

УДК. 536.24:697.326

Долинский А.А., Демченко В.Г.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ

В поданій статті наведено аналіз факторів, які впливають на експлуатацію котельного та допоміжного обладнання, запропоновано технічні та організаційні заходи, які спрямовані на вирішення задач щодо ефективності роботи тепло-технічного обладнання.

В данной статье приводится анализ факторов влияющих на эксплуатацию котельного и вспомогательного оборудования, предложены технические и организационные мероприятия, направленные на решение задач эффективности работы теплотехнического оборудования.

We analyze the factors affecting the operation of boilers and auxiliary equipment and propose technical and organizational measures intended for the solution of problems of enhancing the efficiency of operation of thermal equipment.

$B$  – расход горючего;

$e$  – коэффициент внутренней рециркуляции;

$f_o$  – относительный коэффициент объёма котловой воды;

$L$  – ширина раскрытия щелевого зазора на фронте котла;

$t$  – время;

$T$  – температура;

$V$  – объём камеры сгорания;

$w$  – проток котловой воды;

$\theta_{\eta}$  – теплотворная низшая способность топлива.

**Нижние индексы:**

$n$  – низшая теплотворная способность топлива;

**Верхние индексы:**

$2+$  – валентность.

Сокращение запасов топливно-энергетических ресурсов приводит к стремительному росту дефицита и стоимости органических видов топлива. Зачастую происходит ухудшение химического состава топлива, снижение его калорийной способности, отклонение от стандартов качества вследствие введения низкокалорийных ингредиентов и увеличения доли внутреннего балласта. Ускоренная коррозия оборудования нередко создает аварийно-опасные ситуации, а плохое качество топлива снижает КПД теплоагрегатов и приводит к загрязнению атмосферы.

Негативно на эксплуатацию котельного оборудования влияет необоснованная децентрализация теплоснабжения, несанкционированный отбор теплоносителя, перевод без мероприятий по модернизации существующего оборудования в низкотемпературные режимы эксплуатации, снижение мощности котлов за счёт низкого давления газа, нарушение режимных карт, отложе-

ние накипи на конвективных поверхностях теплообмена, повышенные расходы потребляемой электроэнергии, нарушение регламента ремонта, материальный и моральный износ вспомогательного оборудования и тепловых сетей. Перечисленные факторы приводят к недожогу топлива, коррозии и преждевременному выходу из строя оборудования, снижению качества теплоснабжения и обоснованным претензиям потребителей.

Сложившаяся ситуация требует незамедлительного решения комплекса вопросов для модернизации системы генерации и распределения тепловой энергии, а также использования мало-затратных методов для продления сроков службы существующего оборудования. Последнее обстоятельство вызвано тем, что полную замену существующего оборудования на новое невозможно провести в короткие сроки из-за отсутствия необходимых денежных средств. Поэтому

техническое переоснащение и модернизации котельного оборудования является на сегодняшний день важной народнохозяйственной задачей.

Определение эффективности работы котельного оборудования должно начинаться с проведения энергоаудита, в ходе которого изучается не только техническое состояние оборудования, но и структурные, организационные и экономические факторы, влияющие на его эксплуатацию. В частности, необходимо определить ежегодное потребление энергии с выяснением объёмов закупки и собственной генерации, а также использования и распределения энергии с определением её стоимости и соотношения стоимостных показателей по различным видам энергии (электроэнергия, газ, мазут, вода, теплота, пар, воздухообеспечение, хладоснабжение и т.п.). Круг вопросов необходимых для принятия правильных решений включает в себя:

- ◆ Выяснение сезонных, месячных, суточных, часовых колебаний потребления энергии и её производных.

- ◆ Определение тарифов на энергию и топливо с рассмотрением схемы оплаты.

- ◆ Определение способа использования энергии, в зависимости от производственных и непроизводственных нужд, вида продукции или работ, составление баланса потребления энергии по видам.

- ◆ Определение эффективности работы систем и оборудования с использованием инструментального контроля, визуального осмотра, проведения необходимых замеров, обследования состояния оборудования.

- ◆ Определение максимальной, средней и минимальной нагрузки,

- ◆ Сопоставление фактических и проектных характеристик оборудования и систем, выработка перечня предлагаемых мероприятий.

