

Ю. Н. Зацаринная, М. М. Андреева

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ НА ТЭС

Ключевые слова: подготовка топлива к сжиганию, эксергия, пылеприготовление, твердое топливо, индивидуальные системы.

В статье проведен тепловой, аэродинамический и термодинамический расчет системы подготовки угля на ТЭС выявлены возможности совершенствования технологической схемы путем использования отработанного конденсата и сушильного агента, что позволило повысить термодинамический КПД системы.

Keywords: preparation of fuel for combustion, exergy, pulverizing, solid fuel, the individual systems.

In the article the thermal, aerodynamic and thermodynamic calculation of the system to the power station coal preparation identified opportunities to improve the technological scheme by using the exhaust condensation and drying agent, thus improving the thermodynamic efficiency of the system.

В настоящее время существует тенденция увеличения доли угля при выработке тепловой и электрической энергии, что связано с широким распространением и относительной дешевизной этого вида топлива. В США на угле вырабатывается 56% электроэнергии, в странах Западной Европы – от 58 в Германии, до 93 % в Дании [1]. В России этот показатель гораздо ниже и составляет около 20 %.

Наиболее распространенным видом твердого топлива являются каменные и бурые угли, качество которых определяется зольностью A_p , влажностью W_p и теплотворной способностью Q_{np} . Эти показатели в зависимости от месторождения могут колебаться в широких пределах.

Процесс подготовки угля, сжигаемого в пылевидном состоянии, является сложным и энергоемким. В зависимости от качества топлива затраты на его осуществление могут составлять от 14,45 до 55,57 кВт/т.у.т. [2]. Существует два основных типа систем подготовки угля: индивидуальные системы, которые обеспечивают угольной пылью один котел, и центральные – все пылеугольные котлы электростанции.

Типовая индивидуальная система пылеприготовления, как правило, оборудована промежуточным бункером угольной пыли, наличие которого позволяет изменять степень использования сушильного агента в системе.

В качестве конкретного примера рассматривается технологическая схема топливоприготовления Казанской ТЭЦ-2 – 2. Анализ работы данной системы проводился в работах [3, 4].

Для выявления последовательности дальнейших расчетов проводится математическое моделирование схемы. Оно определяет порядок расчета схемы, при этом предварительно условно разбивается требуемое количество потоков, а затем проводится итерационное согласование входных и выходных параметров. Количество разрываемых потоков определяется в ходе проведения моделирования.

Математическое моделирование системы подготовки топлива подразумевает построение

информационной блок-схемы (ИБС) индивидуальной системы с промежуточным бункером, работающей под разрежением и сушкой воздухом, представленным на рис. 1.

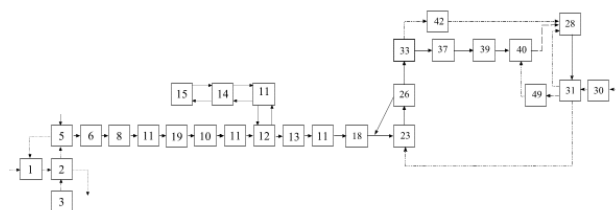


Рис. 1 – Информационная блок-схема индивидуальной системы подготовки угля с промежуточным бункером и сушкой воздухом, работающая под разрежением: 1 – дутьевой вентилятор; 2 – калорифер; 3 – общестанционный паровой коллектор; 4 – конденсатоотводчик; 5 – тепляк; 6 – вагоноопрокидыватель; 7 – приемные бункера; 8 – ленточные питатели; 9 – дробилки предварительного дробления; 10 – ленточные питатели; 11 – ленточные конвейеры; 12 – дробилки мелкого дробления; 13 – ленточные питатели; 14 – кран-перегрузчик; 15 – кольцевой склад; 16 – бункер сырого угля, 17 – отключающий шибер, 18 – питатель угля, 19 – клапан-мигалка, 20, 21, 22 – коробка горячего воздуха, присадки воздуха и холодного воздуха, 23 – мельница, 24 – точка возврата пыли, 25 – сепаратор, 26 – взрывной клапан, 27 – пылепровод, 28 – горелка, 29 – котел, 30, 42 – дутьевой и мельничный вентилятор, 31 – воздухоподогреватель, 32 – воздуховод вторичного воздуха, 33 – циклон, 34 – трубы влагоотсоса, 35 – перекидной шибер, 36 – реверсивный шнек, 37 – бункер пыли, 38 – линия рециркуляции, 39 – питатель пыли, 40 – смеситель пыли, 41 – распределитель первичного воздуха; 49 – вентилятор горячего дутья

ИБС представляет собой ориентированный граф, в котором вершинами являются элементы

теплотехнологической схемы, а ребрами графа – технологические и энергетические потоки. При составлении ИБС в качестве допущений принято, что параллельно работающие, имеющие одинаковую конструкцию и назначение элементы технологической схемы, обозначаются как один элемент. Затем ИБС представляется в цифровой форме. Для этого исходные данные представляются в виде сокращенного списка смежности и идентифицируются имеющиеся контуры.

