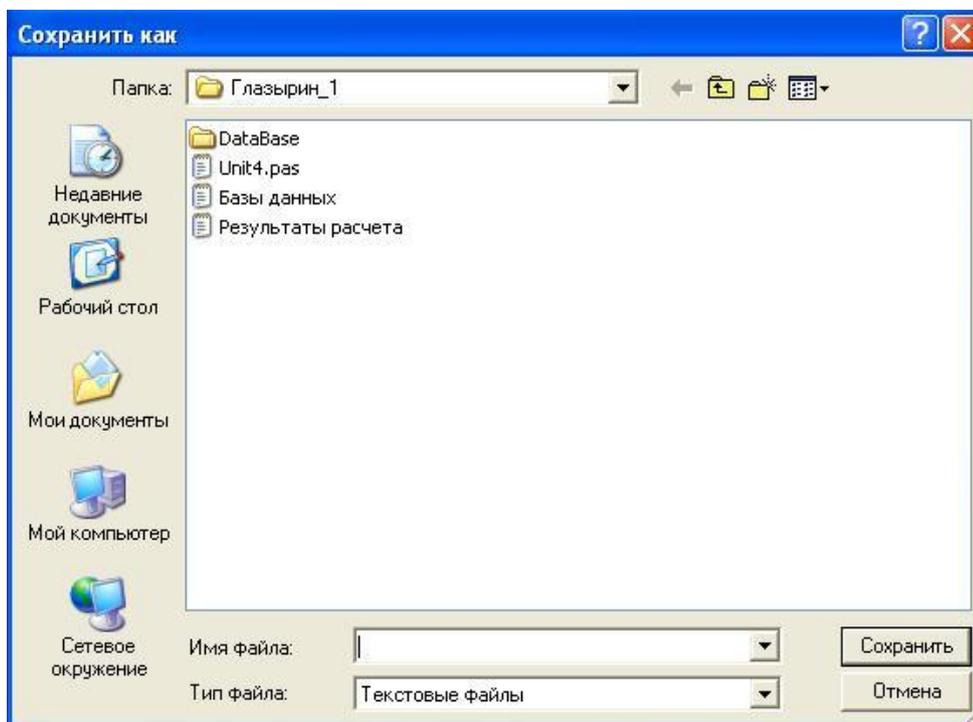


Рисунок 3.13 – Окно выбора имени файла и директории для сохранения результатов расчета теплового баланса

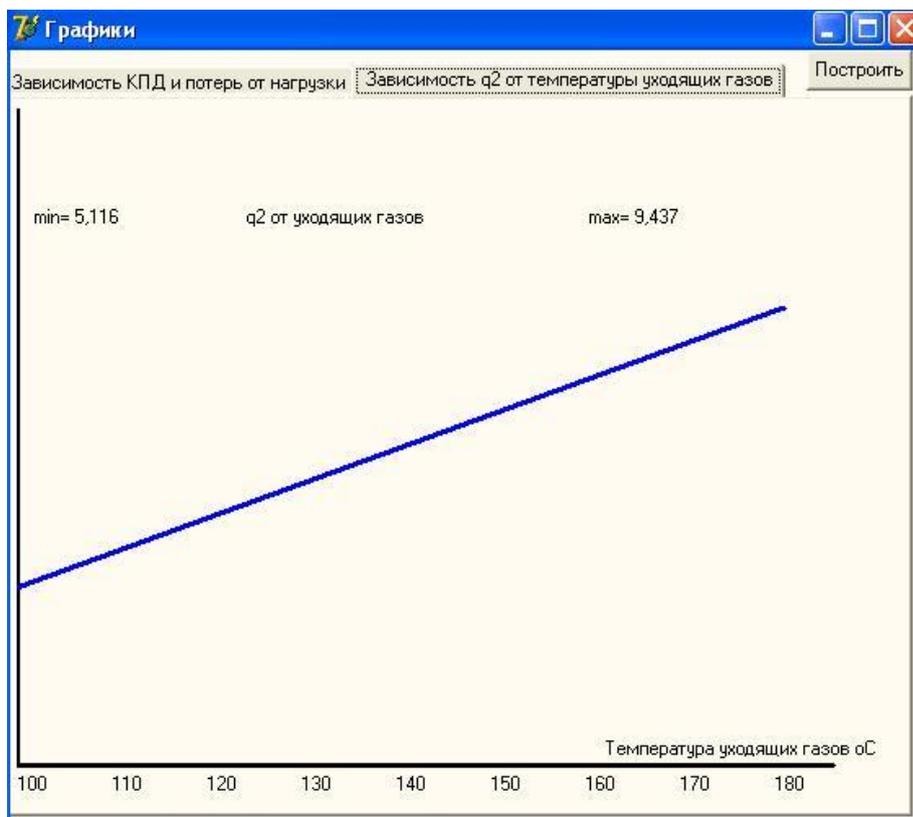


Рисунок 3.14 – Вкладка «Зависимость q_2 от температуры уходящих газов» в диалоговом окне «Графики»

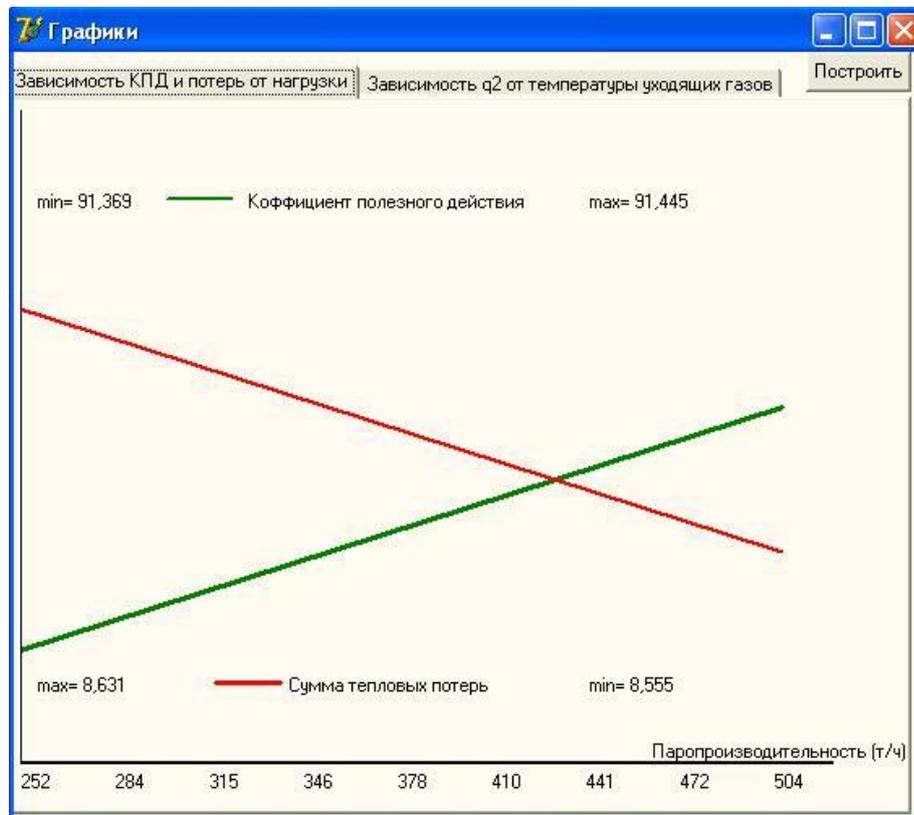


Рисунок 3.15 – Вкладка «Зависимость КПД и потерь от нагрузки» в диалоговом окне «Графики»

Перейдя на вкладку «Зависимость КПД и потерь от нагрузки» получаем графическое изображение функций изменения коэффициента полезного действия и суммы тепловых потерь котла от его тепловой нагрузки в диапазоне изменения, разрешенном Правилами технической эксплуатации:

- минимальное значение – 60% от номинальной паропроизводительности;
- максимальное значение – 120% от номинальной паропроизводительности.

3.2 Проведение исследований на математической модели с целью получения нескольких вариантов режимов работы котельного агрегата

В процессе эксплуатации котла его производительность может изменяться в пределах, определяемых режимом работы потребителей. Могут меняться также температура питательной воды и воздушный режим топки. Каждому режиму

работы котла соответствуют определенные значения параметров теплоносителей по водопаровому и газовому трактам, тепловых потерь и КПД.

Одной из задач является поддержание оптимального режима котла при данных условиях его работы, который соответствует максимально возможному значению КПД котла нетто. В связи с этим возникает необходимость определения влияния статических характеристик котла — нагрузки, температуры питательной воды, воздушного режима топки и характеристики топлива — на показатели его работы при изменении значений перечисленных параметров.

В кратковременные периоды перехода работы котла от одного режима к другому изменение количества теплоты, а также запаздывание в системе его регулирования вызывают нарушение материального и энергетического балансов котла и изменение параметров, характеризующих его работу. Нарушение стационарного режима работы котла в переходные периоды может вызываться внутренними (для котла) возмущениями, а именно уменьшением относительного тепловыделения в топке и изменением ее воздушного режима и режима подачи воды, и внешними возмущениями — изменением потребления пара и температуры питательной воды.

Зависимости параметров от времени, характеризующие работу котла в переходный период, называют его динамическими характеристиками.

Зависимость параметров от нагрузки. Производительность котла может меняться в широких пределах — от 60 до 120 % номинальной. Кратковременно возможны и более низкие нагрузки. Для барабанных котлов при длительной работе снижение нагрузки ниже 20—30 % номинальной может лимитироваться условиями циркуляции. Этот фактор не имеет значения для котлов прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией, которые могут работать при любой малой нагрузке. Нагрузка может лимитироваться также и условиями сжигания топлива. При факельном сжигании пыли топлив с малым выходом летучих — антрацитов и тощих углей устойчивый процесс горения возможен при нагрузке более 50 %.

Устойчивый процесс горения твердого топлива в слое мазута и газа возможен при любой нагрузке. Всякое изменение нагрузки котла вызывает

перераспределение соотношения теплоты, передаваемой радиационным и конвективным поверхностям нагрева. Увеличение нагрузки и соответственно тепловыделения в топке при неизменных характеристике топлива, воздушном режиме топки и температуре питательной воды снижает долю теплоты, передаваемой экранам в топке, и увеличивает долю теплоты, воспринимаемой конвективным пароперегревателем, экономайзером и воздухоподогревателем. Такое перераспределение тепловосприятия объясняется повышением температуры на выходе из топки и далее по газовому тракту, а также увеличением скорости газов в конвективных поверхностях нагрева. Удельная тепловая нагрузка экранов возрастает незначительно. В результате увеличения температурного напора и скорости газов в конвективных поверхностях нагрева повышаются температура перегрева пара, температура подогрева воды в экономайзере и воздуха в воздухоподогревателе. Повышается и температура уходящих продуктов сгорания, и как следствие этого возрастает потеря с уходящими газами. С ростом нагрузки сопротивления парового, газового и воздушного трактов возрастает примерно пропорционально квадрату увеличения нагрузки.

Уменьшение нагрузки снижает температуру на выходе из топки и скорость продуктов сгорания в конвективных поверхностях нагрева. В результате, несмотря на относительно большие удельные поверхности нагрева, снижаются температура перегрева пара, температура подогрева воды в экономайзере, температура подогрева воздуха и температура уходящих газов, а также уменьшаются сопротивления пароводяного и газозвоздушного трактов.

Зависимость параметров от воздушного режима топки. Изменение воздушного режима топки, характеризуемого значением коэффициента избытка воздуха α , также влияет на распределение теплоты, передаваемой продуктами сгорания экранам и конвективным поверхностям нагрева.

Увеличение α при неизменной нагрузке, характеристике топлива и температуре питательной воды несколько повышает температуру продуктов сгорания на выходе из топки за счет увеличения тепловыделения в топке, которое необходимо для сохранения требуемой нагрузки, а также снижения теоретической

температуры горения топлива, вследствие чего уменьшается удельное тепловосприятие экранов в топке.

Повышение температуры продуктов сгорания в конвективных поверхностях нагрева и увеличение их объема и скорости в газоходах приводят к увеличению температуры перегрева пара в конвективном пароперегревателе, повышают температуру подогрева воды в экономайзере и воздуха в воздухоподогревателе. Потери от химического и механического недожога при практически применяемых значениях $\alpha > 1,1$ остаются неизменными и составляют не более одного процента. Потери с уходящими газами возрастают в основном за счет увеличения их объема. Увеличение объема и температуры уходящих газов приводит к повышению потери теплоты с уходящими газами и снижению КПД брутто котла.

Зависимость параметров от температуры питательной воды. Существенно влияет на работу котла температура питательной воды, которая может изменяться в процессе эксплуатации в зависимости от режима работы турбин. Уменьшение температуры питательной воды при заданной нагрузке и неизменных прочих условиях определяет необходимость увеличения тепловыделения в топке, т.е. расхода топлива, и вследствие этого перераспределения передачи теплоты поверхностям нагрева котла. Температура перегрева пара в конвективном пароперегревателе возрастает за счет повышения температуры продуктов сгорания и их скорости, увеличивается температура подогрева воды и воздуха. Повышаются температура уходящих газов и их объем. Соответственно возрастает потеря с уходящими газами.

Зависимость параметров от характеристики топлива. В процессе длительной эксплуатации могут изменяться характеристики твердого топлива и, соответственно, режим работы котла. При повышении зольности топлива снижаются его теплота сгорания, объемы продуктов сгорания и воздуха, расходуемого на горение топлива. При неизменном расходе топлива тепловыделение в топке уменьшится. Тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева и температура на выходе из топки снижаются. Доля теплоты, передаваемой радиацией, увеличивается, а уменьшение объема продуктов сгорания и их температуры вызывает уменьшение конвективного

тепловосприятости. Температура перегрева пара практически остается неизменной, так как одновременно уменьшаются тепловосприятости пароперегревателя и паропроизводительность котла. Подогрев воздуха несколько снижается. Температура уходящих газов понижается, и КПД брутто немного увеличивается.

Уменьшение общего тепловосприятости поверхностей нагрева приводит к снижению производительности котла, и для поддержания ее на прежнем уровне необходимо увеличить расход топлива. Увеличение расхода топлива при повышенной его зольности повышает излучение факела и может усилить шлакование топки. Увеличивается также интенсивность загрязнения конвективных поверхностей нагрева. Практически КПД котла понижается. - При увеличении влажности топлива теоретическая температура сгорания снижается, и при постоянном расходе топлива это вызывает заметное уменьшение температуры продуктов сгорания по всем газходам. Однако объем газов увеличивается, поэтому потери теплоты с уходящими газами растут, КПД и производительность котла снижаются. При восстановлении производительности за счет увеличения расхода топлива потери теплоты с уходящими газами еще больше увеличиваются, и КПД уменьшается. Температура перегрева пара, а также температура нагрева воды в экономайзере и воздуха в воздухоподогревателе увеличиваются.

Зависимость параметров от совместного изменения ряда условий его работы. При одновременном изменении ряда условий работы против номинальных режимов котла подвергается различным воздействиям, влияния которых могут складываться или взаимно компенсироваться. При анализе совмещенных изменений режимов в первую очередь необходимо выяснить их влияние на температуру перегретого пара и КПД котла.