- ◆ Анализ предыдущих мероприятий, проводимых на предприятии для сокращения энергопотребления.

- ◆ Анализ возможностей энергосбережения в процессе текущей эксплуатации и возможностей по их реализации.

- ◆ Описание возможностей энергосбережения, с разработкой вариантов использования

различного оборудования и технологических схем.

- ◆ Расчёт минимальной и максимальной стоимости предлагаемых вариантов модернизации и переоснащения оборудования.

- ◆ Расчёт годовых затрат и экономии энергии по её видам.

- ◆ Разработку предложений по мониторингу работы генераторов теплоты и температурного режима теплоиспользующего оборудования с расчётами его стоимости, годовой экономии и оценкой сроков окупаемости.

- ◆ Методы повышения эффективности источников тепловой энергии.

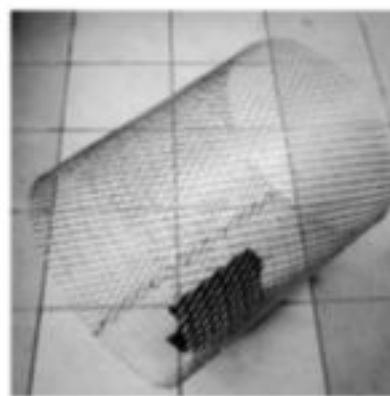
- ◆ Усилия по повышению эффективности работы котельного оборудования, направленные на сокращение потерь тепловой энергии с уходящими газами, потерь в результате химического и механического недожога, изоляцию котельного оборудования и трубопроводов. Механический и химический недожог устраняются, как правило, проведением эколого-теплотехнической наладки оборудования либо заменой горелочного устройства на более совершенное. Сокращение нерационального производства и распределения теплоты обеспечивается установкой современных систем автоматики котлов с погодным регулированием.

- ◆ Снижение температуры уходящих дымовых газов, предусматривающие изменение режима эксплуатации, что не всегда выполнимо в связи с появлением конденсата в оборудовании и дымовых трубах, недогревом теплоносителя и нерациональным режимом эксплуатации котлоагрегата.

Надо отметить, что при конструировании котлов в прежние годы конструкторы стремились сократить металлоёмкость котлов и обеспечить их высокую ремонтнопригодность и с этой целью ориентировались на высокотемпературные режимы эксплуатации котлов, мало заботясь об экономии топливно-энергетических ресурсов. Результатом этого является то, что находящееся в эксплуатации сегодня оборудование представлено в основном водотрубными котлами, имеющими пониженные объёмы котловой воды, плохо автоматизированными и часто оборудованными примитивными горелочными устройствами. Од-



а



б

**Рис. 1. Промежуточные излучатели, разработанные в ИТТФ НАН Украины.**  
**а. Внешний вид промежуточных излучателей в виде огневой трубы;**  
**б. Промежуточный излучатель, изготовленный из просечной нержавеющей стали**

нако в сегодняшних экономических условиях это оборудование нет возможности вывести из эксплуатации.

Поэтому необходимы технические мероприятия, позволяющие повысить КПД котлов, снизить вредные выбросы в атмосферу и продлить сроки их работы. Одним из таких методов может стать применение вторичных излучателей с установкой их в топку котла, разработанных в Институте технической теплофизики НАН Украины [1].

Важным показателем качества реакций химических превращений является интенсивность горения. В промышленных установках интенсивность горения в камерной топке оценивают по величине  $\theta_v$  – удельного тепловыделения, отнесенного к единице объема системы, кВт/м<sup>3</sup>:

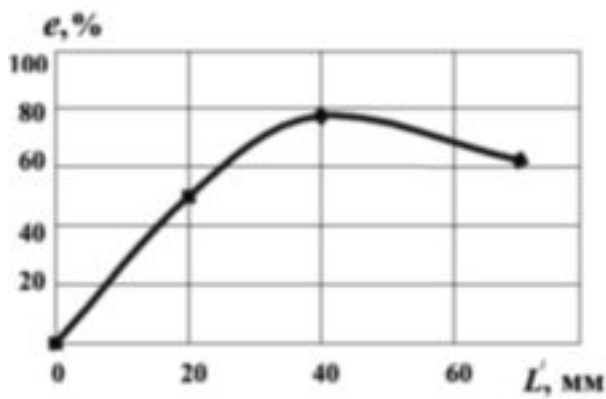
$$\theta_v = \frac{V\theta_n}{V} \quad (1)$$

