В.И.Александров

УДК 621.867.7

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕЗИЙ ДЛЯ СЖИГАНИЯ В ТОПКАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ И КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Водоугольные суспензии (ВУС), представляющие собой гидросмесь измельченного угля с водой, можно отнести к технологическим видам энергетического топлива. При обеспечении необходимых требований на стадии приготовления ВУС они могут служить хорошей альтернативой традиционным видам жидкого и газообразного энергетического топлива – нефти, мазуту, газу при сжигании в топках паровых котлов и камерах сгорания газотурбинных установок. Для решения проблемы перехода энергетических установок на водоугольные суспензии необходимо рассмотреть ряд важных задач, связанных с разработкой технологии приготовления ВУС из углей различной категорийности; с разработкой технологии гидравлического транспортирования ВУС на значительные расстояния; с разработкой устройств для впрыскивания приготовленных ВУС в зону горения, обеспечивающих горение струи суспензии коротким пламенем. Рассмотрена общая задача использования ВУС в качестве энергетического топлива и указаны общие направления исследований в этой области.

Coal-water slurries (CWS), which are hydromixtures of ground coal and water, can be regarded as a technological type of power-plant fuels. Provided that necessary requirements are met during CWS preparation, CWS can make a valuable alternative to traditional types of liquid and gaseous power-plant fuels, such as natural gas, mineral and boiler oil, for burning in boiler furnaces and combustion chambers of gas-turbine units. To secure power plant conversion using CWS we have to consider a number of tasks concerned with requirements engineering for CWS preparation from coals of different categories, hydraulic long-distance transportation of CWS and design of CWS injection devices to ensure combustion of suspension jet in a short flame. A general problem of CWS usage as a power-plan fuel has been considered and general trends of investigation in this field have been shown.

* * *

Зарубежный опыт показывает, что водоугольные суспензии могут успешно заменять нефть и нефтепродукты как топливо для энергетических установок. Стандартные водоугольные суспензии состоят из 70 % измельченного угля, 29 % воды, 1 % специальных пластифицирующих химических добавок, которые позволяют сохранить устойчивость пульпы в период гидравлического транспортирования и хранить в резервуарах как нефть.

Согласно данным научно-исследовательских работ по сжиганию ВУС, выполненных в ряде институтов Франции, США, Великобритании и других стран, водоугольные суспензии хорошо горят в котлах, работающих на нефти и мазутах, а также в угольных колах, которые были переоборудованы для работы на жидком топливе. Расчеты показывают, что при современной стоимости нефти и нефтепродуктов использование водоугольных суспензий для энергетических целей будет обходиться значительно дешевле.

Актуальность исследований основана на важности проблемы энергетических ресурсов страны и определяется следующим:

- водоугольные суспензии по своим энергетическим показателям при обеспечении совершенства технологии их приготовления на первой стадии производства не уступают традиционным видам энергетического топлива, таким как нефть или газ, так как относятся к углеводородной группе энергетического сырья;

• основная часть угольных месторождений расположена на больших расстояниях от промышленно развитых регионов, что создает значительную нагрузку на транспортные коммуникации и в особенности на железнодорожный транспорт. Альтернативой железнодорожному транспорту является трубопроводный, который по своим экономическим и экологическим параметрам является более предпочтительным, чем другие виды транспорта;

• существующий магистральный трубопровод Белово-Новосибирск, построенный в конце 80-х годов, не функционирует из-за недостаточности технологической проработки основных операций на первой стадии приготовления ВУС.

Целью исследований является разработка оптимальных по рабочей массе и гранулометрическому составу ВУС с максимальной теплотой сгорания в топках котлоагрегатов и камерах сгорания газотурбинных установок (ГТУ).

Водоугольные суспензии (ВУС) относятся к технологическим видам жидкого энергетического топлива, теплотехнические характеристики которых зависят от горючей массы исходных углей, включающей углерод, водород, серу органическую и колчеданную, кислород и азот. Главными составляющими являются углерод с удельной теплотой сгорания 33,65 МДж/кг и водород с удельной теплотой сгорания 142 МДж/кг (10,8 МДж/м^3). В бурых и каменных углях содержится от 65 до 80 % углерода и с увеличением углефикации, определяемой геологическим возрастом, содержание углерода возрастает. Кислород негорючая масса ВУС, находится в химическом соединении с углеродом и водородом, присутствие его уменьшает горючую массу топлива. Сера, входящая в состав ВУС в виде органических и сульфатных соединений, имеет удельную теплоту сгорания 9,05 МДж/кг. Общее содержание серы в бурых углях составляет 7-8 %. Азот не участвует в горении и вместе с кислородом составляет инертную часть ВУС, внутренний балласт топлива.