Одновременное понижение нагрузки и температуры питательной воды приводит к снижению температуры перегрева пара, но при значительном уменьшении температуры воды температура перегретого пара может даже несколько повыситься. На КПД котла оказывают влияние нагрузки котла, изменение же температуры питательной воды на нем практически не отражается.

При одновременном увеличении производительности и влажности топлива температура перегрева пара быстро возрастает. При снижении нагрузки и повышении влажности топлива температура перегретого пара может повыситься или снизиться в зависимости от степени отклонения этих параметров от их номинального значения. Коэффициент полезного действия котла может сохранить свое значение, повыситься или снизиться также в зависимости от относительного изменения параметров.

Статические характеристики обычно определяются путем проведения серий тепловых испытаний котлов при различных режимах работы. На основе статических характеристик строят режимную карту работы котла, которая используется эксплуатационным персоналом для оперативного контроля за его работой.

В период перехода от одного режима к другому аккумулированная в металле и рабочих средах теплота и запаздывание регулирования вызывают кратковременное нарушение материального и энергетического балансов котла и соответственно происходит изменение параметров, характеризующих его работу.

В барабанном котле гидравлическая связь между поверхностями нагрева, в которых находится рабочая среда в различных состояниях, осуществляется барабаном. Изменение уровня воды в барабане возможно в определенных небольших пределах во избежание нарушения нормальной циркуляции и вызываемых этим аварий. Допустимое изменение подачи питательной воды в переходный период и нарушение при этом материального баланса котла практически не влияют на тепловосприятие в экономайзере, и количество теплоты, вносимой питательной водой в испарительную систему, не изменяется. При неизменном тепловыделении в топке паропроизводительность котла и температура перегрева пара не изменяются. Возмущение по каналу подачи питательной воды вызывает только изменение уровня питательной воды в барабане.

Изменение тепловыделения в топке и нарушение энергетического баланса в переходный период приводят к изменению тепловосприятия всех поверхностей нагрева котла. При увеличении тепловыделения в топке повышается паропроизводительность котла. Температура перегрева пара может увеличиваться

или уменьшаться в зависимости от соотношения конвективных и радиационных поверхностей нагрева пароперегревателя. При конвективном пароперегревателе увеличение нагрузки на 10% повышает температуру пара на 5—10°C.

При неизменной подаче питательной воды уровень воды в барабане изменяется вследствие вытеснения ее паром из труб испарительной поверхности нагрева. При повышении тепловосприятости поверхностей нагрева в первый момент уровень воды в барабане повышается, а затем начинает снижаться.

В прямоточном котле нет фиксированных конструктивных границ между экономайзерами, испарительными и пароперегревательными поверхностями нагрева. При изменении количества подаваемой питательной воды или тепловыделения в топке границы между отдельными элементами поверхности нагрева перемещаются. При повышении тепловой нагрузки и неизменной подаче питательной воды длина экономайзерной и испарительной частей труб поверхности нагрева уменьшается, а перегревательной части — увеличивается, что вызывает повышение температуры перегрева пара. Увеличение тепловой нагрузки на 10 % повышает температуру пара на 100°C. При неизменном тепловосприятии и увеличении подачи питательной воды температура перегрева пара снижается. Уменьшение расхода воды на 10% увеличивает температуру пара на 110°C. Таким образом, в прямоточном котле небольшое отклонение в переходный период тепловой нагрузки или расхода воды приводит к значительному изменению температуры перегрева пара.

Расход пара при изменении тепловой нагрузки остается постоянным или изменяется соответственно с изменением расхода воды. Вследствие изменения границ поверхностей нагрева изменяются масса среды, заполняющей трубы, и соответственно массовый расход пара, который будет больше или меньше расхода питательной воды в данный момент на значение изменения массы среды в трубах. Характер изменения расхода пара при возмущении по каналу тепловой нагрузки показан на рисунке 3в, где заштрихованная площадка характеризует увеличение выработки пара, равное значению переменной массы среды в трубах.

В переходный период в барабанном и прямоточном котлах изменяется теплота, аккумулированная в среде, заполняющей трубы, а также в металле котла. Одновременно изменяется и масса среды, заполняющая котел.

Количество теплоты и массы вещества котла называется аккумулирующей емкостью. Влияние аккумулирующей емкости проявляется различно. При повышении давления часть теплоты расходуется на нагрев среды и металла до новой температуры насыщения. При понижении давления происходит отдача аккумулируемой теплоты, которая идет на парообразование, причем выделяющийся из воды пар идет на приращение паропроизводительности котла в данный момент.

Аккумулированная емкость среды зависит от ее объема и давления в котле. В барабанных котлах аккумулированная емкость среды в три—четыре раза больше, чем в прямоточных.

Результаты исследований, проведенных на построенной математической модели, позволяют делать следующие выводы:

– Изменение нагрузки котлоагрегата. Изменение нагрузки котлоагрегата является постоянным эксплуатационным фактором, существенно определяющим его экономичность и надежность. Теплоотдача радиацией зависит от теплопоглощения газового слоя, неизменного для данной топки при сохранении, избытка воздуха в ней, и от разности температур газов и нагреваемой среды в четвертой степени. Поэтому количество тепла, передаваемого экранам в топке, зависит практически лишь от средней (эффективной) температуры газов, определяемой теоретической температурой горения и температурой газов на выходе из топки. С ростом нагрузки теоретическая температура горения остается почти неизменной, так как к. п. д. топки меняется относительно мало, а влияние температуры горячего воздуха незначительно. В то же время, как показывает опыт, при увеличении нагрузки котлоагрегата происходит значительный рост температуры и энтальпии газов на выходе из топки. Поэтому, хотя полное количество тепла, передаваемого в топке, с ростом нагрузки котлоагрегата несколько увеличивается, рост энтальпии газов на выходе из топки означает уменьшение удельного тепловосприятия радиационных поверхностей.

Так как полное тепловосприятие всех поверхностей нагрева котлоагрегата пропорционально нагрузке, то отставание тепловосприятия в топке от роста нагрузки обуславливает опережающий рост тепловосприятия конвективных поверхностей. Физически это объясняется ростом температурных напоров в этих поверхностях в связи с увеличением температуры газов в любом сечении газохода и коэффициента теплопередачи, вызванным ростом температуры и скорости газов. Отмеченное соотношение между ростом тепловосприятия различных поверхностей и ростом нагрузки котлоагрегата обуславливает снижение температуры пара для радиационного и повышение ее для конвективного пароперегревателя при росте нагрузки. Это обстоятельство используется при проектировании котлоагрегатов для обеспечения максимального постоянства температуры пара за счет установки комбинированных (радиационных и конвективных) пароперегревателей.

Следует иметь в виду, что в высокотемпературной области нет чисто конвективных поверхностей нагрева. Поэтому удельное тепловосприятие конвективной поверхности нагрева, расположенной, при выходе из топки, остается неизменным; удельное тепловосприятие расположенных далее конвективных поверхностей нагрева растет тем в большей степени, чем ниже температура газов, в области которой эти поверхности нагрева расположены, т. е. чем больше доля тепла, передаваемого конвекцией.

Так как количества воды и пара, проходящих через водяной экономайзер и пароперегреватель, увеличиваются в той же мере, что и нагрузка (с определенным приближением это относится и к воздуху, проходящему через воздухоподогреватель), а полное тепловосприятие этих поверхностей нагрева возрастает больше, чем нагрузка, то температура горячего воздуха, температура подогрева воды, или процент парообразования в водяном экономайзере кипящего типа, и температура перегретого пара с ростом нагрузки котлоагрегата увеличиваются. Одновременно происходит повышение температуры газов после всех конвективных поверхностей нагрева, что обуславливает рост температуры уходящих газов и потери тепла с ними при росте нагрузки. Поэтому при форсировке котлоагрегата происходит снижение его к.п.д. При малых нагрузках

к.п.д. котлоагрегата также уменьшается вследствие увеличения относительной величины топочных потерь, потерь на наружное охлаждение и роста коэффициента избытка воздуха в топке. Однако в достаточно широкой рабочей зоне нагрузок к.п.д. котлоагрегата меняется незначительно и в первом приближении может быть принят постоянным.

Надо иметь в виду, что статические характеристики котлоагрегатов при изменении нагрузок индивидуальны, т. е. должны рассматриваться применительно к конкретным котлоагрегатам и зависят от его конструкции, типа топочных устройств и вида сжигаемого топлива.

– Изменение температуры питательной воды. Значительное уменьшение температуры питательной воды имеет место при аварийном отключении подогревателей высокого давления, а также при уменьшении расхода пара на турбину и соответствующем снижении давления в камере верхнего регенеративного отбора.

При уменьшении температуры питательной воды и неизменной теплопроизводительности котлоагрегата паропроизводительность его снижается.

При уменьшении температуры питательной воды увеличиваются температурный напор и удельное тепловосприятие для водяного экономайзера, в связи с чем при постоянном расходе топлива температура уходящих газов снижается и к.п.д. брутто котлоагрегата возрастает. Снижение температуры уходящих газов при одинаковом уменьшении температуры питательной воды различно для разных котлоагрегатов, зависит от удельного веса водяного экономайзера в тепловом балансе котельного агрегата и его конструкции и составляет 1—4°С на каждые 10° изменения температуры питательной воды.

При уменьшении температуры питательной воды и постоянном расходе пара требуется увеличить расход топлива. При этом температура уходящих газов и к.п.д. котлоагрегата практически не изменяются. Уменьшение температуры питательной воды сказывается на режиме работы не только водяного экономайзера, но и других поверхностей нагрева котлоагрегата. Так, при постоянной паропроизводительности имеет место некоторое снижение температуры горячего воздуха в результате снижения температуры газов перед

воздухоподогревателем. По этой причине понижаются общее тепловыделение и теоретическая температура в топке, а также происходит снижение радиационного тепловосприятия.

Для кипящего экономайзера при уменьшении $t_{пв}$ в снижается процент парообразования, для некипящего увеличивается недогрев воды, что приводит к увеличению экономайзерного участка для экранных поверхностей.

Снижение температуры питательной воды существенно влияет на режим работы пароперегревателя: при постоянной паропроизводительности возрастает температура перегрева пара для барабанных котлоагрегатов в связи с увеличением расхода топлива, скоростей газов в области пароперегревателя и его удельного тепловосприятия. В случае постоянного расхода топлива повышение температуры перегретого пара при уменьшении температуры питательной воды объясняется снижением расхода пара через пароперегреватель при неизменном его тепловосприятии. Ограничение роста температуры перегрева пара достигается использованием пароохлаждающих устройств.

Для прямоточных котлоагрегатов уменьшение температуры питательной воды вызывает соответствующее снижение температуры перегретого пара, и для поддержания ее требуется увеличить подачу топлива.

– Изменение качества топлива. Под изменением качества топлива понимается изменение его состава (зольности, влажности), а также теплоты сгорания, фракционного состава пыли, температурных характеристик золы.

Увеличение зольности обуславливает уменьшение процентного содержания горючих элементов и уменьшение теплоты сгорания топлива. Соответственно уменьшаются теоретические объемы воздуха и продуктов сгорания в расчете на 1 кг топлива. При постоянном расходе натурального топлива уменьшаются полное тепловыделение топки и температура газов на выходе из топки. Доля тепла, передаваемого радиацией, возрастает и уменьшается конвективное тепловосприятие в связи с уменьшением объемов газа и температурных напоров. Относительное снижение температуры газов по газовому тракту к концу его постепенно уменьшается.

При увеличении зольности для поддержания заданной паропроизводительности необходимо увеличить расход натурального топлива. При этом температура газов по всем газоходам, полный объем газов, скорости их в конвективных газоходах, полное тепловосприятие поверхностей практически не изменяются.

Увеличение зольности заметно отражается на работе и показателях котлоагрегата, что находит выражение в увеличении излучения факела, росте потерь от механического недожога, усилении шлакования и загрязнения золою поверхностей нагрева, а также в снижении эксплуатационного к.п.д. брутто котлоагрегата. К.п.д. нетто котлоагрегата понижается еще в большей степени из-за увеличения расхода электроэнергии на размол топлива и транспорт золы.

Увеличение рабочей влажности топлива также вызывает снижение теплоты сгорания топлива, однако в большей степени, чем это определяется соответствующим снижением содержания горючих элементов, так как увеличивается расход тепла на испарение влаги.

Уменьшение теплоты сгорания топлива, снижение к.п.д. брутто в случае увеличения влажности при неизменном расходе топлива приводит к снижению паропроизводительности. Для сохранения постоянной паропроизводительности при увеличении влажности требуется увеличить расход топлива. При этом имеют место те же явления, что и при росте нагрузки: возрастает температура уходящих газов, еще в большей степени возрастает потеря тепла с уходящими газами и уменьшается к.п.д. котлоагрегата. Температура тазов и температурные напоры возрастают по всему тракту, в результате увеличения объема и скоростей газов увеличивается интенсивность теплообмена в конвективных газоходах; при некотором снижении по сравнению с расчетной величиной доли тепла, передаваемого радиацией, паропроизводительность и тепловосприятие конвективных поверхностей нагрева возрастают, возрастает температура перегретого пара или съем тепла в пароохлаждающих устройствах. Изменение теплоты сгорания топлива является результатом изменения его состава. Изменение q_h при условии сохранения паропроизводительности котлоагрегата приводит к соответствующему изменению расхода натурального топлива.

Уменьшение теплоты сгорания вызывает увеличение балласта в дымовых газах и рост их объема. В качестве вторичных явлений возможно ухудшение процесса горения и увеличение топочных потерь.

Основными характеристиками золы являются характеристики плавкости, определяемые температурными точками начала деформации t_1 , начала размягчения t_2 и начала жидкоплавкого состояния t_3 . Отклонение от принятой для расчета характеристики золы не влияет непосредственно на режим топки и котлоагрегата. Однако при этом возможны нарушения режима жидкого шлакоудаления, повышенное загрязнение (шлакование конвективных поверхностей нагрева), обуславливающие как вторичное явление серьезное нарушение топочного режима и режима работы поверхностей нагрева.

Фракционный состав пылевидного топлива определяется зерновой характеристикой угольной пыли. Чем меньше размер частиц пыли, тем меньше механический недожог, но при этом расходуется больше электроэнергии на размол. Оптимальная тонина помола должна соответствовать минимуму суммы этих потерь.

В общем случае влияние фракционного состава пыли на работу котлоагрегата имеет более широкий характер. Так, увеличение механического недожога может сочетаться с увеличением химического недожога; изменение тонкости помола отражается на режиме образования отложений на поверхностях нагрева, в частности для котлоагрегатов, работающих на антраците, при сжигании более тонкой пыли увеличивается количество отложений на поверхности нагрева конвективного пароперегревателя.

– Изменение избытка воздуха в топке. Избыток воздуха в топке α_T является важнейшим эксплуатационным показателем, влияние которого на экономичность и надежность котлоагрегата весьма значительно и многогранно. Возрастание α_T приводит к существенному увеличению объемов продуктов сгорания. При этом несколько увеличивается тепловыделение в топке, однако из-за относительно небольшой величины теплоты, вносимой воздухом, теоретическая температура горения с увеличением α_T уменьшается, в особенности в случае увеличения α_T за счет присосов холодного воздуха. Это приводит к уменьшению температуры в

топке, снижению тепловосприятости радиационных поверхностей нагрева. Последнее обстоятельство приводит к увеличению энтальпии газов на выходе из топки.