Исходя из этого модернизация существующего оборудования может быть направлена на изменение топочного объема. Это обеспечит локализацию реакций горения, создание оптимальных условий их протекания и поддержание наиболее выгодных режимов эксплуатации для получения максимально возможного КПД и снижения вредных выбросов в атмосферу. Известно, что интенсивность горения, определяемая по скорости расхода горючих веществ, зависит не только

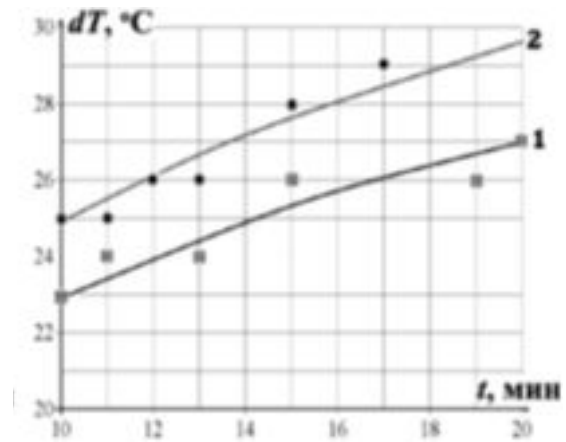
от скорости протекания химической реакции, но и от скорости процесса смесеобразования, определяющим фактором которой является интенсивность протекания турбулентной и молекулярной диффузии. Данное условие обеспечивает организацию внутренней рециркуляции дымовых газов в топке котла.

Надо учитывать, что при температуре 1650 °С 90% спектрального излучения факела находится в инфракрасной области, видимой – 9%, ультрафиолетовой – 1%, до 70% от общего теплосъёма происходит именно в топке котла. Поэтому одним из методов интенсификации топочного теплообмена является достижение максимальной степени черноты топки. Это предлагается осуществить путём создания многокамерной топки, в которой происходит позонное отделение реагентов от продуктов сгорания с одновременным повышением радиационного теплообмена.

Нами предлагается метод использования промежуточных излучателей (рис.1), которые не только позволяют изменить аэродинамику хода дымовых газов, обеспечив их повторный дожег, но и за счёт переизлучения, компенсируя временное затенение топки, повысить её черноту и интенсификацию теплообмена. Оребрение вторичного излучателя позволяет за счёт конвективного теплообмена обеспечить интенсивный отвод теплоты и охлаждение вторичного излучателя, предохраняющее



а



б

**Рис. 2. Показатели работы промежуточных излучателей в котлах с реверсивными топками.**

**а. Зависимость коэффициента внутренней рециркуляции от ширины щелевого зазора (аналитический расчёт);**

**б. Термодинамические изменения отношения температуры подачи/обратки:  
1 – без излучателя, 2 – с излучателем.**

его от температурных напряжений в процессе работы. Аналитические расчёты показывают, что введение в корень факела газов рециркуляции обеспечивает повышение температуры в топке, изменение кинетики сжигания топлива и изменение термодинамических характеристик котла (рис. 2).

При этом до 80% дымовых газов, в зависимости от ширины раскрытия щелевого зазора на фронте котла  $L$  проходят повторный дожег (рис. 2, расчётные данные).

Проведенные исследования вторичных излучателей в котлах с вентиляторными горелками показывают, что КПД котла повышается приблизительно на 1...3% за счёт интенсификации радиационного теплообмена, увеличивающего теплосъём топки. Таким образом, снижается нагрузка на конвективную часть котла, что позволяет продлить сроки службы и уменьшить износ оборудования минимум на 4...6 лет.

Кроме того, отмечается изменение термодинамических характеристик котла, позволяющее при одинаковых расходах топлива сократить время набора температуры котловой воды примерно на 15...20%, что в эксплуатационных условиях даёт экономию приблизительно 3,5% природного газа за счёт сокращения времени набора темпе-

ратуры при выходе горелки на номинальную мощность.

