

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

М. П. Баранова, В. А. Кулагин

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Монография

Красноярск
СФУ
2011

УДК 621.1.016:543.5
ББК 31.252
Б24

Рецензенты:

С. И. Юран, доктор технических наук главный научный сотрудник
Ижевского государственного технического университета;

В. С. Калекин, доктор технических наук, профессор заведующий
кафедрой «Машины и аппараты химических производств» Омского го-
сударственного технического университета

Баранова, М. П.

Б24 Физико-химические основы получения топливных водоугольных
суспензий : монография / М. П. Баранова, В. А. Кулагин. – Красноярск :
Сибирский федеральный университет, 2011. – 160 с.
ISBN 978-5-7638-2116-1

В книге описаны физико-химические закономерности технологического
процесса получения водоугольных суспензий из углей разной степени мета-
морфизма. Рассмотрены экспериментальные основы процессов получения
бинарных систем на базе бурого угля. Приведены технологические схемы по-
лучения топливных суспензий.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, экс-
пертов инвестиционных компаний, преподавателей, аспирантов и студентов
технических вузов энергетического профиля.

УДК 621.1.016:543.5
ББК 31.252

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
университета*

ISBN 978-5-7638-2116-1

© Сибирский федеральный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения потребности экономики России в тепловой и электрической энергии в стране создана мощная система централизованного тепло- и энергоснабжения потребителей, ориентированная в основном на использование традиционного органического топлива (уголь, нефтепродукты и природный газ). В последние десятилетия в топливно-энергетическом балансе страны подавляющая доля (более 70 %) принадлежала природному газу и мазуту. В настоящее время в связи со значительной выработкой основных месторождений и истощением запасов нефти и газа, а также все увеличивающейся продажей их за рубеж возрастает роль твердого топлива в топливно-энергетическом балансе страны.

Уголь в перспективе будет занимать ведущее положение в мире как источник электрической и тепловой энергии, поскольку его ресурсы на Земле многократно превышают суммарные запасы нефти и газа.

В то же время экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической и экологической точек зрения технологий, которые обеспечат существенный экономический эффект с максимально высокой полнотой использования добытого топлива.

Вокруг многих угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов, перевод которых в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионах, но и получить существенный экономический эффект.

В связи с этим становится актуальным использование угля и угольных шламов для создания водоугольных суспензий (ВУС), разработка эффективных процессов получения и применения которых должна базироваться на научно обоснованных процессах физического и физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом свойств его органической и минеральной составляющих. Развитие энергетики, а также повышение энергетической безопасности России в значительной степени зависят от широкого и эффективного использования угля в качестве энергетического топлива. Для этого необходимо в первую очередь улучшить потребительские свойства угля как энергетического топлива, а также освоить получение на основе угля альтернативного топлива при замене дефицитных природных ресурсов: газообразного и жидкого нефтяного топлива. Для решения вышеуказанной проблемы весьма перспективны проводимые как в России, так и за рубежом работы по технологии получения и использования угольной суспензии, которая представляет собой композиционную дисперсную систему, состоящую из твердой фазы в виде мелкодисперсного угля и жидкой среды (вода, спирты, углеводороды, про-

дукты переработки нефти). Такая топливная система рассматривается как суспензионное угольное топливо (СУТ). Наиболее изученной и перспективной в энергетике угольной суспензией является водоугольная суспензия (ВУС), в которой основную часть жидкой среды составляет вода. При высокой концентрации твердой фазы ВУС называется высококонцентрированной водоугольной суспензией (ВВУС) или водоугольным топливом (ВУТ).

Дисперсные системы – это микрогетерогенные системы, состоящие из двух или более фаз. При этом одна из фаз образует непрерывную дисперсионную среду, в объеме которой распределены частицы дисперсной фазы. Обычно интервал размеров частиц дисперсных фаз может изменяться от нескольких нанометров до ~100 мкм. В ряду объектов физической химии дисперсные системы занимают чрезвычайно важное место в связи с их широчайшим распространением и разнообразным применением, исключительной ролью в природных явлениях и процессах, в повседневной техногенной деятельности человека, а также в связи с весьма специфическими физико-химическими свойствами. К числу дисперсных систем относятся столь резко различающиеся по химическому и фазовому составам, физическим свойствам, областям существования и применения такие объекты, как аэрозоли, золи металлов и природных минералов, сырая нефть и природные битумы, водоугольные суспензии и золы от сжигания твердых топлив, сырьевые шламы многих химических производств. К дисперсным системам относятся также все многообразные виды пен и эмульсий. Что же объединяет все это разнообразие резко различающихся между собой по свойствам, области существования и применения дисперсных систем и материалов, какова общая физико-химическая основа для их изучения, описания и регулирования свойств? В известной степени ответы на эти вопросы содержатся в самом определении понятия «дисперсные системы».

Общие для всех дисперсных систем фундаментальные физико-химические признаки – гетерогенность, то есть наличие поверхности раздела между фазами, и дисперсность (раздробленность). Роль этих факторов в проявлении разнообразных свойств дисперсных систем и прежде всего их агрегативной и седиментационной устойчивости становится более существенной по мере увеличения дисперсности и соответствующего уменьшения размера частиц и их концентрации в жидкой и газовой дисперсионных средах. Соответственно увеличивается и свободная (избыточная) межфазная энергия, а эта энергия, как следует из принципа Гиббса–Гельмгольца, в дисперсных системах стремится самопроизвольно уменьшиться. Процесс уменьшения межфазной энергии реализуется в результате коагуляции – укрупнения, слипания частиц, сопровождающегося снижением свободной поверхностной энергии dF за счет уменьшения удельной поверхности дисперсных фаз при возникновении контактов между частицами в соответствии с соотношением

$$dF = s dS = dU - T dS^*,$$

где s – поверхностное натяжение; S – удельная поверхность системы; dU – изменение полной поверхностной энергии системы; T – абсолютная температура; S^* – энтропия системы.