Увеличение α_t не приводит к заметному изменению температуры газов перед конвективными поверхностями, но объем их и энтальпия существенно увеличиваются; в связи с этим температурные напоры не изменяются, а коэффициент теплопередачи возрастает в области преобладающего конвективного теплообмена, т. е. в области пароперегревателя, водяного экономайзера и воздухоподогревателя. Возрастание коэффициента теплопередачи обуславливает повышение удельного тепловосприятости конвективных поверхностей нагрева и рост температуры рабочего тела и парообразования в кипящем водяном экономайзере. Одновременно возрастает температура газов по всему газовому тракту, так как удельные тепловосприятости конвективных поверхностей нагрева возрастают менее значительно, чем энтальпия газов перед ними. Наиболее характерными зависимостями при возрастании α_t являются повышение температуры пара (съем тепла в пароохлаждающих устройствах) и температуры уходящих газов.

Специфической зависимостью является связь между топочными потерями и α_t . Кривая потерь с механическим недожогом для твердого топлива имеет экстремальный характер, а понижение избытка воздуха ниже определенной (критической) величины приводит к резкому возрастанию потерь с химическим недожогом.

Наиболее уязвимыми местами для возникновения неплотностей являются сопряжения отдельных элементов обмуровки с металлическими деталями и трубами котлоагрегата, сварные соединения обшивки, элементы и трубы воздухоподогревателя.

Присосы воздуха в любом газоходе котлоагрегата вызывают увеличение объема газов, потери тепла с уходящими газами и снижение к.п.д. котлоагрегата. Эти изменения наиболее значительны для участков с поверхностями нагрева, перед которыми имеют место присосы воздуха. На работу котлоагрегата в целом увеличение присосов влияет тем более значительно, чем ближе к топке

расположен газоход с увеличившимися присосами. Увеличение присосов в верхней части конвективного газохода приводит к некоторому росту температуры уходящих газов.

– Изменение температуры горячего воздуха. Изменение температуры горячего воздуха является результатом изменения режима работы воздухоподогревателя вследствие влияния таких факторов, как изменение температурного напора, коэффициента теплопередачи, расхода газов или воздуха. Повышение температуры горячего воздуха увеличивает, хотя и незначительно, уровень тепловыделения в топке. Величина температуры горячего воздуха оказывает заметное влияние на характеристики котло-агрегатов, работающих на топливе с малым выходом летучих. Понижение $t_{гв}$ в этом случае ухудшает условия воспламенения топлива, режим сушки и размола топлива, приводит к понижению температуры аэросмеси на входе в горелки, что может вызвать рост потерь с механическим недожогом.

– Изменение температуры предварительного подогрева воздуха. Предварительный подогрев воздуха перед воздухоподогревателем применяется для повышения температуры стенки его поверхностей нагрева с целью снижения коррозионного воздействия на них дымовых газов, в особенности при сжигании высокосернистых топлив. Согласно правил технической эксплуатации, при сжигании сернистого мазута температура воздуха перед трубчатыми воздухоподогревателями должна быть не ниже 110°C , а перед регенеративными — не ниже 70°C .

Предварительный подогрев воздуха влечет за собой уменьшение тепловосприятия воздухоподогревателя вследствие снижения температурного напора, температура уходящих газов и потеря тепла с уходящими газами при этом повышаются. Предварительный подогрев воздуха требует также дополнительных затрат электроэнергии на подачу воздуха в воздухоподогреватель. В зависимости от уровня и способа предварительного подогрева воздуха на каждые 10°C предварительного подогрева воздуха к.п.д. брутто изменяется примерно на $0,15\text{—}0,25\%$, а температура уходящих газов — на $3\text{—}4,5^{\circ}\text{C}$.

4 ВНЕДРЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Разработанное программное обеспечение может использоваться в учебном процессе для проведения лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Принцип работы, конструкция и тепловой расчет котельных агрегатов», «Методы моделирования и оптимизация теплоэнергетических установок», «Эксплуатация котельных установок», «Компьютерные технологии в теплоэнергетических расчетах» для студентов специальностей 220140 – «Тепловые электрические станции», 220240 – «Технология воды и топлива», 220440 – «Промышленная теплоэнергетика» и 0050717 – «Теплоэнергетика».

При внедрении в учебный процесс была проведена проверка правильности работы программы, для чего сравнили результаты расчетов студентов (ручной расчет), программы и проектных данных с различных тепловых электростанций (Павлодарская ТЭЦ-1, Павлодарская ТЭЦ-3 и Аксуская ГРЭС).

В таблице 4.1 приведен сравнительный анализ результатов расчета теплового баланса котла БКЗ-420-140 с номинальной нагрузкой при сжигании Майкубенского угля на Павлодарской ТЭЦ-1.

Таблица 4.1 – Анализ расчетов котла БКЗ-420-140 ПТЭЦ-1

Наименование	Ед. изм.	Результаты расчета		
		Программа	ПТЭЦ-1	Студент
Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива	м ³ /кг	5,1835	5,184	5,18
Теоретический объем образовавшихся оксидов азота	м ³ /кг	4,1014	4,101	4,1
Объем образовавшихся трехатомных газов	м ³ /кг	1,0767	1,077	1,08
Объем водяных паров	м ³ /кг	0,4771	0,477	0,48

Окончание таблицы 4.1

Низшая теплота сгорания на рабочую массу	ккал/ кг	4629,478	4629,4	4629,5
Потери теплоты с уходящими газами	%	5,9261	5,92	5,93
Потери теплоты с физическим теплом шлака	%	0,00145	0,0014	0,0014
Сумма тепловых потерь	%	8,43399	8,43	8,434
Коэффициент полезного действия котельного агрегата	%	91,566	91,57	91,566
Полный расход топлива	кг/ч	64859,67	64859,7	64859,7

В таблице 4.2 приведен сравнительный анализ результатов расчета теплового баланса котла БКЗ-420-140 с номинальной нагрузкой при сжигании Екибастузского угля на Павлодарской ТЭЦ-3.

Таблица 4.2 – Анализ расчетов котла БКЗ-420-140 на ПТЭЦ-3

Наименование	Ед. изм.	Результаты расчета		
		Программа	ПТЭЦ-3	Студент
Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива	м ³ /кг	3,9899	3,99	4,0
Теоретический объем образовавшихся оксидов азота	м ³ /кг	3,1583	3,158	3,16
Объем образовавшихся трехатомных газов	м ³ /кг	0,8192	0,819	0,82

Окончание таблицы 4.2

Объем водяных паров	м ³ /кг	0,2966	0,297	0,3
Низшая теплота сгорания на рабочую массу	ккал/ кг	3616,079	3616,0	3616,0
Потери теплоты с уходящими газами	%	7,5869	7,587	7,6
Потери теплоты с физическим теплом шлака	%	0,02369	0,024	0,024
Сумма тепловых потерь	%	10,117	10,117	10,117
Коэффициент полезного действия котельного агрегата	%	89,883	89,883	89,883
Полный расход топлива	кг/ч	84591,31	84591,3	84591,3

В таблице 4.3 приведен сравнительный анализ результатов расчета теплового баланса котла Пп-950-250 с номинальной нагрузкой при сжигании Екибастузского угля на Аксуской ГРЭС.

Анализ сравнения расчетов по различным электростанциям при сжигании различных топлив показал схождение расчетов.

Таблица 4.3 – Анализ расчетов котла Пп-950-255 (ПК-39) на АГРЭС

Наименование	Ед. изм.	Результаты расчета		
		Программа	АГРЭС	Студент
Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива	м ³ /кг	3,9897	3,99	4,0

Окончание таблицы 4.3

Теоретический объем образовавшихся оксидов азота	м ³ /кг	3,1583	3,158	3,16
Объем образовавшихся трехатомных газов	м ³ /кг	0,8192	0,819	0,82
Объем водяных паров	м ³ /кг	0,2966	0,297	0,3
Низшая теплота сгорания на рабочую массу	ккал/ кг	3616,079	3616,0	3616,0
Потери теплоты с уходящими газами	%	7,5869	7,587	7,6
Потери теплоты с физическим теплом шлака	%	0,02369	0,024	0,024
Сумма тепловых потерь	%	10,1119	10,112	10,112
Коэффициент полезного действия котельного агрегата	%	89,888	89,888	89,888
Полный расход топлива	кг/ч	174 689,63	174 689,6	174 689,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построенная математическая модель позволяет не только решать задачу определения КПД котла и расхода топлива, но также исследовать влияние различных эксплуатационных параметров на характеристику котла.

С помощью программы производится анализ влияния на q_2 различных смесей топлив, элементарного состава одного вида топлива, температуры уходящих газов, холодного и подогретого воздуха, питательной воды, содержания кислорода в уходящих газах (O_2).

Предлагаемая математическая модель котла предназначена для решения следующих частных задач:

- расчета расхода сожженного котлом топлива;
- расчета потерь теплоты и определения КПД котла брутто;
- исследования влияния на экономичность работы котла эксплуатационных параметров;
- обработки данных теплотехнических испытаний котла и построения его нормативной характеристики.

Результатами расчета программы являются:

- теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива;
- действительный объем и характеристики дымовых газов в поверхностях нагрева котла;
- теплосодержание дымовых газов в поверхностях нагрева котла;
- потери теплоты при заданном режиме работы котла от химической и механической неполноты сгорания топлива, с уходящими газами, от наружного охлаждения котла и с физическим теплом шлака
- коэффициент полезного действия котла;
- полный часовой и расчетный часовой расходы топлива.

Для проведения анализа влияния изменения нагрузки на КПД котла и его режим функционирования строятся следующие графики:

- зависимость КПД от нагрузки;
- зависимость суммы тепловых потерь от нагрузки;
- зависимость потерь теплоты с уходящими газами от изменения температуры газов на выходе из котла.

Разработанное программное обеспечение может использоваться в учебном процессе для проведения лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Принцип работы, конструкция и тепловой расчет котельных агрегатов», «Методы моделирования и оптимизация теплоэнергетических установок», «Эксплуатация котельных установок», «Компьютерные технологии в теплоэнергетических расчетах» для студентов специальностей 220140 – «Тепловые электрические станции», 220240 – «Технология воды и топлива», 220440 – «Промышленная теплоэнергетика» и 0050717 – «Теплоэнергетика».

При внедрении в учебный процесс была проведена проверка правильности работы программы, для чего сравнили результаты расчетов студентов (ручной расчет), программы и проектных данных с различных тепловых электростанций (Павлодарская ТЭЦ-1, Павлодарская ТЭЦ-3 и Аксуская ГРЭС).

В данной диссертационной работе полностью и на высоком научном уровне выполнен объем поставленной задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Левенталь Г.Б., Попырин Л.С. Оптимизация теплоэнергетических установок. М: Энергия, 1970 – 352 с.
- 2 Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. Учебник для вузов. М: Энергоатомиздат, 1988 – 528 с.
- 3 Воинов А.П., Зайцев В.А., Куперман Л.И., Сидельковский Л.Н. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические аппараты. М: Энергоатомиздат, 1989 – 272с.
- 4 Гурылев О. Ю. Сетевые компьютерные тренажеры для подготовки операторов энергоблоков 260 МВт Рязанской ГРЭС // Электрические станции, 2003, № 12, С. 19 – 21.
- 5 Елисеев Ю.В., Сердюков О.В., Скворцов А.Н. Направления разработки и внедрения современных АСУ ТП для объектов энергетики // Промышленная энергетика, 2005, № 7, С. 6 – 13.
- 6 Тумановский А.Г., Галецкий Н.С., Курочкин Ю.В. Расчеты естественной циркуляции в котельных агрегатах с помощью компьютерной программы // Промышленная энергетика, 2005, № 7, С. 56.
- 7 Фархадзаде Э. М., Сафарова Т. Х., Мурадалиев А. З., Рафиева Т. К., Фарзалиев Ю. З. Автоматизированная система анализа индивидуальной надежности и эффективности энергоблоков ГРЭС // Электрические станции, 2005, № 11, С. 38 – 46.
- 8 Серков Д. Е., Котлер В. Р. Possibility Reburning — программа расчета технических параметров внедрения метода трехступенчатого сжигания на действующих котлах // Электрические станции, 2003, № 10, С. 25 – 29.
- 9 Кемельман Д.Н., Эскин Н.Б., Давидов А.А. Наладка котлоагрегатов. Справочник. М: Энергия, 1976 – 344 с.
- 10 Зайцев А.И., Митновицкая Е.А., Левин Л.А., Книгин А.Е. Математическое моделирование источников энергоснабжения промышленных предприятий. М: Энергоатомиздат, 1991 – 152 с.

11 Музыка Л.П., Евдоков А.Я., Пирогова О.И. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методического обеспечения подготовки оперативного персонала на тренажере по к/а БКЗ-420-140». Павлодар: Павлодарский индустриальный институт, 1989 – 102 с.

12 Качан А.Д. Режимы работы и эксплуатации тепловых электрических станций. Минск: «Вышэйшая школа», 1978 – 288 с.

13 Чачко А.Г. Подготовка операторов эрегоблоков: алгоритмический подход. М: Энергоатомиздат, 1986 – 232 с.

14 Стырикович М.А. и др. Процессы генерации пара на электростанциях. М: Энергия, 1969 – 312 с.

