

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 $Q_{нр}$. 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 разрывается 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-перегрузжатель; 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 (тепляк); 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: . (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 газопроводов 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: (2) где $d_{\text{э}}$ - 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 (3) где $z_{пл}$ - 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: (4) где w - приведенный влагосъем, %. Исходя из того, что стандартная влажность на рабочую массу кузнецкого 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 - $W_p = 14,3 \%$, $Q_{нр} = 4595 - 4919$ 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 сушки. 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%.