

УДК: 681.523

Г.И. Канюк, А.Ю. Мезеря, Е.В. Лаптинова

МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КОТЛЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Аннотация: В статье проведен анализ энергетических потерь в котле и выявлены основные параметры, влияющие на экономичность работы котла. Показана модель минимизации энергетических потерь в котле с возможными внедрением её в АСУ ТП тепловых электростанций

Ключевые слова: паровой котел, энергетические потери, энергосбережение, автоматизированная система управления.

Введение

Несмотря на внедрение существующих мероприятий по экономии энергии при её потреблении, на сегодняшний день не до конца раскрыт потенциал энергосбережения на самих генерирующих предприятиях, к которым, в первую очередь, относятся тепловые электрические станции.

Основным тепловым оборудованием ТЭС является паровой котел (ПК). Технологические параметры работы ПК оказывают значительное влияние на удельный расход топлива и себестоимость вырабатываемой тепловой и электрической энергии, определяя тем самым экономичность работы станции в целом.

Удорожание органического топлива и физический износ котельного оборудования приводят к необходимости выявления возможных резервов энергосбережения, их научного обоснования и интеграции энергосберегающих алгоритмов управления котлоагрегатами в существующие АСУ ТП.

Автоматизированное регулирование прямоточных и барабанных паровых котлов является сложной научно-технической задачей. Указанное определяется необходимостью строгого соответствия между подачей питательной воды и топлива, в связи с тем, что нарушение этого соответствия значительно влияет на промежуточные и конечные значения давления и температуры пара, а также на большинство технологических параметров котла и его энергоэффективность [1].

Целью энергосберегающего управления паровым котлом в основных стационарных режимах его работы является обеспечение заданных значений параметров пара на выходе из котла при минимальных суммарных потерях энергии [2].

Результаты исследования

Потери в котле определяются соотношением [2]:

$$\Delta E = (\Delta E_m + \Delta E_c + \Delta E_{ад}) + E_{yz} + E_{ш.л.}, \quad (1)$$

где индексы: 'г' – тепловые потери; 'г' – гидравлические; 'ад' – аэродинамические; 'уг' – тепло, уходящее с газами; 'шл' – тепло, уходящее со шлаком.

С математической точки зрения энергосберегающее управление означает минимизацию функции общих энергетических потерь (1) [3]:

$$\Delta E_{\min} = \min \{(\Delta E_m + \Delta E_z + \Delta E_{ад}) + E_{yz} + E_{шл}\} \quad (2)$$

при заданных значениях компонентов вектора выходных параметров (параметра пара на выходе из котла):

$$\vec{X}_{вых}^{зад} = \vec{X}_n^{зад} \left\{ \vec{G}_n^{зад}; \vec{P}_n^{зад}; \vec{T}_n^{зад}; \vec{E}_n^{зад} \right\} \quad (3)$$

и ограничениях на максимальные для заданного режима работы расходы топлива и питательной воды:

$$G_m \leq G_m^{\max}; \quad (4)$$

$$G_{num.в} \leq G_{num.в}^{\max}, \quad (5)$$

а также на предельные (по условиям прочности, надежности и безопасности) значения температуры в топке:

$$T_{мон} \leq T_{мон}^{\max}, \quad (6)$$

давление питательной воды:

$$P_{num.в} \leq P_{num.в}^{\max}, \quad (7)$$

и ограниченное возможностями системы регенерации значение температуры питательной воды на входе в ПК:

$$T_{num.в} \leq T_{num.в}^{\max}. \quad (8)$$

Наряду с минимизацией прямых энергетических потерь в ПК (2) должны одновременно ставиться и решаться еще две смежные задачи:

1. Обеспечение максимального тепловыделения в топке при сжатии топлива (оптимизация процесса горения):

$$Q_{мон} = \{Q_{мон}\}_{\max} \quad (9)$$

при ограничениях по расходу топлива (4) и температуры в топке (6).

2. Обеспечение максимальной теплопередачи от топочных газов к пароводяной смеси (оптимизация эффективности использования выделяемой в топке теплоты), сводящееся к обеспечению максимального значения интегрального (по объему ша-

хты) коэффициента теплоотдачи от топочных газов к пароводяной смеси:

$$K_{mn}^{\Sigma} = \left\{ K_{mn}^{\Sigma} \right\}_{\max}, \quad (10)$$

или, в выражении интегрального количества передаваемой в котле теплоты:

$$Q_{mn}^{\Sigma} = K_{mn}^{\Sigma} \cdot \Delta T_{men}^{cp} \cdot S_{mn} = \left\{ Q_{mn}^{\Sigma} \right\}_{\max}, \quad (11)$$

где ΔT_{men}^{cp} – осредненный по поверхностям нагрева температурный напор между топочными газами и пароводяной смесью; S_{mn} – суммарное значение площади теплопередачи поверхностей котла.