15 Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Виленский Т.В. Компоновка и тепловой расчет парового котла. М: Энергоатомиздат, 1988 – 208 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Листинг программы

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Menus, Buttons, Grids, DBGrids,
  Math;

type
  TForm1 = class(TForm)
    PC1: TPageControl;
    TS1: TTabSheet;
    TS2: TTabSheet;
    TS3: TTabSheet;
    P1: TPanel;
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    BitBtn1: TBitBtn;
    P4: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    L1: TLabel;
    L2: TLabel;
    L3: TLabel;
    L4: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    P2: TPanel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
```

Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
TabSheet1: TTabSheet;
Panel1: TPanel;
Label32: TLabel;
SG1: TStringGrid;
Edit1: TEdit;
PC2: TPageControl;
TS01: TTabSheet;
TS02: TTabSheet;
ListBox1: TListBox;
ComboBox1: TComboBox;
SG2: TStringGrid;
N5: TMenuItem;
N6: TMenuItem;
TabSheet3: TTabSheet;
P3: TPanel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label44: TLabel;
Label45: TLabel;

Label46: TLabel;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label49: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;
Label58: TLabel;
Label59: TLabel;
Label60: TLabel;
Label61: TLabel;
Label62: TLabel;
M1: TMemo;
M2: TMemo;
M3: TMemo;
M4: TMemo;
M5: TMemo;
M6: TMemo;
M7: TMemo;
M8: TMemo;
M9: TMemo;
M10: TMemo;
M11: TMemo;
M12: TMemo;
M13: TMemo;
M14: TMemo;
P5: TPanel;
Label63: TLabel;
Label64: TLabel;
Label65: TLabel;
Label66: TLabel;
Label67: TLabel;
Label68: TLabel;
Label69: TLabel;
Label70: TLabel;
Label71: TLabel;
Label72: TLabel;
Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Label75: TLabel;
Label76: TLabel;

Label77: TLabel;
Label78: TLabel;
Label79: TLabel;
Label80: TLabel;
Label81: TLabel;
Label82: TLabel;
Label83: TLabel;
Label84: TLabel;
Label85: TLabel;
Label86: TLabel;
Label87: TLabel;
Label88: TLabel;
Label89: TLabel;
Label90: TLabel;
Label91: TLabel;
Label92: TLabel;
Label93: TLabel;
Label94: TLabel;
Label95: TLabel;
Label96: TLabel;
Label97: TLabel;
Label98: TLabel;
Label99: TLabel;
Label100: TLabel;
Label101: TLabel;
Label102: TLabel;
Label103: TLabel;
Label104: TLabel;
Label105: TLabel;
Label106: TLabel;
Label107: TLabel;
Label108: TLabel;
Label109: TLabel;
Label110: TLabel;
Label111: TLabel;
Label112: TLabel;
Label113: TLabel;
Label114: TLabel;
Label115: TLabel;
Memo2: TMemo;
Memo3: TMemo;
Memo4: TMemo;
Memo5: TMemo;
Memo6: TMemo;
Memo7: TMemo;
Memo8: TMemo;

Memo9: TMemo;
Memo10: TMemo;
Memo11: TMemo;
Memo12: TMemo;
Memo13: TMemo;
Memo14: TMemo;
Memo15: TMemo;
Memo16: TMemo;
Memo17: TMemo;
Panel3: TPanel;
Label116: TLabel;
Label117: TLabel;
Label118: TLabel;
Label119: TLabel;
Label120: TLabel;
Label121: TLabel;
Label122: TLabel;
Label123: TLabel;
Label124: TLabel;
Label125: TLabel;
Label126: TLabel;
Label127: TLabel;
Label128: TLabel;
Label129: TLabel;
Label130: TLabel;
Label131: TLabel;
Label132: TLabel;
Label133: TLabel;
Label134: TLabel;
Label135: TLabel;
Label136: TLabel;
Label137: TLabel;
Label138: TLabel;
Label139: TLabel;
Label140: TLabel;
Label141: TLabel;
Label142: TLabel;
Label143: TLabel;
Label144: TLabel;
Label145: TLabel;
Label146: TLabel;
Label147: TLabel;
Label148: TLabel;
Label149: TLabel;
Label150: TLabel;
Label151: TLabel;

```
Label152: TLabel;
Label153: TLabel;
Label154: TLabel;
Label155: TLabel;
Label156: TLabel;
Label157: TLabel;
Label158: TLabel;
Memo18: TMemo;
Memo19: TMemo;
Memo20: TMemo;
Memo21: TMemo;
Memo22: TMemo;
Memo23: TMemo;
Memo24: TMemo;
Memo25: TMemo;
Memo26: TMemo;
Memo27: TMemo;
Memo28: TMemo;
Memo29: TMemo;
Memo30: TMemo;
Button5: TButton;
Memo32: TMemo;
Label160: TLabel;
SB1: TStatusBar;
BitBtn2: TBitBtn;
ListBox2: TListBox;
Label161: TLabel;
Button2: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure MChange(Sender: TObject);
procedure MKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure N3Click(Sender: TObject);
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
procedure ListBox1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
function DZ(F:Real; Z:Integer): String;
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
function TW(X:Real):Real;
procedure TabSheet3Show(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
function Prov(s:String):Real;
procedure N7Click(Sender: TObject);
procedure TB(Sender: TObject);
procedure Old1Click(Sender: TObject);
```

```

Procedure SGAZ;
Procedure SGAZP;
Function NormStoR(A:String):Real;
  procedure M1Change(Sender: TObject);
  procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
  procedure Base1Click(Sender: TObject);
  procedure ListBox2Click(Sender: TObject);
  procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  List, ListM: TList;
  ST: TStrings;
  MEM: TMemo;
  Toplivo, Katel: String;

implementation

uses Unit3, Unit2, Unit4, Unit5, Unit6, Unit8;

{$R *.dfm}

Function TForm1.DZ(F:Real; Z:Integer): String;
Var I,N:Integer; S: String;
Begin N:=1; For I:=1 To Z Do N:=N*10; F:=Round(F*N)/N;
If POS(',',FloatToStr(F))=0 Then DZ:=FloatToStr(F)+'000';
If Length(FloatToStr(F))-POS(',',FloatToStr(F))=1 Then DZ:=FloatToStr(F)+'00';
If Length(FloatToStr(F))-POS(',',FloatToStr(F))=2 Then DZ:=FloatToStr(F)+'0';
If Length(FloatToStr(F))-POS(',',FloatToStr(F))=3 Then DZ:=FloatToStr(F);
End;
//-----
Procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
Var LB: TLabel;
  X,Y,I,J: Integer;
Begin Toplivo:=""; Katel:="";
List:=TList.Create; ListM:=TList.Create;
ListBox1.Clear; Listbox1.Items.LoadFromFile('HardTuel.ini');

```

```

List.Clear; ListM.Clear;
X:=2;
For I:=0 to 19 Do Begin
LB:=TLabel.Create(P1); LB.Parent:=P1; LB.AutoSize:=False;
LB.Caption:=Listbox1.Items.Strings[i]; LB.Left:=2; LB.Color:=clWhite;
LB.Name:='LB'+IntToStr(I);
Case I of
0:   Begin LB.Top:=X; X:=X+30; LB.Height:=29; LB.Width:=280;
LB.color:=RGB(255,255,200); LB.Alignment:=taCenter; End;
1:   Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=280;
LB.color:=RGB(200,200,255); LB.Alignment:=taCenter; End;
2..8: Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=160; End;
9:   Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=160;
LB.Alignment:=taRightJustify; End;
10:  Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=280;
LB.color:=RGB(200,255,200); End;
11..16:Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=160; End;
17:  Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=280;
LB.color:=RGB(200,200,255); LB.Alignment:=taCenter; End;
18..19:Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Width:=160; End;
End; List.Add(LB);
End;
//-----
X:=50;
For I:=21 to 38 Do Begin
If (I<>29)and(I<>36) Then Begin
LB:=TLabel.Create(P1); LB.Parent:=P1; LB.AutoSize:=False;
LB.Left:=234; LB.Caption:='%'; LB.Alignment:=taCenter; LB.Color:=clWhite;
LB.Name:='LB'+IntToStr(I); LB.Width:=48;
    LB.Hint:='LB'+IntToStr(I);
    LB.ShowHint:=True;
Case I of
21..28:Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; End;
30:   Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Caption:='êËàë/êã'; End;
31:   Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Caption:='êËæ/êã'; End;
32:   Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; LB.Caption:='ËËæ/êã'; End;
33..36:Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; End;
37..40:Begin LB.Top:=X; X:=X+18; LB.Height:=17; End;
End; List.Add(LB);
End Else X:=X+18;
End;
X:=50;
For I:=1 to 18 Do Begin If (I<>9)and(I<>16) Then Begin
Mem:=TMemo.Create(P1); MEM.Parent:=P1;
Mem.Left:=163; MEM.Alignment:=taCenter; MEM.BorderStyle:=bsNone;

```

```

Mem.Name:='MEM'+IntToStr(I); Mem.Top:=X; Mem.Width:=70;
Mem.Height:=17; X:=X+18;
Mem.Text:='0'; Mem.OnChange:=MChange; Mem.OnKeyPress:=MKeyPress;
  Mem.Hint:='Memo'+IntToStr(I)+'/'+IntToStr(ListM.Count);
  Mem.ShowHint:=True;
ListM.Add(MEM);
End Else X:=X+18;
End;
X:=22;
For I:=19 to 28 Do Begin If (I<>21) Then Begin
Mem:=TMemo.Create(P2); MEM.Parent:=P2;
Mem.Left:=119; MEM.Alignment:=taCenter; MEM.BorderStyle:=bsNone;
Mem.Name:='MEM'+IntToStr(I); Mem.Top:=X; Mem.Width:=72; Mem.Height:=18;
X:=X+19;
Mem.Text:='0'; Mem.OnKeyPress:=MKeyPress; Mem.OnChange:=MChange;
  Mem.Hint:='Memo'+IntToStr(I)+'/'+IntToStr(ListM.Count);
  Mem.ShowHint:=True;
ListM.Add(MEM);
End Else X:=X+19;
End;
SG1.FixedColor:=RGB(240,240,240);
SG2.FixedColor:=RGB(245,245,245);
SG1.Cells[0,0]:='Наименование величин; SG1.Cells[1,0]:='Разм.';
SG1.Cells[2,0]:='Топка'; SG1.Cells[3,0]:='ПП2';
SG1.Cells[4,0]:='ПП3';SG1.Cells[5,0]:='ПП1';
SG1.Cells[6,0]:='ВЭК1';SG1.Cells[7,0]:='ВЗП1';

SG1.Cells[0,1]:='Коэффициент избытка воздуха';
SG1.Cells[0,2]:='Средний коэффициент избытка воздуха';
SG1.Cells[0,3]:='Действительный объем водяных паров';
SG1.Cells[0,4]:='Действительный объем газов'; SG1.Cells[0,5]:='Объемная доля
трех атомных газов';
SG1.Cells[0,6]:='Объемная доля водяных паров'; SG1.Cells[0,7]:='Доля трех
атомных газов и водяных паров';
SG1.Cells[0,8]:='Концентрация золы частиц';
SG1.Cells[1,1]:='-'; SG1.Cells[1,2]:='-'; SG1.Cells[1,3]:='м3/кг';
SG1.Cells[1,4]:='м3/кг';
SG1.Cells[1,5]:='-'; SG1.Cells[1,6]:='-'; SG1.Cells[1,7]:='-'; SG1.Cells[1,8]:='г/м3';
For I:=1 To 22 Do SG2.Cells[0,I]:=IntToStr((23-I)*100);
SG2.Cells[0,0]:='Темп-ра'; SG2.Cells[1,0]:='Jo,газ'; SG2.Cells[2,0]:='Jo,возд';
SG2.Cells[3,0]:='Jo,золы'; SG2.Cells[4,0]:='LT=1,2'; SG2.Cells[5,0]:='LЭК=1,22';
SG2.Cells[6,0]:='Lгаз=1,24'; SG2.Cells[7,0]:='LВП2=1,29';
SG2.Cells[8,0]:='LЭК1=1,31';
SG2.Cells[9,0]:='LВП1=1,36';
SG1.Cells[2,1]:='1,200';
SG1.Cells[3,1]:='1,220';

```

```

SG1.Cells[4,1]:='1,240';
SG1.Cells[5,1]:='1,290';
SG1.Cells[6,1]:='1,310';
SG1.Cells[7,1]:='1,360';
SG1.Cells[8,1]:='';
For I:=2 To 8 Do For J:=2 To 8 Do SG1.Cells[I,J]:='0,0';
For I:=1 To 10 Do For J:=1 To 22 Do SG2.Cells[I,J]:='0,0';
End;
//-----

```

```

Procedure TForm1.MChange(Sender: TObject);
Var SMem, MemS: TMemo;
    S: String;
    Sum: Real;
    I,J: Integer;
    RasT: Array[0..24] Of Real;
Begin SMem:=Sender AS TMemo; S:=SMem.Text;
If POS(Chr(13),S)>0 Then Delete(S,POS(Chr(13),S),1);
If POS(Chr(10),S)>0 Then Delete(S,POS(Chr(10),S),1);
If Length(Trim(S))=0 Then SMem.Text:='0' Else SMem.Text:=S;
Sum:=0;
For I:=0 To 6 Do Begin MemS:=ListM.items[i]; RasT[i]:=StrToFloat(MemS.text);
Sum:=Sum+StrToFloat(MemS.text); End;
MemS:=ListM.items[7];
If Sum=100 Then MemS.Font.Color:=clBlack Else MemS.Font.Color:=clRed;
MemS.text:=FloatToStr(Sum);
MemS:=ListM.Items[8];
MemS.Text:=FloatToStr(Round((339*RasT[2]+1030*RasT[3]-109*(RasT[6]-RasT[5])-
25.1*RasT[0])/4.1868*1000)/1000);
MemS:=ListM.items[9];
MemS.Text:=FloatToStr(Round((339*RasT[2]+1030*RasT[3]-109*(RasT[6]-RasT[5])-
25.1*RasT[0])*1000)/1000);
RasT[9]:=StrToFloat(MemS.Text);
MemS:=ListM.items[11];
MemS.Text:=FloatToStr(Round( RasT[1]*(100/(100-RasT[0]))*1000)/1000);
MemS:=ListM.items[16];
if RasT[9]<>0 Then
MemS.Text:=FloatToStr(Round(RasT[0]*1000/RasT[9]*1000)/1000);
MemS:=ListM.items[17];
if RasT[9]<>0 Then
MemS.Text:=FloatToStr(Round(RasT[1]*1000/RasT[9]*1000)/1000);

If DM.T1.Fields[0].AsString='ÃÒ' Then Begin
L1.Caption:=FloatToStr(Round(((0.0476*(1.5*RasT[2]+2*RasT[5])+0.265*RasT[3]-
0.033*RasT[6])*10000)/10000));

```