Преимущества водоугольной суспензии по сравнению с твердым угольным топливом состоят в следующем:

- в предотвращении взрывов и обеспечении пожаробезопасности во всех технологических операциях (приготовление, хранение, транспортирование и использование);
- снижении вредных выбросов оксидов азота, углерода и серы в атмосферу при сжигании;
- отсутствии пыли и других загрязнений при хранении и транспортировании.

Кроме того, водоугольные суспензии обеспечивают:

- сохранность технологических свойств при хранении и транспортировании;
- возможность полной механизации и автоматизации процессов приготовления, транспортирования и использования;
- возможность транспортирования их трубопроводным, речным, морским, автомобильным или железнодорожным транспортом.

Основными проблемами на пути к расширенному применению водоугольных топлив являются: низкие показатели стабильности основных технологических характеристик, высокая зольность исходных угольных шламов, низкая эффективность известных реагентов – пластификаторов и стабилизаторов, а также отсутствие научно обоснованных методических рекомендаций и процессов физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом его свойств. ВУТ относится к классу искусственных композиционных систем, свойства и характеристики которых зависят как от технологий получения системы, так и от технологий использования этой системы конкретным потребителем на энергетическом объекте. Основными варьируемыми параметрами ВУТ являются:

- состав и концентрация твердой фазы ВУТ;
- дисперсность твердой фазы, ее гранулометрический состав;
- состав и содержание жидкой среды;
- концентрация и тип добавок в жидкой среде ВУТ;
- степень обогащения твердой фазы (содержание минеральных примесей).

Эти параметры определяют реологические свойства и стабильность ВУТ как жидкого топлива при транспортировке, хранении и распылении в камере сгорания. Они же определяют условия сжигания или газификации ВУТ, энергетические и экологические показатели использования ВУТ в энергетике. Для получения ВУТ с оптимальными характеристиками необходимо технико-экономическое исследование с учетом энергетических и экологических факторов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Свойства углей.....	6
1.1. Стадии углефикации	6
1.2. Физические свойства углей естественного сложения и влажности	9
1.3. Теплофизические свойства углей.....	10
1.4. Влияние свойств угля на характеристики получаемых из него водоугольных суспензий	12
1.5. Основные технологические схемы и способы приготовления водоугольных суспензий	15
2. Механохимическая деструкция углей	20
2.1. Классификация дисперсных систем.....	23
2.2. Кинетика измельчения.....	24
2.3. Определение гранулометрического состава	28
2.4. Получение водоугольных суспензий в барабанных мельничных конструкциях.....	29
2.5. Вибрационные мельницы	30
2.6. Мельничные конструкции высокой энергонасыщенности.....	31
2.7. Влияние гранулометрического распределения частиц угля на характеристики водоугольных суспензий.....	36
3. Структурообразование в дисперсных системах.....	41
3.1. Методы оценки и требования к характеристикам водоугольных суспензий	42
3.2. Реологические модели водоугольных суспензий	43
3.3. Методы измерения реологических параметров	46
3.3.1. Принцип работы вискозиметра	46
3.3.2. Определение начального напряжения сдвига.....	47
3.3.3. Построение реологической модели	48
4. Процесс модификации водоугольных суспензий пластифицирующими добавками	51
4.1. Виды пластификаторов.....	52
4.2. Функции пластификаторов	53
4.3. Механизм влияния щелочи	59
4.4. Опыт практического применения пластификаторов.....	61
5. Статическая и динамическая стабильность водоугольных суспензий	70
5.1. Процессы гомогенизации и структурообразования водоугольных суспензий	70
5.2. Стабильность и ее функции	72

6. Влияние температуры на реологические характеристики водоугольных суспензий	77
6.1. Изменение физических свойств углей при десорбции влаги в процессе термического воздействия	77
6.2. Влияние процессов нагрева и замораживания на реологические характеристики водоугольных суспензий	81
7. Физико-химические основы горения водоугольных суспензий....	86
7.1. Особенности сжигания водоугольных суспензий	89
7.1.1. Камерное сжигание	92
7.1.2. Слойный способ сжигания	97
7.1.3. Сжигание водоугольных суспензий в кипящем слое	101
7.1.4. Вихревой способ сжигания	102
7.1.5. Газомазутные топki	104
7.1.6. Использование плазмотрона	111
7.2. Особенности процесса воспламенения и горения водоугольных суспензий	112
7.2.1. Капельное горение	113
7.2.2. Факельное горение	115
7.2.3. Циклонные топki	117
7.3. Сжигание бурогоугольных и композиционных водоугольных суспензий	120
7.4. Золообразование при сжигании водоугольных суспензий	123
8. Анализ и расчет режимов работы трубопровода по транспорту угля в виде водоугольных суспензий	128
8.1. Инженерные методы расчета гидротранспорта	130
8.2. Расчет для материалов тонких классов	131
8.3. Расчет для кусковых материалов	135
8.4. Расчет для рядовых и мелких классов угля	136
8.5. Гидротранспорт кускового угля в вязкопластичном угольном шламе	138
8.6. Модель обобщенной неньютоновской жидкости	140
9. Экологические аспекты использования водоугольных суспензий....	143
Заключение	147