Далее формируется матрица циклов, по которой определяется количество разрываемых потоков. После этого определяется порядок расчета технологической схемы

При проведении математического моделирования схемы топливоприготовления с использованием прикладной программы были получены следующие результаты.

Определена необходимая для полной идентификации контуров степень перемножения сокращенной матрицы смежности $P=10$.

Определено количество контуров в ИБС индивидуальной системы с промежуточным бункером с низкой концентрацией пыли - девять. В результате расчета была определена одна система контуров. Схема системы топливоприготовления является замкнутой, и для минимизации расчетов этой схемы разрывается поток общий для нескольких контуров. Для определения минимального числа разрываемых потоков составлена матрица циклов, основными показателями которой являются ранг контура и частота потока.

Определен один условно разрываемый поток, позволяющий полностью выполнить расчет ИБС - поток горячих продуктов сгорания следующий из топки к воздухоподогревателю.

Остальные элементы и контуры технологической схемы топливоприготовления рассчитываются без разрыва каких-либо потоков.

На основании проведенного математического моделирования системы подготовки топлива Казанской ТЭЦ-2 последовательность расчета выглядит следующим образом:

Элемент 1 (дутьевой вентилятор); элемент 2 (калорифер); элемент 3 (тепляр); элемент 4 (вагоноопрокидыватель); элемент 5 (ленточный питатель); элемент 6 (ленточный конвейер); элемент 7 (дробилки предварительного дробления); элемент 8 (ленточный питатель); элемент 9 (ленточный конвейер); элемент 10 (дробилки мелкого дробления); элемент 11 (ленточный конвейер); элемент 12 (кран перегружатель); элемент 14 (ленточный питатель); элемент 15 (ленточный конвейер) – рассчитываются последовательно без разрыва каких-либо потоков. В результате рассчитаны элементы 1 – 16.

По значениям условно-входных параметров разорванного потока 24-25, рассчитываются элемент 25 (воздухоподогреватель); элемент 16 (питатель сырого топлива); элемент 17 (мельница); элемент 18 (сепаратор); элемент 19 (циклон); элемент 20 (мельничный вентилятор); элемент 21 (бункер

пыли); элемент 22 (питатель пыли); элемент 23 (смеситель пыли); элемент 24 (горелка котла).

Проводится итерационное согласование условно входных и условно выходных параметров потока 24-25. В результате рассчитаны элементы 16 – 25.

Данная схема может иметь и другие модификации: иногда мельничный вентилятор одновременно и транспортирует пыль от бункера к горелкам котла.

Тепловой расчет системы подготовки твердого топлива позволяет определить расходы теплоносителей для размораживания и сушки топлива.

Общий тепловой КПД системы определяется исходя из того, что конечной целью всего процесса подготовки топлива является сушка и измельчение угля до пылевидного состояния. Полезной составляющей теплового баланса является также теплота, приносимая в топку горячим воздухом, транспортирующим пыль от смесителя к горелкам котла. Отработанный сушильный агент, хотя и направляется в сбросные горелки котла, но в данном случае не рассматривается в качестве полезного, так как содержит влагу топлива и имеет температуру не более 100°C . Для всей системы подготовки топлива тепловой КПД выражается следующей формулой:

$$\eta_t = (Q_t + Q_{\text{в.см}}) / Q_{\text{общ}} \quad (1)$$

По результатам расчета тепловой КПД системы составляет 50,8 %.

В ходе теплового расчета оцениваются затраты тепловой энергии только на одну составляющую процесса подготовки топлива – сушку, а затраты энергии на размол угля до пылевидного состояния и подачу угольной пыли к горелкам котла практически не учитываются. Этот недостаток может быть устранен при проведении термодинамического анализа системы подготовки топлива путем определения эксергии потоков входящих в систему и выходящих из нее.

Необходимым этапом расчета систем подготовки топлива является проведение аэродинамического расчета пылеприготовительного тракта с целью определения величины избыточного давления или разрежения на каждом участке.

Расход сушильного агента принимается по данным теплового расчета системы, подсчитываются скорости воздуха и пылевоздушной смеси, концентрации пыли и плотность газов на отдельных участках тракта в соответствии с Нормами [8]. Особенностью данной системы является то, что часть тракта находится под давлением, создаваемым дутьевым вентилятором, а участок от мельницы до мельничного вентилятора – под разрежением. Общее сопротивление пылеприготовительного тракта от воздухоподогревателя до горелок котла составляет 4549 Па. Аэродинамическое сопротивление газозовоздуховодов для подачи первичного воздуха в горелки котла составляет 3655 Па, а пылевоздушного тракта для подачи горячего воздуха при помощи вентилятора горячего дутья в

смеситель и далее пылевоздушной смеси в горелки котла – 650 Па.