```

L2.Caption:=FloatToStr(Round((0.79*StrToFloat(L1.Caption)+0.8*RasT[4]/100)*10000)/10000);
L3.Caption:=FloatToStr(Round((1.866*(RasT[2]+0.375*RasT[5])/100)*10000)/10000);
;
L4.Caption:=FloatToStr(Round((0.111*RasT[3]+0.0124*RasT[0]+0.0161*StrToFloat(L1.Caption))*10000)/10000);
End Else Begin
L1.Caption:=FloatToStr(Round((0.0889*(RasT[2]+0.375*RasT[5])+0.265*RasT[3]-0.033*RasT[6])*10000)/10000);
L2.Caption:=FloatToStr(Round((0.79*StrToFloat(L1.Caption)+0.8*RasT[4]/100)*10000)/10000);
L3.Caption:=FloatToStr(Round((1.866*(RasT[2]+0.375*RasT[5])/100)*10000)/10000);
;
L4.Caption:=FloatToStr(Round((0.111*RasT[3]+0.0124*RasT[0]+0.0161*StrToFloat(L1.Caption))*10000)/10000);
End;
SG1.Cells[2,2]:=DZ(StrToFloat(SG1.Cells[2,1]),3);
For I:=3 To 7 Do
SG1.Cells[I,2]:=DZ((StrToFloat(SG1.Cells[I-1,1])+StrToFloat(SG1.Cells[I,1]))/2,3);
MemS:=ListM.Items[1];
For I:=2 To 7 Do Begin
SG1.Cells[I,3]:=DZ(StrToFloat(L4.Caption)+0.0161*(StrToFloat(SG1.Cells[I,2])-1)*StrToFloat(L1.Caption),3);
SG1.Cells[I,4]:=DZ(StrToFloat(L2.Caption)+StrToFloat(L3.Caption)+StrToFloat(SG1.Cells[I,3])+StrToFloat(SG1.Cells[I,2])-1)*StrToFloat(L1.Caption),3);
If StrToFloat(SG1.Cells[I,4])<>0 Then Begin
SG1.Cells[I,5]:=DZ(StrToFloat(L3.Caption)/StrToFloat(SG1.Cells[I,4]),3);
SG1.Cells[I,6]:=DZ(StrToFloat(SG1.Cells[I,3])/StrToFloat(SG1.Cells[I,4]),3);
SG1.Cells[I,7]:=DZ(StrToFloat(SG1.Cells[I,6])+StrToFloat(SG1.Cells[I,5]),3);
SG1.Cells[I,8]:=DZ(StrToFloat(MemS.Text)*10*StrToFloat(Edit1.Text)/StrToFloat(SG1.Cells[I,4]),3);
End;
End;
SG2.Cells[1,1]:=DZ(1258*StrToFloat(L3.Caption)+765*StrToFloat(L2.Caption)+988*StrToFloat(L4.Caption),2);
SG2.Cells[1,2]:=DZ(1197*StrToFloat(L3.Caption)+729*StrToFloat(L2.Caption)+940*StrToFloat(L4.Caption),2);
SG2.Cells[1,3]:=DZ(1136*StrToFloat(L3.Caption)+693*StrToFloat(L2.Caption)+892*StrToFloat(L4.Caption),2);
SG2.Cells[1,4]:=DZ(1075*StrToFloat(L3.Caption)+657*StrToFloat(L2.Caption)+844*StrToFloat(L4.Caption),2);

```

SG2.Cells[1,5]:=DZ(
 1014*StrToFloat(L3.Caption)+621*StrToFloat(L2.Caption)+796*StrToFloat(L4.Captio
 n),2);
 SG2.Cells[1,6]:=DZ(
 953*StrToFloat(L3.Caption)+585*StrToFloat(L2.Caption)+748*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,7]:=DZ(
 892*StrToFloat(L3.Caption)+549*StrToFloat(L2.Caption)+700*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,8]:=DZ(
 831*StrToFloat(L3.Caption)+513*StrToFloat(L2.Caption)+652*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,9]:=DZ(
 770*StrToFloat(L3.Caption)+474*StrToFloat(L2.Caption)+604*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,10]:=DZ(
 709*StrToFloat(L3.Caption)+441*StrToFloat(L2.Caption)+556*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,11]:=DZ(
 648*StrToFloat(L3.Caption)+405*StrToFloat(L2.Caption)+508*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,12]:=DZ(
 587*StrToFloat(L3.Caption)+369*StrToFloat(L2.Caption)+460*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,13]:=DZ(
 526*StrToFloat(L3.Caption)+333*StrToFloat(L2.Caption)+412*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,14]:=DZ(
 466*StrToFloat(L3.Caption)+297*StrToFloat(L2.Caption)+364*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,15]:=DZ(
 407*StrToFloat(L3.Caption)+261*StrToFloat(L2.Caption)+319*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,16]:=DZ(
 349*StrToFloat(L3.Caption)+226*StrToFloat(L2.Caption)+274*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,17]:=DZ(
 292*StrToFloat(L3.Caption)+192*StrToFloat(L2.Caption)+231*StrToFloat(L4.Caption
),2);
 SG2.Cells[1,18]:=DZ(
 238*StrToFloat(L3.Caption)+158.6*StrToFloat(L2.Caption)+189.8*StrToFloat(L4.Cap
 tion),2);
 SG2.Cells[1,19]:=DZ(
 184.4*StrToFloat(L3.Caption)+125.8*StrToFloat(L2.Caption)+131.6*StrToFloat(L4.C
 aption),2);

```

SG2.Cells[1,20]:=DZ(
133.5*StrToFloat(L3.Caption)+93.6*StrToFloat(L2.Caption)+110.5*StrToFloat(L4.Ca
ption),2);
SG2.Cells[1,21]:=DZ(
85.4*StrToFloat(L3.Caption)+62.1*StrToFloat(L2.Caption)+72.7*StrToFloat(L4.Capti
on),2);
SG2.Cells[1,22]:=DZ(
40.6*StrToFloat(L3.Caption)+31*StrToFloat(L2.Caption)+36*StrToFloat(L4.Caption),
2);
SG2.Cells[2,1]:=DZ( 799*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,2]:=DZ( 761*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,3]:=DZ( 723*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,4]:=DZ( 685*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,5]:=DZ( 647*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,6]:=DZ( 609*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,7]:=DZ( 571*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,8]:=DZ( 533*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,9]:=DZ( 495*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,10]:=DZ( 457*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,11]:=DZ( 419*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,12]:=DZ( 381*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,13]:=DZ( 343*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,14]:=DZ( 306*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,15]:=DZ( 270*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,16]:=DZ( 234*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,17]:=DZ( 198.2*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,18]:=DZ( 163.4*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,19]:=DZ( 129.4*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,20]:=DZ( 96.2*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,21]:=DZ( 63.6*StrToFloat(L1.Caption),2);
SG2.Cells[2,22]:=DZ( 31.6*StrToFloat(L1.Caption),2);
MemS:=ListM.Items[1];
SG2.Cells[3,1]:=DZ( 666*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,2]:=DZ( 633*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,3]:=DZ( 600*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,4]:=DZ( 570*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,5]:=DZ( 522*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,6]:=DZ( 493*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,7]:=DZ( 448*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,8]:=DZ( 420*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,9]:=DZ( 378*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,10]:=DZ( 325*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,11]:=DZ( 288*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,12]:=DZ( 262*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,13]:=DZ( 235*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,14]:=DZ( 209*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);

```

```

SG2.Cells[3,15]:=DZ( 183.2*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,16]:=DZ( 158.2*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,17]:=DZ( 133.8*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,18]:=DZ( 109.5*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,19]:=DZ( 86*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,20]:=DZ( 63.2*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,21]:=DZ( 40.4*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
SG2.Cells[3,22]:=DZ( 19.3*0.95*StrToFloat(MemS.Text)/100,2);
For I:=1 To 22 Do Begin
SG2.Cells[4,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.2-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
SG2.Cells[5,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.22-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
SG2.Cells[6,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.24-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
SG2.Cells[7,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.29-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
SG2.Cells[8,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.31-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
SG2.Cells[9,I]:=DZ( StrToFloat(SG2.Cells[1,I])+(1.36-
1)*StrToFloat(SG2.Cells[2,I])+StrToFloat(SG2.Cells[3,I]),2);
End;
End;
//-----
procedure TForm1.FormActivate(Sender: TObject);
Var I, J, K, L: Integer;
    PP, FT: String;
Begin
PP:=ExtractFilePath(Application.ExeName);
DM.T1.Active:=False; DM.T1.DatabaseName:=PP+'DataBase'; DM.T1.Active:=True;
DM.T2.Active:=False; DM.T2.DatabaseName:=PP+'DataBase'; DM.T2.Active:=True;
DM.T3.Active:=False; DM.T3.DatabaseName:=PP+'DataBase'; DM.T3.Active:=True;
DM.T40.Active:=False;DM.T40.DatabaseName:=PP+'DataBase';DM.T40.Active:=True;
DM.T41.Active:=False;DM.T41.DatabaseName:=PP+'DataBase';DM.T41.Active:=True;
DM.T42.Active:=False;DM.T42.DatabaseName:=PP+'DataBase';DM.T42.Active:=True;
DM.T5.Active:=False; DM.T5.DatabaseName:=PP+'DataBase'; DM.T5.Active:=True;
P3.Left:=P1.Left;P3.Top:=P1.Top;
PC1.ActivePageIndex :=0; PC2.ActivePageIndex :=0;

ComboBox1.Clear; ComboBox1.Items.Add('Âñà òèïù ôïëèââ');
For I:=1 To DM.T2.RecordCount Do Begin // Ñîçääâî ñïèñîê âèââî ôïëèèââ
DM.T2.RecNo:=I; ComboBox1.Items.Add(DM.T2.Fields[1].Text);
End; ComboBox1.ItemIndex:=0;

```

```
ListBox1.Clear;
For I:=1 To DM.T1.RecordCount Do Begin // Ñïèñê òîüèâ
DM.T1.RecNo:=I; ListBox1.Items.Add(DM.T1.Fields[1].Text);
End; ComboBox1.ItemIndex:=0;
```

```
//TV1.Items.Clear;
  ListBox2.Items.Clear;
For I:=1 To DM.T3.RecordCount Do Begin
DM.T3.RecNo:=I;
//TV1.Items.Add(nil, DM.T3.Fields[1].Text);
  ListBox2.Items.Add(DM.T3.Fields[1].Text);
//J:=TV1.Items.Count-1;
  J:=ListBox2.Items.Count-1; L:=J;
End;
```

```
End;
//-----
Procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
Var I:Integer;
Begin
DM.T1.Filtered :=False;
If ComboBox1.ItemIndex >0 Then Begin
DM.T2.RecNo :=ComboBox1.ItemIndex;
DM.T1.Filter:='Kod='+'''+DM.T2.Fields[0].AsString+''';
DM.T1.Filtered :=True; End;
Listbox1.Clear; DM.T1.First;
For I:= 1 to DM.T1.RecordCount Do Begin
Listbox1.Items.Add(DM.T1.Fields[1].text); DM.T1.Next;
End;
End;
//-----
```

```
Procedure TForm1.ListBox1Click(Sender: TObject);
Var I: Integer;
    MemS: TMemo;
    LB: TLabel;
    S: String;
Begin PC1.ActivePageIndex:=0;
Toplivo:=ListBox1.Items.Strings[ListBox1.ItemIndex];
Form1.Caption:=Toplivo+Katel;
    DM.T1.RecNo:=ListBox1.ItemIndex+1;
    If DM.T1.Fields[0].AsString='ÃÒ' Then Begin
P3.Visible:=True; P1.Visible:=False;
M1.Text:= DM.T1.Fields[2].AsString;
M2.Text:= DM.T1.Fields[3].AsString;
M3.Text:= DM.T1.Fields[4].AsString;
M4.Text:= DM.T1.Fields[5].AsString;
```

```

M5.Text:= DM.T1.Fields[6].AsString;
M6.Text:= DM.T1.Fields[7].AsString;
M7.Text:= DM.T1.Fields[8].AsString;
M8.Text:= DM.T1.Fields[9].AsString;
M9.Text:= DM.T1.Fields[10].AsString;
M10.Text:=DM.T1.Fields[11].AsString;
M11.Text:=DM.T1.Fields[12].AsString;
M12.Text:=DM.T1.Fields[13].AsString;
M13.Text:=DM.T1.Fields[14].AsString;
M14.Text:=DM.T1.Fields[15].AsString;
SGAZ; SGAZP;
End Else Begin
    P3.Visible:=False; P1.Visible:=True;
    For I:=0 To 24 Do Begin
        MemS:=ListM.Items[i]; MemS.Text:=DM.T1.Fields[i+2].AsString;
        End;
    End;

LB:=List.Items[0];
LB.caption:=ComboBox1.Items.Strings[ComboBox1.ItemIndex];
LB.caption:=LB.caption+chr(13)+ListBox1.Items.Strings[ListBox1.ItemIndex];
End;

//-----
Function TForm1.NormStoR(A:String):Real;
Var R:Real; Kod: Integer;
Begin
If POS('.',A)<>0 Then Begin Kod:=POS('.',A);
Delete(A,Kod,1); Insert('.',A,Kod);
End;
Val(A,R,Kod); If Kod = 0 Then NormStoR:=R Else NormStoR:=0;
End;

Procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
Var I: Integer;
    MemS: Tmemo;
    S: String;
Begin
DM.T1.Fields[1].AsString :=Form4.Edit1.Text;
If DM.T1.Fields[0].AsString='ÃÒ' Then Begin
DM.T1.Fields[2].AsFloat:=NormStoR(M1.Text);
DM.T1.Fields[3].AsFloat:=NormStoR(M2.Text);
DM.T1.Fields[4].AsFloat:=NormStoR(M3.Text);
DM.T1.Fields[5].AsFloat:=NormStoR(M4.Text);
DM.T1.Fields[6].AsFloat:=NormStoR(M5.Text);
DM.T1.Fields[7].AsFloat:=NormStoR(M6.Text);

```

```

DM.T1.Fields[8].AsFloat:=NormStoR(M7.Text);
DM.T1.Fields[9].AsFloat:=NormStoR(M8.Text);
DM.T1.Fields[10].AsFloat:=NormStoR(M9.Text);
DM.T1.Fields[11].AsFloat:=NormStoR(M10.Text);
DM.T1.Fields[12].AsFloat:=NormStoR(M11.Text);
DM.T1.Fields[13].AsFloat:=NormStoR(M12.Text);
DM.T1.Fields[14].AsFloat:=NormStoR(M13.Text);
DM.T1.Fields[15].AsFloat:=NormStoR(M14.Text);
End Else Begin
For I:=0 to 24 Do Begin
MemS:=ListM.Items[I];
DM.T1.Fields[I+2].AsFloat:=NormStoR(MemS.Text);
End;
End;
DM.T1.Post;
//DM.T1.Active:=False;
//DM.T1.Active:=True;
End;
//-----
Procedure TForm1.MKeyPress(Sender: TObject; Var Key: Char);
Var SMem: TMemo;
    I, J: Integer;
    vr: Real;
    S:String;
Begin SMem:=Sender As TMemo;
Case Key Of
'0'..'9',#8: ;
':': If (POS(':',SMem.Text)>0) Then Key:=#0 else Key:=',';
';': If (POS('; ',SMem.Text)=0) Then Key:=',' Else Key:=#0;
Else Key:=#0; End;
End;

Procedure TForm1.SGAZP;
Var V,SV: Real; Code:Integer; S: String;
Begin SV:=0; V:=0;
Val(M1.Text,V,Code); SV:=SV+V; Val(M2.Text,V,Code); SV:=SV+V;
Val(M3.Text,V,Code); SV:=SV+V; Val(M4.Text,V,Code); SV:=SV+V;
Val(M5.Text,V,Code); SV:=SV+V;
    Val(M6.Text,V,Code); SV:=SV+V;
    Val(M7.Text,V,Code); SV:=SV+V;
Val(M8.Text,V,Code); SV:=SV+V;
    Val(M9.Text,V,Code); SV:=SV+V;
Val(M10.Text,V,Code); SV:=SV+V; Val(M11.Text,V,Code); SV:=SV+V;
Val(M12.Text,V,Code); SV:=SV+V; Str(SV:6:2,S); Memo32.Text:=S;
If SV=100 Then Memo32.Font.Color:=clBlack else Memo32.Font.Color:=clRed;
End;

```

```

Procedure TForm1.SGAZ;
Var V,SV: Real; Code:Integer; S: String;
Begin SV:=0;
Val(M8.Text,V,Code); SV:=SV+V*23.46;
Val(M10.Text,V,Code); SV:=SV+V*12.68;
Val(M11.Text,V,Code); SV:=SV+V*10.83;
Val(M1.Text,V,Code); SV:=SV+V*35.93;
Val(M2.Text,V,Code); SV:=SV+V*63.95;
Val(M3.Text,V,Code); SV:=SV+V*91.54;
Val(M4.Text,V,Code); SV:=SV+V*119.02;
Val(M5.Text,V,Code); SV:=SV+V*146.54;
Val(M12.Text,V,Code); SV:=SV+V*59.25;
Str(SV:6:2,S); M13.Text:=S
End;

```

