

**Влияние концентрации угля в водоугольной суспензии
на процессы их взаимодействия капель с твердыми частицами**

А. Клименко, А.Г. Исламова, Н.Е. Шлегель

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Н.Е. Шлегель

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ayk40@tpu.ru

**The influence of coal concentration in a coal-water suspension
on the processes of their interaction between droplets and solid particles**

A. Klimenko, A.G. Islamova, N.E. Schlegel

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. N.E. Schlegel

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ayk40@tpu.ru

Abstract. During the combustion of coal dust, ash and solid particles of unburned fuel are formed. As a rule, such particles are carried away by the flow of exhaust flue gases and settle on heating surfaces. This phenomenon leads to an increase in the resistance of gas ducts, thereby worsening heat transfer and leading to local overheating of the walls of the boiler unit. One way to solve this problem, as well as increase the efficiency of fuel combustion, is the combined combustion of coal and coal-water suspension. This study is aimed at studying the processes of interaction of droplets of coal-water suspensions with solid coal particles. Analysis of experimental studies showed that a decrease in the mass concentration of coal in the suspension leads to an increase in the number of secondary fragments. This effect is explained by a change in the physical properties of the liquid, namely a decrease in viscosity and surface tension.

Key words: coal-water suspension; particulate matter; coal; collisions of drops and particles.

Введение

Водоугольная суспензия представляет смесь угольной пыли и воды, которую можно непосредственно сжигать в котельных агрегатах или использовать в качестве сырья для газификации угля [1]. Водоугольная суспензия обычно состоит из 29–34 % воды, 65–70 % частиц угля и примерно 1 % добавок. Преимуществами использования такого топлива являются высокая эффективность его сжигания по сравнению с углем, низкий уровень загрязнения и возможность транспортировки по трубопроводам [2]. В процессе горения угольной пыли образуется зола, твердые частицы несгоревшего топлива уносятся потоком уходящих дымовых газов [3]. Как правило, такие частицы оседают на поверхностях нагрева, что приводит к снижению теплопередачи и локальному перегреву стенок оборудования. В связи с этим увеличивается сопротивление газопроводов, тем самым снижается ресурс оборудования котельной установки [4]. Одним из способов увеличения эффективности сжигания топлива, а также и улавливания твердых несгоревших частиц является комбинированное сжигание угольной пыли и водоугольной суспензии. При совместном сжигании таких составов капли жидкого топлива улавливают угольные частицы, что позволяет снизить недожог топлива [5].

Комбинированные системы зачастую применяются с последовательным вторичным распылением капель путем воздействия на них газовой струи, ударов о твердую стенку, столкновений с соседними каплями, а также микровзрывного разрушения [6]. В таких системах важно обеспечить устойчивое дробление капель на каждом этапе столкновения.

Целью настоящего исследования являлось определение основных характеристик взаимодействия капель водоугольных суспензий с твердыми частицами угля

Экспериментальная часть

Методика проведения экспериментальных исследований подробно рассмотрена в работе [7]. В качестве коллоидных частиц дисперсной фазы и твердых частиц (с которыми происходило столкновение капель суспензии) использовался каменный уголь марки Т (тощий). Выбор данного угля в качестве твердой фазы обусловлен тем, что уголь марки Т является важным сырьем для химической, топливной промышленности, а также имеет широкое применение в энергетике. Массовые концентрации угля (С) в суспензиях составляли 1 %, 5 %, 10 %, 25 % и 50 %. Физические свойства суспензий при варьировании концентрации твердых частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства исследуемых суспензий при варьировании концентрации твердых частиц при 20 °С

№	Концентрация угля, %	ρ , кг/м ³	σ , Н/м	μ , Па·с
1	1	1012	0,0740	0,0015
2	5	1029	0,0915	0,0016
3	10	1046	0,1091	0,0017
4	25	1120	0,2129	0,0020
5	50	1242	0,3861	0,0024

Результаты

На рисунке 1 представлена карта режимов соударения капель суспензии с частицами угля при варьировании массовых концентраций угля в составе от 1 % до 50 %. Карта режимов учитывает инерционные и поверхностные силы (число Вебера), а также центричность удара. (линейный параметр взаимодействия).