Стабилизация процесса горения позволяет обеспечить бесперебойную безопасную работу оборудования, его плавный пуск, а повторный дожег дымовых газов и поддержание оптимального режима горения сокращают выбросы СО в пять раз и оксидов азота в два раза.

Подбор промежуточных излучателей производится исходя из типа и мощности котла, объёма и конфигурации топочной камеры, особенностей горелочного устройства и вида топлива. На сегодняшний день уже прошли промышленные испытания и рекомендованы для внедрения вторичные излучатели для жаротрубных котлов с вентиляторными горелками.

В лабораторных условиях нами была произведена экспериментальная проверка показателей работы котла “Виктор-100”, серийно выпускаемого “Броварским заводом коммунального оборудования”, мощностью 100 кВт, на дизельном топливе. Определено, что после установки вторичного излучателя в топке котла происходит увеличение температуры, в среднем на 400 °С, при этом температура уходящих дымовых газов снижается на 50 °С. В начальный период времени температура уходящих из котла дымовых га-

зов значительно ниже, при этом температура в топке выше, чем без излучателя, что объясняется тем, что в первый период времени теплота тратится на разогрев вторичного излучателя. Надо отметить, что изучение процессов, протекающих в топочных камерах котлов, работающих под наддувом, затруднительно, ввиду повышенных требований к их герметичности. Иллюстрацию протекающих в топке котла процессов можно получить, применяя методы компьютерного моделирования, с использованием пакетов прикладных CFD-программ. Проведенное нами CFD-моделирование подтвердило правильность выбранного метода. Таким образом, появляется новая возможность определения характеристик работы котлов для подбора вторичных излучателей и других способов их модернизации. Данные CFD-расчёта полностью согласуются с данными лабораторных исследований и подтверждаются аналитическими расчётами [2].

Значительное сокращение расхода топлива можно получить за счёт качественного его сжигания и сокращения нерациональных потерь теплоты. Качественное автоматическое регулирование процессов генерации и распределения теплоты также обеспечивает существенную экономию топливно-энергетических ресурсов. Значительной экономии тепловой энергии и улучшения эксплуатационных характеристик оборудования можно добиться путем модернизации гидравлической схемы [3].

Гидравлическая схема существенно влияет на процесс генерации и распределения теплоты и срок службы котельного оборудования. Поэтому при её рассмотрении необходимо учитывать следующие параметры: почасовую динамику изменения температур, расходы по отдельным контурам и относительный коэффициент отношения объёма котловой воды к общему объёму воды в системе отопления  $f_o$ . Важным параметром также является температура обратной воды. Для исключения образования конденсата в котле и дымовых газах, температура обратной воды должна всегда поддерживаться выше точки росы, т.е. в среднем от +50 °С до +70 °С. Исключением являются котлы конденсационного типа, в которых при низких температурах обратной воды проис-

ходит интенсификация процесса конденсации и, как следствие, повышение КПД.

При этом, если  $f_o \leq 10\%$  необходимо проводить дополнительные мероприятия по обеспечению поддержания заданной температуры обратной воды. Такими мероприятиями являются организация подмеса, разделение контуров теплообменными аппаратами, установка смесительных клапанов и гидравлического разделителя. Кроме того, важным фактором снижения расходов топлива и электрической энергии является правильное определение расхода теплоносителя через котёл и определение оптимального протока. Обычно его легко установить, воспользовавшись формулами:

Номинальный проток:  $w_n = 0,86N/15$ ,

Минимальный проток:  $w_{\min} = 0,86N/45$ , (2)

Максимальный проток:  $w_{\max} = 0,86N/5$ .

Химический состав и качество воды в системе оказывают непосредственное влияние на срок службы котельного оборудования, работу системы отопления в целом. Отложения, возникающие из-за содержащихся в воде солей  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  – наиболее распространенная проблема, с которой мы сталкиваемся в быту и в промышленности. Образование отложений приводит к значительным потерям энергии. Эти потери могут достигать 60 %. Рост отложений существенно снижает теплоотдачу, они могут полностью блокировать часть системы, привести к ее закупориванию и ускорить коррозию.