```

//-----
Procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);
Begin Form1.Close; End;
Procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);
Begin Form5.Show; End;
Procedure TForm1.N3Click(Sender: TObject);
Begin Form3.Show; End;
Procedure TForm1.Base1Click(Sender: TObject);
Begin Form6.Show; End;

```

```

procedure TForm1.TB(Sender: TObject);
// Расчет теплового баланса
Var VP:TMemo;
Begin
VP:=ListM.items[8];
Memo18.Text:=VP.Text; // Qpp
Memo19.Text:=Memo14.Text; // oC
If Prov(Memo18.Text)<>0 Then // q6
Memo21.Text:=FloatToStr((Form6.ENT(248.98,504.16,Prov(Memo19.text))-
Prov(SG1.Cells[7,1])*Prov(Memo13.text)*1.43)*(100-
Prov(Memo20.Text))/Prov(Memo18.Text));

```

```

Memo22.Text:=FloatToStr((1-
Prov(Edit1.text))*DM.T1.Fields[3].AsFloat*1.15*DM.T1.Fields[3].AsFloat/Prov(Mem
o18.Text));
If DM.T3.Fields[8].AsFloat <> 0 Then
Memo24.Text:=FloatToStr(SQR(60/DM.T3.Fields[8].AsFloat)/Log10(DM.T3.Fields[8]
.AsFloat));

```

```

Memo25.Text:=FloatToStr(1-Prov(Memo24.Text)/(Prov(Memo27.Text)-
Prov(Memo24.Text))); // fi
Memo26.Text:=FloatToStr(Prov(Memo20.Text)+Prov(Memo21.Text)+Prov(Memo22.
Text)+Prov(Memo23.Text)+Prov(Memo24.Text));
Memo27.Text:=FloatToStr(100-Prov(Memo26.Text));
Memo28.Text:=FloatToStr(DM.T3.Fields[8].AsFloat*1000*(Prov(Memo10.Text)-
Prov(Memo6.Text)));
if Prov(Memo18.Text)*Prov(Memo27.Text)<>0 Then Begin
Memo29.Text:=FloatToStr(100*Prov(Memo28.Text)/(Prov(Memo18.Text)*Prov(Mem
o27.Text)));
Memo30.Text:=FloatToStr(Prov(Memo29.Text)*(100-Prov(Memo20.Text))/100);
End;
End;

```

```

procedure TForm1.TabSheet3Show(Sender: TObject);
begin TB(sender); end;

```

```

function TForm1.TW(X:Real):real;
Var x0, x1, x2, x3: Real;
    y0, y1, y2, y3: Real;
    R, B0, B1, B2, B3: Real;
begin
X0:=0; X1:=100; X2:=200; X3:=300;
Y0:=3.80; Y1:=102.90; Y2:=205.00; Y3:=319.60;
//X0:=1.3; X1:=1.4; X2:=1.5; X3:=1.6;
//Y0:=0.934; Y1:=0.9523; Y2:=0.9661; Y3:=0.9763;
B0:=Y0;
B1:=(Y1-Y0)/(X1-X0);
B2:=((Y2-Y0)/(X2-X0)-B1)/(X2-X1);
B3:=(((Y3-Y0)/(X3-X0)-B1)/(X3-X1)-B2)/(X3-X2);
R:=((X -X2)*Y3 + Y2)*(X-X1)+B1+(X-X0)*Y0;
R:=((B3*(X-X2)+B2)*(X-X1)+B1)*(X-X0)+B0;
TW:=R;
end;

```

```

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
Var I:Integer;
S: String;
begin
I:=Dm.T5.RecordCount;
//DM.T5.Edit;
DM.T5.Append;
DM.T5.Fields[0].AsString:=IntToStr(I+1);
DM.T5.Fields[1].AsFloat:=Prov(Memo18.Text);
DM.T5.Fields[2].AsFloat:=Prov(Memo19.Text);

```

```

DM.T5.Fields[3].AsFloat:=Prov(Memo20.Text);
DM.T5.Fields[4].AsFloat:=Prov(Memo21.Text);
DM.T5.Fields[5].AsFloat:=Prov(Memo22.Text);
DM.T5.Fields[6].AsFloat:=Prov(Memo23.Text);
DM.T5.Fields[7].AsFloat:=Prov(Memo24.Text);
DM.T5.Fields[8].AsFloat:=Prov(Memo25.Text);
DM.T5.Fields[9].AsFloat:=Prov(Memo26.Text);
DM.T5.Fields[10].AsFloat:=Prov(Memo27.Text);
DM.T5.Fields[11].AsFloat:=Prov(Memo28.Text);
DM.T5.Fields[12].AsFloat:=Prov(Memo29.Text);
DM.T5.Fields[13].AsFloat:=Prov(Memo30.Text);
DM.T5.Post;
//DM.T5.FlushBuffers; -----
Form8.Memo1.Clear;
S:=Label120.Caption+' '+Label133.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo18.Text)*100)/100)+' ('+Label158.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);

S:=Label121.Caption+' '+Label134.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo19.Text)*100)/100)+' ('+Label157.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label122.Caption+' '+Label135.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo20.Text)*100)/100)+' ('+Label156.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label123.Caption+' '+Label137.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo21.Text)*100)/100)+' ('+Label155.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label124.Caption+' '+Label138.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo22.Text)*100)/100)+' ('+Label154.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label125.Caption+' '+Label139.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo23.Text)*100)/100)+' ('+Label152.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label126.Caption+' '+Label140.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo24.Text)*100)/100)+' ('+Label153.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label127.Caption+' '+Label141.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo25.Text)*100)/100)+' ('+Label151.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label128.Caption+' '+Label142.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo26.Text)*100)/100)+' ('+Label150.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label129.Caption+' '+Label143.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo27.Text)*100)/100)+' ('+Label149.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);

```

```

S:=Label130.Caption+' '+Label144.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo28.Text)*100)/100)+' ('+Label148.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label131.Caption+' '+Label145.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo29.Text)*100)/100)+' ('+Label147.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
S:=Label132.Caption+' '+Label146.Caption+'
'+FloatToStr(Round(Prov(Memo30.Text)*100)/100)+' ('+Label146.Caption+');
Form8.Memo1.Lines.Add(s);
Form8.Show;
end;
//-----
Function TForm1.Prov(S:String):Real;           //
Begin                                           //
While POS(' ',S)<>0 Do Delete(S,POS(' ',S),1); //
While POS(Chr(10),S)<>0 Do Delete(S,POS(Chr(10),S),1); //
While POS(Chr(13),S)<>0 Do Delete(S,POS(Chr(13),S),1); //
Prov:=StrToFloat(S);                           //
End;                                           //
//-----
procedure TForm1.N7Click(Sender: TObject);
var I :Integer;
begin
DM.T5.Edit;
For i:=1 to Dm.T5.RecordCount-1 Do Begin
DM.T5.RecNo:=i; DM.T5.Delete;
End;
Dm.T5.Post;
end;

procedure TForm1.Old1Click(Sender: TObject);
begin
Form4.Show;
end;

procedure TForm1.M1Change(Sender: TObject);
Var SMem: TMemo; I: Integer; VR: Real; S: String;
Begin SMem:=Sender As TMemo;
S:=SMem.Lines.Strings[0];
If POS(Chr(13),S)>0 Then Delete(S,POS(Chr(13),S),1);
If POS(Chr(10),S)>0 Then Delete(S,POS(Chr(10),S),1);
Val(S,VR,I);
If i=0 Then Begin SGAZ; SGAZP; End;
End;
// -----

```

```

Procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
Begin If ListBox1.ItemIndex>=0 Then Begin Form4.Show;
Form4.Edit1.Text:=ListBox1.Items.Strings[ListBox1.ItemIndex];
End; End;
//-----
Procedure TForm1.ListBox2Click(Sender: TObject);
Begin Katel:=' - '+ListBox2.Items.Strings[ListBox2.ItemIndex];
Form1.Caption:=Toplivo+Katel; End;
//-----
Procedure TForm1.Edit1Exit(Sender: TObject);
Var I:Integer;
Begin
If ListBox2.ItemIndex<0 Then MessageDlg('Вы забыли указать котел'+Chr(13)+'для
расчета',mtWarning,[mbOK], 0)
Else Begin
For I:=2 To 7 Do Begin
SG1.Cells[I,3]:=DZ(StrToFloat(L4.Caption)+0.0161*(StrToFloat(SG1.Cells[I,2])-
1)*StrToFloat(L1.Caption),3);
SG1.Cells[I,4]:=DZ(StrToFloat(L2.Caption)+StrToFloat(L3.Caption)+StrToFloat(SG1.
Cells[I,3])+(StrToFloat(SG1.Cells[I,2])-1)*StrToFloat(L1.Caption),3);
If StrToFloat(SG1.Cells[I,4])<>0 Then Begin
SG1.Cells[I,5]:=DZ(StrToFloat(L3.Caption)/StrToFloat(SG1.Cells[I,4]),3);
SG1.Cells[I,6]:=DZ(StrToFloat(SG1.Cells[I,3])/StrToFloat(SG1.Cells[I,4]),3);
SG1.Cells[I,7]:=DZ(StrToFloat(SG1.Cells[I,6])+StrToFloat(SG1.Cells[I,5]),3);

SG1.Cells[I,8]:=DZ(Prov(Memo21.Text)*10*StrToFloat(Edit1.Text)/StrToFloat(SG1.
Cells[I,4]),3);
End;
End;
End;
End;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Form6.Show;
end;

end.

unit Unit2;

interface

```

uses

SysUtils, Classes, DB, DBTables;

type

TDM = class(TDataModule)

T1: TTable;

T2: TTable;

T3: TTable;

DS1: TDataSource;

DS2: TDataSource;

T40: TTable;

DS3: TDataSource;

DS40: TDataSource;

T41: TTable;

T42: TTable;

DS41: TDataSource;

DS42: TDataSource;

T5: TTable;

DS5: TDataSource;

T3TK: TStringField;

T3Tname: TStringField;

T3VT: TFloatField;

T3NI: TFloatField;

T3NPH: TFloatField;

T3FCT: TFloatField;

T3KMAX: TFloatField;

T3ETS: TFloatField;

T3PP: TFloatField;

T40KT: TStringField;

T40KodF: TStringField;

T40D1: TFloatField;

T40D2: TFloatField;

T40S1: TFloatField;

T40S2: TFloatField;

T40H: TFloatField;

T40H1: TFloatField;

T40FP: TFloatField;

T40FG: TFloatField;

T40FPP: TFloatField;

T40FPOP: TFloatField;

T40HL: TFloatField;

T40Z2: TFloatField;

T40HZ: TFloatField;

T40FPZ: TFloatField;

T40HP: TFloatField;

```
T40A1: TFloatField;
T40A2: TFloatField;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  DM: TDM;

implementation

  {$R *.dfm}

end.

unit Unit3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons, Grids, DBGrids, ExtCtrls, ComCtrls, Menus;

type
  TForm3 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    CB1: TComboBox;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Panell1: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    BitBtn3: TBitBtn;
    DBGrid1: TDBGrid;
    Label2: TLabel;
    PopupMenu1: TPopupMenu;
    N1: TMenuItem;
    StatusBar1: TStatusBar;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```

procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure DBGrid1CellClick(Column: TColumn);
procedure N1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

uses Unit2, Unit1;

{$R *.dfm}

procedure TForm3.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  If BitBtn2.Caption='Отменить' Then Begin
  DM.T2.Append; DM.T2.Edit;
  DM.T2.Fields[0].AsString :=Edit2.Text;
  DM.T2.Fields[1].AsString :=Edit1.Text;
  DM.T2.Post;
  CB1.Visible:=True;
  Edit1.Visible:=False; Edit2.Visible :=False;
  BitBtn2.Caption:='Удалить';
  FormActivate(Sender);
  End Else Begin
  CB1.Visible:=False;
  Edit1.Visible :=True; Edit2.Visible :=True;
  BitBtn2.Caption:='Отменить';
  End;
  End;

Procedure TForm3.BitBtn2Click(Sender: TObject);
Begin
  If BitBtn2.Caption='Удалить' Then Begin
  //DM.T2.RecNo:=CB1.ItemIndex+1; DM.T2.Delete;
  Form3.FormActivate(Sender);
  End Else Begin
  CB1.Visible:=True; Edit1.Visible :=False; Edit2.Visible :=False;
  BitBtn2.Caption:='Удалить';

```

End;
End;

```
Procedure TForm3.FormActivate(Sender: TObject);
Var I: Integer;
Begin
CB1.Clear;
For I:=1 To DM.T2.RecordCount Do Begin
DM.T2.RecNo:=I; CB1.Items.Add(DM.T2.Fields[1].Text);
End;
If Form1.ComboBox1.ItemIndex=0 Then
CB1.ItemIndex:=0 Else CB1.ItemIndex:=Form1.ComboBox1.ItemIndex-1;
End;
```

```
Procedure TForm3.BitBtn3Click(Sender: TObject);
Var I: Integer;
Begin
If Length(Edit3.Text)>0 Then Begin
DM.T2.RecNo:=CB1.ItemIndex+1;
DM.T1.Append; DM.T1.Edit;
DM.T1.Fields[0].AsString:=DM.T2.Fields[0].AsString;
DM.T1.Fields[1].AsString:=Edit3.Text;
For I:=0 to 24 Do DM.T1.Fields[I+2].AsFloat:=0;
DM.T1.Post;
End;
```

End;

```
procedure TForm3.DBGrid1CellClick(Column: TColumn);
begin
StatusBar1.Panels[0].Text:=IntToStr(DM.T1.RecNo);
end;
```

```
Procedure TForm3.N1Click(Sender: TObject);
Begin
DM.T1.FlushBuffers;
DM.T1.Edit;
DM.T1.Delete;
DM.T1.FlushBuffers;
End;
```

end.