Сопротивление пылепроводов определялось для отдельных участков между элементами оборудования, где концентрация пыли остается неизменной – на участках «мельница-сепаратор», «сепаратор-циклон», «циклон-горелка» по формуле 2:

$$\Delta H_{\text{тр.пл}} = \lambda_{\text{пл}} l \cdot w^2 \rho / 2gd, \quad (2)$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр трубопровода, м; w – скорость потока, м/с; ρ – плотность потока, кг/м³; $\lambda_{\text{пл}}$ – коэффициент трения для трубопроводов при наличии пыли в транспортирующем агенте, l – длина участка, м.

Местные сопротивления и сопротивление отдельных элементов пылевоздушного тракта и элементов оборудования определялись по формуле 3

$$\Delta H_{\text{м.с.}} = \zeta_{\text{пл}} w^2 \rho / 2g \quad (3)$$

где $\zeta_{\text{пл}}$ – коэффициент местного сопротивления при движении запыленного потока.

Системы подготовки топлива, в которых отработанный сушильный агент не выбрасывается в атмосферу, а направляется в котел как составная часть воздуха необходимого для горения, называются замкнутыми. Несмотря на преимущества таких систем, основным из которых является использование теплоты сушильного агента, они не решают одну из основных задач – удаление влаги топлива из процесса горения.

Проведенные расчеты показали, что при определении потерь тепла с уходящими газами и КПД котла по приведенным характеристикам топлива [7], увеличение потерь тепла с уходящими газами происходит на величину, определяемую по формуле 4:

$$\Delta q_2 \approx 1,82 \cdot \Delta W^n \quad (4)$$

где ΔW^n – приведенный влаговсъем, %.

Исходя из того, что стандартная влажность на рабочую массу кузнечного тощего угля составляет 6,5%, низшая теплота сгорания 6250 ккал/кг, влажность готовой пыли 1,5%, а в настоящее время уголь поступает на станцию с ухудшенными характеристиками – $W_p = 14,3$ %, $Q_{\text{нр}} = 4595 - 4919$ ккал/кг, при попадании влаги топлива в котел КПД котла уменьшится примерно на 2%.

При размыкании системы, т.е. при выведении отработанного влажного сушильного агента из системы экономия топлива в парогенераторе для котла БКЗ-210-140 с расходом топлива 24 т/ч в соответствии с [7] составляет 168 кг/ч.

Можно сделать выводы, что Эксергия отработанного сушильного агента составляет 30% от величины всей подводимой к системе эксергии, поэтому выбрасывать этот поток в окружающую среду нецелесообразно. Температура его составляет приблизительно 100°C и избыточное давление 10680 Па, поэтому существует возможность использования его для предварительного подогрева топлива в устройстве нисходящей сушилки.

При повышении температуры сырого угля до 30°C, расход сушильного агента, определяемый в соответствии с [8], снижается на 3,5%. Это приводит к повышению термодинамического КПД пылесистемы на 2%.

Литература

1. Агафонов Г.Ф., Соколов А.Д. Долгосрочные тенденции развития угольной промышленности мира и России // Известия РАН. Энергетика, 2004. №1. С. 26-33.
2. Росляков П.В., Изюмов М.А. Экологически чистые технологии использования угля на ТЭС. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 125 с.
3. Мингалеева Г. Р., Зацаринная Ю.Н., Вачагина Е.К. Анализ работы системы топливоподачи и пылеприготовления тепловой электростанции, работающей на твердом топливе // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, 2005. №1-2. С.14-20
4. Мингалеева Г. Р., Зацаринная Ю.Н., Цышевский Р. В. Эффективность подготовки твердого топлива на тепловых электростанциях и пути ее повышения // Материалы докладов V Международного симпозиума «Ресурсоэффективность. Энергосбережение». Казань, 1 – 3 декабря 2004г.
5. Назмеев Ю.Г., Конахина И.А. Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 364 с.
6. Назмеев Ю.Г., Конахина И.А. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 407 с.
7. Пеккер Я.Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. М.: Энергия. 1977. 256 с.
8. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (нормативные материалы). Л.: ЦКТИ. 1971. 309 с.
9. Зацаринная Ю. Н., Рахматуллин Р.Р., Хабибуллин М. Н. Снижение себестоимости электроэнергии на тепловых электрических станциях/ Ю. Н. Зацаринная, Р. Р. Рахматуллин, М. Н. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. - №8 – С. 106-109.
10. Зацаринная Ю. Н., Рахматуллин Р. Р., Ризванова Г. И. Информационная транспортная шина предприятий (ESB) в распределенных энергетических компаниях / Ю. Н. Зацаринная, Р. Р. Рахматуллин, Г. И. Ризванова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. - №5 – С. 278-280.

© Ю. Н. Зацаринная – канд. тех. наук, доцент кафедры электрических станций КГЭУ, zac_jul@mail.ru; М. М. Андреева – канд. тех. наук, доцент кафедры автоматических систем сбора и обработки информации КНИТУ.

© J. N. Zatsarinnaya – Candidate, Associate Professor, Department of Electrical stations KSPEU, zac_jul@mail.ru; M. M. Andreeva – candidate, Associate Professor, Department of automatic systems for the collection and processing of KNRTU.