Наличие в воде кислорода, хлора, двухвалентного железа и солей жёсткости увеличивает количество аварийных ситуаций, приводит к увеличению расхода топлива и снижает срок службы оборудования. Отложения карбонатной жёсткости формируются при невысоких температурах и легко удаляются. Отложения, образованные растворёнными в воде минералами, например сульфатом кальция, откладываются на поверхностях теплообмена при высоких температурах. Для обеспечения надлежащей работы системы необходимо применять умягчители воды.

В так называемых “мёртвых зонах” системы могут образовываться стационарные пузыри сложного химического состава, в которых, кроме кислорода и азота, могут присутствовать метан и

водород. Они вызывают точечную коррозию металла и образование илистых отложений, негативно сказывающихся на работе системы. В связи с этим необходимо использовать автоматические воздухоотводчики, которые устанавливаются в верхних точках системы и зонах слабой циркуляции теплоносителя.

При использовании для подпитки городской водопроводной воды необходимо следить за концентрацией хлоридов. Она не должна превышать 200 мг/л. Повышенное содержание хлоридов приводит к тому, что вода становится более коррозионно-агрессивной. Этому способствует и неправильная работа фильтров умягчения воды. В последние годы качество водопроводной и сетевой воды в целом улучшилось благодаря применению специальной арматуры, сильфонных компенсаторов и переходу от гравитационных систем центрального отопления к системам центрального отопления замкнутого типа.

Проблемы отложений решаются с использованием как физических, так и химических методов. Сегодня химикаты широко используются в борьбе с отложениями. Однако высокие затраты и сложность технологического процесса, а также возрастающие требования к защите окружающей среды, не оставляет никакого выбора, кроме как поиска физических методов. [4]. В последнее десятилетие ведётся активный поиск новых способов физической обработки воды, онованных на современных нанотехнологиях. Примером могут служить приборы немецкой фирмы "MERUS®", которые изготавливаются с использованием специального производственного процесса прессовки различных материалов, таких как алюминий, железо, хром, цинк, кремний.

Данная технология позволяет получать уникальный сплав, который при последующей технологической обработке преобразует так называемый электрический смог в направленные в сторону протока воды электромагнитные сигналы. Благодаря новому принципу воздействия основанному на активации воды, приборы "MERUS®" эффективно используются даже в тех случаях, когда известные методы обработки воды неэффективны. Например, на конденсатопроводах и прямооточных технологических пароперегревателях, работающих на водопроводной

воде без возврата конденсата. Эффективность такой обработки достигает 80%, позволяет обрабатывать воду без химических компонентов, сократить расход соли при натрий-катионировании.

### Выводы

1. Определение эффективности работы котельного оборудования должно начинаться с проведения энергоаудита.
2. Повышения эффективности работы и сроков службы котельного оборудования можно достичь путём установки промежуточных излучателей, которые обеспечат улучшение аэродинамических и кинетических процессов протекающих в топке.
3. Значительной экономии тепловой энергии и улучшения эксплуатационных характеристик оборудования можно добиться произведя модернизацию гидравлической схемы.
4. В процессе эксплуатации котельного оборудования необходимо уделить внимание качественной водоподготовке и деаэрации теплоносителя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Демченко В.Г., Долинский А.А., Сигал А.И. Организация внутренней рециркуляции дымовых газов в реверсивных водоохлаждаемых топках с целью модернизации отопительных котлов. NATO workshop conference "Advanced combustion and aerothermal technologies", Kiev, 2006.
2. Басок Б.И., Демченко В.Г., Мартыненко М.П. Численное моделирование процессов аэродинамики в топке водогрейного котла с вторичным излучателем // Промышленная теплотехника. — №1. — 2006. — С. 17–22.
3. Рабочие характеристики, указания по подключению и гидравлические схемы котлов средней и большой мощности. — De Dietrich, 1998. — 36с.
4. Демченко В.Г. Методы активации водных растворов с помощью слабых электромагнитных импульсов для борьбы с отложениями накипи и ржавчины. Материалы XV конференции "Экологічна та техногенна безпека", г. Бердянск, 11–15.06.2007.

Получено 28.09.2007 г.