```

unit Unit4;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons;

type
  TForm4 = class(TForm)
    Edit1: TEdit;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form4: TForm4;

implementation

uses Unit2, Unit1;

{$R *.dfm}

Procedure TForm4.BitBtn1Click(Sender: TObject);
Begin Form4.Close; End;

Procedure TForm4.BitBtn2Click(Sender: TObject);
Var ST: String;
Begin ST:=DM.T1.Fields[0].AsString;
DM.T1.Edit;
DM.T1.Fields[0].AsString;
If Edit1.Text<>Form1.ListBox1.Items.Strings[Form1.ListBox1.ItemIndex] Then
Begin DM.T1.Append; DM.T1.Fields[0].AsString:=ST; End;
Form1.BitBtn1Click(Sender); Form4.Close;
End;

end.

```

```
unit Unit5;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, Grids, DBGrids, FMTBcd, DB, SqlExpr;
```

```
type
```

```
TForm5 = class(TForm)  
  PageControl1: TPageControl;  
  TabSheet1: TTabSheet;  
  TabSheet2: TTabSheet;  
  TabSheet3: TTabSheet;  
  GroupBox1: TGroupBox;  
  Edit1: TEdit;  
  BitBtn1: TBitBtn;  
  CB1: TComboBox;  
  Label1: TLabel;  
  Label2: TLabel;  
  Label3: TLabel;  
  Edit2: TEdit;  
  UpDown1: TUpDown;  
  Edit3: TEdit;  
  UpDown2: TUpDown;  
  Edit4: TEdit;  
  UpDown3: TUpDown;  
  BitBtn2: TBitBtn;  
  TabSheet4: TTabSheet;  
  SG1: TStringGrid;  
  SG2: TStringGrid;  
  SG3: TStringGrid;  
  SG4: TStringGrid;  
  BitBtn4: TBitBtn;  
  BitBtn3: TBitBtn;  
  BitBtn5: TBitBtn;  
  BitBtn6: TBitBtn;  
  Label4: TLabel;  
  Label5: TLabel;  
  Label6: TLabel;  
  Label7: TLabel;  
  Label8: TLabel;  
  Label9: TLabel;
```

```

Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure CB1Change(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure KT_TP;
  procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure BitBtn5Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
  procedure SG2DrawCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State: TGridDrawState);
  procedure SG2SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
Procedure Lab;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form5: TForm5;
  GlobCol: Integer;

implementation

uses Unit2, Unit7;

{$R *.dfm}
//-----//
Procedure TForm5.Lab;
Begin
If UpDown1.Position >=1 Then Label4.Visible:=True Else Label4.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=2 Then Label5.Visible:=True Else Label5.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=3 Then Label6.Visible:=True Else Label6.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=4 Then Label7.Visible:=True Else Label7.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=5 Then Label8.Visible:=True Else Label8.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=6 Then Label9.Visible:=True Else Label9.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=7 Then Label10.Visible:=True Else Label10.Visible:=False;
If UpDown1.Position >=8 Then Label11.Visible:=True Else Label11.Visible:=False;

```

End;

Procedure TForm5.KT_TP;

Var I, J: Integer; FT: String;

Begin

SG1.ColWidths[2]:=20;

SG1.Cells[3,0]:=DM.T3.Fields[2].AsString;

SG1.Cells[3,1]:=DM.T3.Fields[3].AsString;

SG1.Cells[3,2]:=DM.T3.Fields[4].AsString;

SG1.Cells[3,3]:=DM.T3.Fields[5].AsString;

SG1.Cells[3,4]:=DM.T3.Fields[6].AsString;

SG1.Cells[3,5]:=DM.T3.Fields[7].AsString;

SG1.Cells[3,6]:=DM.T3.Fields[8].AsString;

FT:='KT='+'''+DM.T3.Fields[0].AsString+''';

DM.T40.Filtered:=False; DM.T40.Filter:=FT; DM.T40.Filtered:=True;

DM.T40.Refresh;

DM.T41.Filtered:=False; DM.T41.Filter:=FT; DM.T41.Filtered:=True;

DM.T41.Refresh;

DM.T42.Filtered:=False; DM.T42.Filter:=FT; DM.T42.Filtered:=True;

DM.T42.Refresh;

SG2.ColCount:=DM.T40.RecordCount+3;

SG3.ColCount:=DM.T41.RecordCount+3;

SG4.ColCount:=DM.T42.RecordCount+3;

DM.T40.First;

For J:=1 To DM.T40.RecordCount Do Begin

SG2.ColWidths[2+J]:=50;

For I:=0 To 14 Do Begin

If DM.T40.Fields[I+2].AsString='0' Then SG2.Cells[3+(J-1),I]:=''

Else SG2.Cells[3+(J-1),I]:=DM.T40.Fields[I+2].AsString;

End;

DM.T40.Next;

End;

For J:=1 To DM.T41.RecordCount Do Begin

DM.T41.RecNo := J; SG3.ColWidths[1+J]:=50;

For I:=0 To 9 Do Begin SG3.Cells[3+(J-1),I]:=DM.T41.Fields[I+2].AsString; End;

End;

For J:=1 To DM.T42.RecordCount Do Begin

DM.T42.RecNo := J; SG4.ColWidths[1+J]:=50;

For I:=0 To 9 Do Begin SG4.Cells[3+(J-1),I]:=DM.T42.Fields[I+2].AsString; End;

End;

End;

```

//-----//
procedure TForm5.FormActivate(Sender: TObject);
var i, code: Integer;
    s: String;
begin
Label4.Caption:='1'+Chr(13)+'Ступень';
Label5.Caption:='2 Ступень'+Chr(13)+'(Ширма)';
Label6.Caption:='3'+Chr(13)+ Ступень ";
Label7.Caption:='4'+Chr(13)+' Ступень ';
Label8.Caption:='5'+Chr(13)+' Ступень ';
Label9.Caption:='6'+Chr(13)+' Ступень ';
Label10.Caption:='7'+Chr(13)+' Ступень ';
Label11.Caption:='8'+Chr(13)+' Ступень ';

Form5.Left := Round((Screen.Width-Form5.Width)/2); Form5.Top :=
Round((Screen.Height-Form5.Height)/2);
CB1.Items.Clear;
For I:=1 To DM.T3.RecordCount Do Begin // Формируем список котлов
DM.T3.RecNo:=I; CB1.Items.Add(DM.T3.Fields[1].text);
End;
If CB1.Items.Count>=0 Then Begin CB1.ItemIndex:=0; DM.T3.RecNo:=1; KT_TP;
End;
SG1.ColWidths[0]:=250;
SG1.Cells[0,0]:='Объем топочной камеры'; SG1.Cells[0,1]:='Лучевоспринимающая
поверхность';
SG1.Cells[0,2]:='То же ошиованных экранов'; SG1.Cells[0,3]:='Площадь стен
топливной камеры';
SG1.Cells[0,4]:='Коэф. Учитывающий положение МАХв топке';
SG1.Cells[0,5]:='Эфф. толщина излуч-го слоя';
SG1.Cells[0,6]:='паропроизводительность котла'; SG1.Cells[1,6]:='D';
SG1.Cells[2,6]:='Т/ч';
SG1.ColWidths[1]:=30;
SG1.Cells[1,0]:='Vт'; SG1.Cells[1,1]:='Нл'; SG1.Cells[1,2]:='Нппш';
SG1.Cells[1,3]:='ст'; SG1.Cells[1,4]:='M';
SG1.Cells[1,5]:='s';
SG1.ColWidths[2]:=20;
SG1.Cells[2,0]:='м3'; SG1.Cells[2,1]:='м2'; SG1.Cells[2,2]:='м2'; SG1.Cells[2,3]:='м2';
SG1.Cells[2,4]:=' -'; SG1.Cells[2,5]:='м';

SG2.ColWidths[0]:=250;
SG2.Cells[0,0]:='Диаметр труб (1)';
SG2.Cells[0,1]:='Диаметр труб (2)';
SG2.Cells[0,2]:='Шаг трубы (1)';
SG2.Cells[0,3]:='Шаг трубы(2)';
SG2.Cells[0,4]:='Поверхность нагрева труб'; // Н
SG2.Cells[0,5]:='Поверхность нагрева 1 петли'; // Н1п

```

```

SG2.Cells[0,6]:='Сечение для прохода пара'; // fп
SG2.Cells[0,7]:='Сечение для прохода газа прод'; // Fг
SG2.Cells[0,8]:='Сечение для прохода газа прод'; // Fпр
SG2.Cells[0,9]:='Сечение для прохода газа попер'; // Fпоп
SG2.Cells[0,10]:='Лучевоспринимающая пов-ть нагрева'; // Нл
SG2.Cells[0,11]:='Число рядов труб'; // Z2
SG2.Cells[0,12]:='Пов-ть нагрева обвяз. зхмеев.'; // Hz
SG2.Cells[0,13]:='Сечение для прохода пара'; // fпз
SG2.Cells[0,14]:='Расчетная поверхность нагрева'; // Нр

```

```

SG2.ColWidths[1]:=30;
SG2.Cells[1,0]:='d1'; SG2.Cells[1,1]:='d2'; SG2.Cells[1,2]:='S1'; SG2.Cells[1,3]:='S2';
SG2.Cells[1,4]:='H'; SG2.Cells[1,5]:='H1п'; SG2.Cells[1,6]:='fп';
SG2.Cells[1,7]:='Fr';
SG2.Cells[1,8]:='Fпр';
SG2.Cells[1,9]:='Fпоп';SG2.Cells[1,10]:='Нл';SG2.Cells[1,11]:='Z2';
SG2.Cells[1,12]:='Hz'; SG2.Cells[1,13]:='fпз';SG2.Cells[1,14]:='Нр';

```

```

SG2.ColWidths[2]:=20;
SG2.Cells[2,0]:='мм'; SG2.Cells[2,1]:='мм'; SG2.Cells[2,2]:='мм';
SG2.Cells[2,3]:='мм';
SG2.Cells[2,4]:='м2'; SG2.Cells[2,5]:='м2'; SG2.Cells[2,6]:='м2';
SG2.Cells[2,7]:='м2';
SG2.Cells[2,8]:='м2'; SG2.Cells[2,9]:='м2'; SG2.Cells[2,10]:='м2';
SG2.Cells[2,11]:='';
SG2.Cells[2,12]:='м2'; SG2.Cells[2,13]:='м2'; SG2.Cells[2,14]:='м2';

```

```

SG3.ColWidths[0]:=250;
SG3.Cells[0,0]:='Диаметр труб 1'; SG3.Cells[0,1]:='Диаметр труб 2';
SG3.Cells[0,2]:='Шаг трубы 1'; SG3.Cells[0,3]:='Шаг трубы 2';
SG3.Cells[0,4]:='Сечение для прохода газов';SG3.Cells[0,5]:='Поверхность
нагрева';
SG3.ColWidths[1]:=30;
SG3.Cells[1,0]:='d1'; SG3.Cells[1,1]:='d2'; SG3.Cells[1,2]:='S1'; SG3.Cells[1,3]:='S2';
SG3.Cells[1,4]:='Fr'; SG3.Cells[1,5]:='H';
SG3.ColWidths[2]:=20;
SG3.Cells[2,0]:='мм'; SG3.Cells[2,1]:='мм'; SG3.Cells[2,2]:='мм';
SG3.Cells[2,3]:='мм'; SG3.Cells[2,4]:='м2'; SG3.Cells[2,5]:='м2';

```

```

SG4.ColWidths[0]:=250;
SG4.Cells[0,0]:='Диаметр труб 1';
SG4.Cells[0,1]:='Диаметр труб 2';
SG4.Cells[0,2]:='Шаг трубы 1';
SG4.Cells[0,3]:='Шаг трубы 2';
SG4.Cells[0,4]:='Сечение для прохода газов';
SG4.Cells[0,5]:='Сечение для прохода воздуха';

```

```

SG4.Cells[0,6]:='Поверхность нагрева';
SG4.ColWidths[2]:=30;
SG4.Cells[1,0]:='d1'; SG4.Cells[1,1]:='d2'; SG4.Cells[1,2]:='S1'; SG4.Cells[1,3]:='S2';
SG4.Cells[1,4]:='Fr'; SG4.Cells[1,5]:='FB'; SG4.Cells[1,5]:='H';
SG4.ColWidths[2]:=20;
SG4.Cells[2,0]:='мм'; SG4.Cells[2,1]:='мм'; SG4.Cells[2,2]:='мм';
SG4.Cells[2,3]:='мм';
SG4.Cells[2,4]:='м2'; SG4.Cells[2,5]:='м2'; SG4.Cells[2,6]:='м2';
Form5.CB1Change(Sender);
end;

```

```

procedure TForm5.Edit2Change(Sender: TObject);
begin TabSheet1.Caption:='Пароперегреватели ('+IntToStr(UpDown1.Position)+'');
If UpDown1.Position > 0 Then Begin SG2.ColCount:=UpDown1.Position+3;
SG2.ColWidths[3]:=50;
End Else Begin SG2.ColCount:=4; SG2.ColWidths[3]:=0; End;
Lab;
end;

```

```

procedure TForm5.Edit3Change(Sender: TObject);
begin TabSheet2.Caption:='Водяной экономайзер ('+IntToStr(UpDown2.Position)+'');
SG3.ColCount:=UpDown2.Position+3;
end;

```

```

procedure TForm5.Edit4Change(Sender: TObject);
begin TabSheet3.Caption:='Воздухоподогреватель
('+IntToStr(UpDown3.Position)+'');
SG4.ColCount:=UpDown3.Position+3;
end;

```

```

procedure TForm5.CB1Change(Sender: TObject);
var FT: String;
begin
DM.T3.RecNo:=CB1.ItemIndex+1; КТ_ТР;
TabSheet1.Caption:='Пароперегреватели ('+IntToStr(DM.T40.RecordCount)+'');
UpDown1.Position := DM.T40.RecordCount;
TabSheet2.Caption:='Водяной экономайзер ('+IntToStr(DM.T41.RecordCount)+'');
UpDown2.Position := DM.T41.RecordCount;
TabSheet3.Caption:='Воздухоподогреватель ('+IntToStr(DM.T42.RecordCount)+'');
UpDown3.Position := DM.T42.RecordCount;
end;

```

```

Procedure TForm5.BitBtn3Click(Sender: TObject);
Var S: String;
F: Real;

```

```

i,j,Code: Integer;
Begin DM.T3.Edit;
For I:=0 To 6 Do Begin
Val(SG1.Cells[3,I],F,Code);
If Code=0 Then DM.T3.Fields[I+2].AsFloat:=F;
End;
DM.T3.FlushBuffers;
End;

```

```

procedure TForm5.FormCreate(Sender: TObject);
begin Pagecontrol1.ActivePageIndex:=0; end;

```

```

Procedure TForm5.BitBtn4Click(Sender: TObject);
Var   S: String;
      F: Real;
I, J, Code: Integer;
Begin DM.T40.Edit;
S:='KT='+'''+DM.T3.Fields[0].AsString+''';
DM.T40.Filter:=S; DM.T40.Filtered:=True;
While DM.T40.RecordCount >0 Do DM.T40.Delete; DM.T40.Filtered:=False;
For J:=3 To Form5.UpDown1.Position+2 Do Begin
DM.T40.Append; DM.T40.Fields[0].AsString := DM.T3.Fields[0].AsString;
DM.T40.Fields[1].AsString := 'PPP';
For I:=0 To 14 Do Begin
Val(SG2.Cells[J,I],F,Code);
If Code <> 0 Then Begin F:=0;
End;
DM.T40.Fields[I+2].AsFloat:=F;
End; End;
DM.T40.FlushBuffers;
Form5.CB1Change(Sender);
end;

```

```

procedure TForm5.BitBtn5Click(Sender: TObject);
Var   S: String;
      F: Real;
I, J, Code: Integer;
Begin DM.T41.Edit;
S:='KT='+'''+DM.T3.Fields[0].AsString+''';
DM.T41.Filter:=S; DM.T41.Filtered:=True;
While DM.T41.RecordCount >0 Do DM.T41.Delete; DM.T41.Filtered:=False;
For J:=3 To SG3.ColCount-1 Do Begin
DM.T41.Append; DM.T41.Fields[0].AsString := DM.T3.Fields[0].AsString;
DM.T41.Fields[1].AsString := 'WEP';
For I:=0 To 9 Do Begin
Val(SG3.Cells[J,I],F,Code); DM.T41.Fields[I+2].AsFloat:=F;

```