Кроме перечисленных элементов, в составе сухой рабочей массы ВУС необходимо учитывать золу, образующуюся после полного сгорания топлива в результате разложения и окисления минеральных примесей. Содержание золы в бурых и каменных углях составляет от 5 до 25 % от рабочей массы ВУС. Приведенная зольность значительной части бурых углей 1,89-2,4 на 1 кг/МДж. Механические свойства золы (абразивность, температурные характеристики плавкости) определяют характеристики материала форсунок, используемых для распыления при впрыскивании ВУС в топки котлоагрегатов и камеры сгорания ГТУ

На стадии приготовления ВУС из угольного сырья определяющее значение имеет гранулометрический состав твердой фазы суспензии, формирующийся в процессе дробления, измельчения, классификации и сгущения. Оптимальность гранулометрического состава обеспечит полное сгорание суспензии с максимальной теплоотдачей и при минимальном выходе золы.

Задачами исследования являются:

• определение зависимости полноты сгорания топлива от гранулометрического состава твердой фазы;

• определение оптимального гранулометрического состава ВУС, обеспечивающего максимальную теплоту сгорания;

• разработка конструкции и материала форсунок для подачи ВУС в камеры сгорания;

• выбор оборудования для технологии приготовления ВУС с оптимальными энергетическими характеристиками.

Порядок выполнения исследований:

• Теоретические и экспериментальные исследования с разработкой технологического оборудования для приготовления ВУС и форсунок для их сжигания.

• Согласование результатов в специализированной организации Санкт-Петербургском котлотурбинном институте и проведение промышленного эксперимента в условиях действующей ТЭС. Патентование полученных рецептур ВУС и других результатов.

• Разработка предложений по строительству магистрального трубопровода ВУС от угольных шахт ОАО «Воркутауголь» до

приемных терминалов Череповецкого металлургического комбината.

Путем измельчения и классификации исходного угольного сырья из углей различной категорийности получаются необходимые гранулометрические составы угольных фракций. На основе химического анализа определяется состав твердой фазы по основным элементам: углерод, водород, кислород, азот и сера (колчеданная, органическая, сульфатная). Рассчитывается рабочая, сухая и горючая массы топлива. Выделяются составы с оптимальными значениями высшей и низшей теплотворной способности, которые подвергаются испытаниям путем сжигания с фиксированием выделенной теплоты и пересчетом ее на удельную теплоту сгорания. Масса и объем отходов сгорания (золы) пересчитываются на приведенную зольность. По результатам экспериментов выбираются составы с максимальными теплотворными характеристиками и с минимальными зольными остатками.

Полученные гранулометрические составы исходного угольного сырья проверяются на седиментационную устойчивость путем измерений гидравлической крупности твердых частиц для различных объемных содержаний их в угольной гидросмеси (вода + угольные частицы). Определяются максимально допустимые концентрации ВУС и вискозиметрические характеристики: кинематический и динамический коэффициенты вязкости, начальное напряжение сдвига, строятся графические зависимости напряжения сдвига от градиента скорости. Подбирается соответствующая реологическая модель деформации ВУС для расчета удельных энергетических затрат при использовании трубопроводного транспортирования.

Рассчитываются основные конструктивные параметры форсунок для впрыскивания и распыления ВУС в котлоагрегаты и камеры сгорания. Определяется зависимость длины факела от угла конусности форсунки, диаметра выпускного отверстия и чистоты рабочей поверхности, а также от гранулометрического состава угольных частиц и их концентрации в объеме ВУС. Проводятся экспериментальные исследования форсунок и ВУС в лабораторных и промышленных условиях. Используются методы планирования экстремальных экспериментов с обработкой результатов методами математической статистики и наименьших общих квадратов. По результатам экспериментов определяются наиболее работоспособные и эффективные конструкции форсунок и их материалов.

Основными показателями разработанных ВУС являются их энергетические характеристики, которые не должны быть меньше исходного угля. К таким характеристикам относятся:

- удельная теплота сгорания;
- приведенная зольность;
- седиментационная устойчивость ВУС;
- абразивность и другие механические характеристики;
- удельные приведенные капитальные и эксплуатационные затраты.

Результаты исследований:

- получены оптимальные по удельной теплоте сгорания и гранулометрическому составу рецептуры ВУС из углей различной категорийности;
- обоснован технологический ряд оборудования и соответствующий технологический регламент для получения оптимальных рецептур ВУС;
- определены основные гидродинамические характеристики ВУС для магистрального транспорта и рекомендации по выбору необходимого насосного оборудования и трубопроводов;
- предложены конструкции и материалы форсунок для сжигания ВУС в топках паровых котлов и камерах сгорания ГТУ;
- составлено технико-экономическое обоснование магистрального трубопровода ВУС от шахт Воркутинского угольного бассейна до терминалов Череповецкого металлургического комбината протяженностью 900 км.