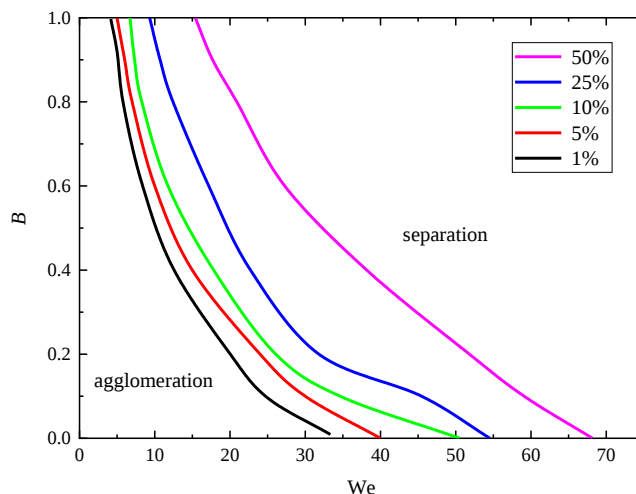


Рис. 1. Карта режимов соударения капель суспензий с частицами угля при варьировании массовой концентрации угля в составе от 1 % до 50 % в координатах $B = f(We)$

Определено, что с уменьшением массовой концентрации угля в составе суспензии граница раздела между режимами агломерация и разрушение смещалась в сторону меньших значений чисел Вебера (We). Вследствие снижения значений физических свойств жидкостей при уменьшении массовой концентрации угольных частиц в составе суспензий с 50 % до 1 % уменьшаются и силы вязкостного трения. В связи с чем меньший объем падающей капли концентрировался на нижней границе частицы. Капли суспензий с меньшей массовой

концентрацией угольных частиц в своем составе при столкновении с твердой частицей не только образовывали большее количество вторичных фрагментов, но и создавали больший угол их разлета. Также при увеличении концентрации суспензии наблюдалось образование более крупных по размеру вторичных капель. Чем выше вязкость жидкости, тем более крупные фрагменты образовывались при вторичном распаде капель. Фрагменты быстро принимали сферическую форму. Вязкостные силы преобладали над силами инерции в капле, минимизируя изменение формы вторичных фрагментов. Как режим агломерации, так и режим разрушения важны для применения, например, в топливо - распылительных системах. При устойчивой реализации режима агломерации можно обеспечить смешение компонентов непосредственно в камере сжигания. Например, вода распыляется из одного форсуночного устройства, а масло с углем из другого, в результате чего при соударении этих потоков происходит приготовление суспензии в зоне прогрева капель [8].

Заключение

В результате проведенных исследований по взаимодействию капель суспензий с частицами установлено, что при уменьшении вязкости композиции происходит увеличение количества образовавшихся вторичных фрагментов. Вследствие чего увеличивается вероятность возникновения режима дробления при соударении капли и частицы. Это в свою очередь позволит увеличить эффективность работы оборудования при сжигании суспензионных топлив. А именно снизить средней размер капель в факеле распыла, что позволит уменьшить антропогенные выбросы, времена задержки зажигания, а также и недожог топлива.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-71-10040, <https://rscf.ru/project/23-71-10040/>.

Список литературы

1. Zhou L., Wang C., Li H., Shi W., Cheng X., Tian Y., Zhu J., Ma Q., Zhang K. Design and evaluation of a novel dispersant with “surface-to-surface” adsorption function for preparing low-rank coal water slurry // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2023. – Vol. 677. – 132357.
2. Nyashina G.S., Kuznetsov G. V., Strizhak P.A. Energy efficiency and environmental aspects of the combustion of coal-water slurries with and without petrochemicals // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 172. – P. 1730–1738.
3. Chen P., Jiang B., Gong C., Gu M., Luo K., Fan J., Wang Y. Influences of ammonia co-firing on the NO generation characteristics of pulverized coal during different combustion stages // *Fuel processing technology*. – 2023. – Vol. 252. – 107953.
4. Gong B., Tian C., Zhao Y., Yang Y., Wu J., Li W., Wang X., Chen X., Zhang J. Occurrence and transformation behaviour of silicon-bearing minerals during high silicon coal combustion from Yunnan Province, China // *Fuel*. – 2024. – Vol. 358. – 130116.
5. Nyashina G.S., Shlegel' N.E., Lyrshchikov S.Y. Emission control in the combustion of coal–water and organic coal–water fuels // *Solid Fuel Chemistry*. – 2017. – Vol. 51.
6. Rioboo R., Marengo M., Tropea C. Time evolution of liquid drop impact onto solid, dry surfaces // *Experiments in Fluids*. – 2002. – Vol. 33. – P. 112–124.
7. Klimenko A., Shlegel' N.E., Strizhak P.A. Breakup of colliding droplets and particles produced by heavy fuel oil pyrolysis // *Energy*. – 2023. – Vol. 283. – 128480.
8. Arya S., Novak T., Numerical Investigation of the Effect of a Novel Wet Scrubber on Dust Reduction in an Underground Coal Mine // *Mining, Metallurgy and Exploration*. – 2020. – Vol. 37. – P. 129–139.