```

End;
End;
DM.T41.FlushBuffers;
end;

```

```

procedure TForm5.BitBtn6Click(Sender: TObject);
Var   S: String;
      F: Real;
I, J, Code: Integer;
Begin DM.T42.Edit;
S:='KT='+'''+DM.T3.Fields[0].AsString+''';
DM.T42.Filter:=S; DM.T42.Filtered:=True;
While DM.T42.RecordCount >0 Do DM.T42.Delete; DM.T42.Filtered:=False;
For J:=3 To SG4.ColCount-1 Do Begin
DM.T42.Append; DM.T42.Fields[0].AsString := DM.T3.Fields[0].AsString;
DM.T42.Fields[1].AsString := 'VVP';
For I:=0 To 9 Do Begin
Val(SG4.Cells[J,I],F,Code); DM.T42.Fields[I+2].AsFloat:=F;
End; End;
DM.T42.FlushBuffers;
end;

```

```

procedure TForm5.SG2DrawCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  Rect: TRect; State: TGridDrawState);
Var CV,CW: TColor;
Begin
CV:=clYellow; CW:=clSilver; CW:=RGB(230,230,230); CV:=CW;
if (GlobCol=3)and(aCol>=0)and(aCol<=2) Then If (ARow=4)or(ARow>=8) Then
Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CW; SG2.Canvas.FillRect(Rect);
SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;
if (GlobCol=4)and(aCol>=0)and(aCol<=2) Then if
(ARow=5)or(ARow=7)or(ARow=11)or(ARow=12)or(ARow=13) Then Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CW; SG2.Canvas.FillRect(Rect);
SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;
if (GlobCol>4)and(aCol>=0)and(aCol<=2) Then if
(ARow=2)or(ARow=3)or(ARow=5)or(ARow=8)or(ARow=9)or(ARow=10)or(ARow=
14) Then Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CW; SG2.Canvas.FillRect(Rect);
SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;

if (ACol=3) Then if (ARow=4)or(ARow>=8) Then Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CV; SG2.Canvas.FillRect(Rect);

```

```

SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;
if (ACol=4) Then if (ARow=5)or(ARow=7)or(ARow=11)or(ARow=12)or(ARow=13)
Then Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CV; SG2.Canvas.FillRect(Rect);
SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;
if (ACol>4) Then if
(ARow=2)or(ARow=3)or(ARow=5)or(ARow=8)or(ARow=9)or(ARow=10)or(ARow=
14) Then Begin
SG2.Canvas.Brush.Color := CV; SG2.Canvas.FillRect(Rect);
SG2.Canvas.TextRect(Rect,Rect.Left+2,Rect.Top+2,SG2.Cells[aCol, aRow]);
End;
end;

```

```

procedure TForm5.SG2SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin GlobCol:=aCol; SG2.Repaint; end;

```

```

Procedure TForm5.BitBtn1Click(Sender: TObject);
Begin Form7.Show; End;

```

```

Procedure TForm5.BitBtn2Click(Sender: TObject);
Var S: String; I:Integer;
Begin
If MessageDlg('Вы действительно желаете удалить'+Chr(13)+' котел-
'+DM.T3.Fields[1].AsString,mtWarning, [mbYes, mbNo], 0) = mrYes Then Begin
S:='KT='+'''+DM.T3.Fields[0].AsString+''';
DM.T40.Filter:=S; DM.T40.Filtered:=True;
While DM.T40.RecordCount >0 Do DM.T40.Delete; DM.T40.Filtered:=False;
DM.T41.Filter:=S; DM.T41.Filtered:=True;
While DM.T41.RecordCount >0 Do DM.T41.Delete; DM.T41.Filtered:=False;
DM.T42.Filter:=S; DM.T42.Filtered:=True;
While DM.T42.RecordCount >0 Do DM.T42.Delete; DM.T42.Filtered:=False;
DM.T3.Delete; DM.T3.FlushBuffers;
FormActivate(Sender);
End;
end;

```

```

end.

```

```

unit Unit6;

```

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, Grids, DBGrids, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, ComCtrls;

type

```
TForm6 = class(TForm)
  PageControl1: TPageControl;
  TabSheet1: TTabSheet;
  TabSheet2: TTabSheet;
  Paint: TPaintBox;
  Label1: TLabel;
  Paint2: TPaintBox;
  Label2: TLabel;
  Button1: TButton;
  Function SR(S:String):Real;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
Function ENT(Z1,Z2,Z3: Real): Real;
  procedure Paint2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
  procedure UpDown1Changing(Sender: TObject; var AllowChange: Boolean);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
```

var

Form6: TForm6;

implementation

uses Unit1, Unit2;

{ \$R *.dfm }

```
Function TForm6.SR(S:String):Real;
Begin
If POS('.',S)<>0 Then S[POS('.',S)]:=',';
If POS(#$A,S)<>0 Then S[POS(#$A,S)]:= ' ';
If POS(#$D,S)<>0 Then S[POS(#$D,S)]:= ' ';
  SR:=StrToFloat(Trim(S));
End;
```

```

procedure TForm6.Button1Click(Sender: TObject);
Var Kof,kofmin,kofmax,y5,D,Dn,Dk,QQ2,QQ3: Real;
    Qq7,KPD,QQ4,QQ5,QQ6,h,qh5,Sp: Real;
    KQ5N,KQ5K,KQ5: Real;
    X,Y,I: Integer;
begin
D:=DM.T3.Fields[8].AsFloat;
Dn:=0.6*D; Dk:=1.2*D; h:=(Dk-Dn)/470; D:=Dn;
KQ5N:=0.2032;KQ5K:=0.1277; qh5:=(KQ5K-KQ5N)/470;

QQ2:=Form1.Prov(Form1.Memo21.Text);
QQ3:=Form1.Prov(Form1.Memo23.Text);
QQ4:=Form1.Prov(Form1.Memo20.Text);
QQ6:=(1-Form1.Prov(Form1.Edit1.text))*DM.T1.Fields[3].AsFloat*1.15;
QQ6:=QQ6*DM.T1.Fields[3].AsFloat/Form1.Prov(Form1.Memo18.Text);

// График КПД -----
X:=0;
Kof:=(100-(QQ2+QQ3+QQ4+KQ5N+QQ6));
Kofmin:=Kof;
paint.Canvas.MoveTo(10,50);
Paint.Canvas.TextOut(10,50,'min= '+FloatToStr(Round(kof*1000)/1000));
    paint.Canvas.MoveTo(140,50);
    Paint.Canvas.TextOut(140,50,'Êîðèèàíò ñëáçíâî äáñòàè');
paint.Canvas.Pen.Color:=clGreen;
paint.Canvas.MoveTo(90,55); paint.Canvas.LineTo(130,55);
Paint.Canvas.Pen.Width:=3;
Y:= round(335-(0)*2000); paint.Canvas.MoveTo(x,y);
    While D<=Dk Do Begin
Kof:=(100-(QQ2+QQ3+QQ4+KQ5N+QQ6));
Y:= round(335-(Kof-KofMin)*2000);
    paint.Canvas.LineTo(x,y);
Inc(X);
D:=D+h;
KQ5N:=KQ5N+QH5;
End;
paint.Canvas.MoveTo(350,50);
Paint.Canvas.TextOut(350,50,'max= '+FloatToStr(Round(kof*1000)/1000));

// График "Сумма тепловых потерь"
X:=0;
D:=DM.T3.Fields[8].AsFloat;
Dn:=0.6*D; Dk:=1.2*D; h:=(Dk-Dn)/470; D:=Dn;
KQ5N:=0.2032;KQ5K:=0.1277; qh5:=(KQ5K-KQ5N)/470;

Kof:=QQ2+QQ3+QQ4+KQ5N+QQ6;

```

```

paint.Canvas.MoveTo(10,350);
Paint.Canvas.TextOut(10,350,'max= '+FloatToStr(Round(kof*1000)/1000));
paint.Canvas.MoveTo(165,350);
Paint.Canvas.TextOut(165,350,'Сумма тепловых потерь');

paint.Canvas.Pen.Color :=clRed;
paint.Canvas.MoveTo(120,355); paint.Canvas.LineTo(160,355);
Y:= Round(530-(KQ5N)*2000); Paint.Canvas.MoveTo(x,y);
Paint.Canvas.Pen.Width:=2;
  While D<=Dk Do Begin
    Y:= Round(530-(KQ5N)*2000); paint.Canvas.LineTo(x,y);
    Inc(X); D:=D+h; KQ5N:=KQ5N+QH5; Kof:=Kof+QH5;
  End;
paint.Canvas.MoveTo(350,350);
Paint.Canvas.TextOut(350,350,'min= '+FloatToStr(Round(kof*1000)/1000));
//-----
paint.Canvas.MoveTo(350,380);

// Координатные линии
Paint.Canvas.Pen.Color :=clBlack; Paint.Canvas.MoveTo(0,0);
Paint.Canvas.LineTo(0,405); Paint.Canvas.LineTo(500,405);

D:=DM.T3.Fields[8].AsFloat;
Dn:=0.6*D; Dk:=1.2*D; h:=(Dk-Dn)/8;
For I:=0 To 8 Do Begin
  Paint.Canvas.TextOut(i*58,410,FloatToStr(Round(Dn)));
  Dn:=Dn+H;
End;
Paint2.Canvas.Pen.Color :=clBlack; Paint2.Canvas.MoveTo(0,0);
Paint2.Canvas.LineTo(0,405); Paint2.Canvas.LineTo(500,405);
// ----- График q2 от температуры уходящих газов ---
Paint2.Canvas.Pen.Width:=3;
X:=0; Dn:=100; Dk:=180; h:=(Dk-Dn)/470; D:=Dk;
KQ5N:=(ENT(504.16,248.98,Dn)-
Form1.Prov(Form1.SG1.Cells[7,1])*Form1.Prov(Form1.Memo13.text)*1.43)*(100-
Form1.Prov(Form1.Memo20.Text))/Form1.Prov(Form1.Memo18.Text);
KQ5K:=(ENT(504.16,248.98,Dk)-
Form1.Prov(Form1.SG1.Cells[7,1])*Form1.Prov(Form1.Memo13.text)*1.43)*(100-
Form1.Prov(Form1.Memo20.Text))/Form1.Prov(Form1.Memo18.Text);
QH5:=(KQ5K-KQ5N)/470;
//Paint2.Canvas.TextOut(120,40,'K= '+FloatToStr(Round(QH5*1000)/1000));
Paint2.Canvas.TextOut(10,60,'min= '+FloatToStr(Round(KQ5K*1000)/1000));
Paint2.Canvas.TextOut(140,60,'q2 от температуры уходящих газов');
Paint2.Canvas.TextOut(350,60,'max= '+FloatToStr(Round(KQ5N*1000)/1000));
Y:= Round(500-(KQ5K)*40); Paint2.Canvas.MoveTo(X,Y);
  While D>=Dn Do Begin

```

```

KOF:=(ENT(504.16,248.98,D)-
Form1.Prov(Form1.SG1.Cells[7,1])*Form1.Prov(Form1.Memo13.text)*1.43)*(100-
Form1.Prov(Form1.Memo20.Text))/Form1.Prov(Form1.Memo18.Text);
Paint2.Canvas.Pen.Color :=clBlue;
  Y:= Round(500-(KOF)*40);
  Paint2.Canvas.LineTo(X,Y);
  Inc(X); D:=D-h;
  KQ5N:=KQ5N+QH5;
  KOF:=KOF+QH5;
End;
Dn:=100; Dk:=180; h:=(Dk-Dn)/8;
For I:=0 To 8 Do Begin
Paint2.Canvas.TextOut(i*58,410,FloatToStr(Round(Dn)));
Dn:=Dn+H;
End;

end;

// Интерполяция между двумя значениями
Function TForm6.ENT(Z1,Z2,Z3: Real): Real;
Begin
ENT:=(Z2-Z1)/100*(Z3-100)+Z1;
End;

procedure TForm6.Paint2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
begin
form6.Caption:='x'+Inttostr(x)+' y'+Inttostr(y);
end;

procedure TForm6.UpDown1Changing(Sender: TObject;
  var AllowChange: Boolean);
begin
Form6.Button1Click(sender);
end;

end.

unit Unit7;

interface

```

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, Grids;

type

```
TForm7 = class(TForm)
  Label1: TLabel;
  Edit1: TEdit;
  Button1: TButton;
  Button2: TButton;
  SG1: TStringGrid;
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure FormActivate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
```

var

```
Form7: TForm7;
```

implementation

uses Unit2;

```
{ $R *.dfm }
```

```
Procedure TForm7.Button2Click(Sender: TObject);
Begin Form7.Close; End;
```

```
Procedure TForm7.Button1Click(Sender: TObject);
Var H: Real; Code: Integer;
Begin
DM.T3.Append; DM.T3.Edit;
DM.T3.Fields[0].AsString:='KT'+IntToStr(DM.T3.RecordCount+1);
DM.T3.Fields[1].AsString:=Edit1.Text;
Val(SG1.Cells[3,0],H,Code); DM.T3.Fields[2].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,1],H,Code); DM.T3.Fields[3].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,2],H,Code); DM.T3.Fields[4].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,3],H,Code); DM.T3.Fields[5].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,4],H,Code); DM.T3.Fields[6].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,5],H,Code); DM.T3.Fields[7].AsFloat:=H;
Val(SG1.Cells[3,6],H,Code); DM.T3.Fields[8].AsFloat:=H;
DM.T3.FlushBuffers; Form7.Close;
```

End;

Procedure TForm7.FormActivate(Sender: TObject);

Begin

SG1.ColWidths[0]:=250; SG1.ColWidths[1]:=30; SG1.ColWidths[2]:=20;

SG1.Cells[0,0]:='Объем топочной камеры';

SG1.Cells[1,0]:='Vт';SG1.Cells[2,0]:='м3';

SG1.Cells[0,1]:='Лучевоспринимающая поверхность'; SG1.Cells[1,1]:='Нл';

SG1.Cells[2,1]:='м2';

SG1.Cells[0,2]:='То же ошиованных экранов';

SG1.Cells[1,2]:='Нпш';SG1.Cells[2,2]:='м2';

SG1.Cells[0,3]:='Площадь стен топливной камеры'; SG1.Cells[1,3]:='ст';

SG1.Cells[2,3]:='м2';

SG1.Cells[0,4]:='Кофф. учитывающий положение MAX в топке';

SG1.Cells[1,4]:='М'; SG1.Cells[2,4]:=' -';

SG1.Cells[0,5]:='Эфф. толщина излуч-го слоя ';SG1.Cells[1,5]:='s';

SG1.Cells[2,5]:='м';

SG1.Cells[0,6]:='Паропроизводительность котла'; SG1.Cells[1,6]:='D';

SG1.Cells[2,6]:='Т/ч';

End;

end.

nit Unit8;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, Menus, StdCtrls;

type

TForm8 = class(TForm)

 Memo1: TMemo;

 MainMenu1: TMainMenu;

 N1: TMenuItem;

 SaveDialog1: TSaveDialog;

 procedure N1Click(Sender: TObject);

private

 { Private declarations }

public

 { Public declarations }

end;

var

Form8: TForm8;

implementation

{ \$R *.dfm }

```
procedure TForm8.N1Click(Sender: TObject);
begin
  If SaveDialog1.Execute Then Begin
    Memo1.Lines.SaveToFile(SaveDialog1.FileName);
  End;
end;

end.
```