Если разность между номинальным потенциальным тепловыделением, обусловленным номинальной теплотворной способностью топлива:

$$Q_{mon}^{ном} = r_{mon}^{ном} \cdot G_m, Bm \quad (12)$$

где $r_{mon}^{ном}$ – удельная номинальная теплотворная способность топлива, и фактическим тепловыделением при сжигании топлива в топке на заданном режиме Q_{mon}^{ϕ} считать потерями тепловой энергии, обусловленными неэффективностью процесса сжигания:

$$\Delta Q_{сжиг} = \Delta E_{сжиг} = Q_{mon}^{ном} - Q_{mon}^{\phi}, \quad (13)$$

а разность между максимальной (теоретической) и фактической теплопередачей в ПК:

$$Q_{mn}^{\Sigma} = \Delta E_{mn} \left(\left\{ K_{mn}^{\Sigma} \right\}_{\max} - K_{mn\phi}^{\Sigma} \right) \Delta T_{mn}^{cp} \cdot S_{mn} \quad (14)$$

считать потерями энергии, обусловленными неэффективностью процесса теплопередачи, то суммарные (интегральные) потери энергии в ПК определяться суммой потерь (13) и (14) и прямых потерь (1):

$$\Delta E^{\Sigma} = \left(\Delta Q_{сжиг} + \Delta Q_{mn}^{\Sigma} \right) + \left(\Delta E_m + \Delta E_e + \Delta E_{ад} \right) + \left(E_{yг} + E_{ш.л} \right). \quad (15)$$

Соответственно минимизация функции интегральных энергетических потерь (15):

$$\Delta E_{\min}^{\Sigma} = \min \left\{ \left(\Delta Q_{сжиг} + \Delta Q_{mn}^{\Sigma} \right) + \left(\Delta E_m + \Delta E_e + \Delta E_{ад} \right) + \left(E_{yг} + E_{ш.л} \right) \right\} \quad (16)$$

в реальном масштабе времени работы ПК, при сформулированной системе ограничений (4)–(9) и будет предоставлять формализованную математическую задачу автоматизированного энергосберегающего управления режимами работы котла.

При этом оптимизация процесса сжигания топлива (в частности, уменьшение потерь с механическим и химическим недожогом) автоматически приведет к уменьшению количества шлака,

а значит, и к минимизации потерь $E_{ш.л}$ (температура удаляемого шлака может регулироваться временными характеристиками процесса шлакоудаления), а интенсификация процесса теплопередачи приведет к автоматической минимизации потерь энергии с уходящими газами E_{yg} .

Минимизация оставшихся в функции (16) энергетических потерь может представлять собой совокупность отдельных автономных задач оптимизации:

$$\begin{cases} \Delta Q_{сжиг} = \{Q_{сжиг}\}_{\min}; \\ \Delta Q_{mn}^{\Sigma} = \{Q_{mn}^{\Sigma}\}_{\min}; \\ \Delta E_m = \{\Delta E_m\}_{\min}; \\ \Delta E_z = \{\Delta E_z\}_{\min}; \\ \Delta E_{ад} = \{\Delta E_{ад}\}_{\min}. \end{cases} \quad (17)$$

с возможным введением в процесс решения корреляционных соотношений, учитывающих наиболее существенные взаимосвязи между отдельными энергетическими потерями и интеграции подсистемы энергосберегающего управления в общую АСУ ТП энергоблоков тепловых электростанций.

Выводы

1. Проведен анализ энергетических потерь в котле и выявлены основные параметры, влияющие на экономичность работы котла.

2. Показана модель минимизации энергетических потерь в котле с возможными внедрением её в АСУ ТП тепловых электростанций.

Список использованных источников

1. Дуэль М.А., Шелепов И.Г. Автоматизация теплоэнергетических установок тепловых и атомных электростанций. – Харьков, 2007. – 312 с.
2. Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Михайский Д.В., Лаптинов И.П., Фокина А.Р. Резервы энергосберегающего управления технологическими процессами на действующих ТЭС и АЭС. – Харьков: Изд-во “Точка”, 2012. – 184 с. Русс. яз.
3. Канюк Г.И., Артюх С.Ф., Мезеря А.Ю., Лаптинова Е.В., Мельников В.Е. Научные принципы энергосбережения в тепловой и атомной энергетике. – Харьков: Изд-во “Точка”, 2013. – 140 с. Русс. яз.

Отримано 21.10.2015 р.