

Столкновения капель жидкостей с компонентами водомасляных суспензий

С.А. Шуляев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., А.Г. Исламова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: sas77@tpu.ru

Collisions of droplets with components of water-oil suspensions

S.A. Shulyaev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD., A.G. Islamova
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: sas77@tpu.ru

Abstract. *High concentrations of major anthropogenic gas emissions, such as sulfur, nitrogen and carbon oxides, are a key factor in air pollution in regions with intensive coal burning. Therefore, today the tasks of optimizing coal burning with minimal negative impact on the environment are relevant. The study presented the findings of experimental research on the behavior of droplets colliding with the surfaces of particles and substrates made of promising components of oil-water suspensions. The coal particles used had varying degrees of metamorphism and different levels of surface wettability. The properties of the resulting child droplets were calculated and maps were created to illustrate the various modes of interaction between droplets and particles. The obtained equations allow for predicting slight shifts in the boundary positions for different components of fuel mixtures. An increase in the values of the contact angle, lower values of the Weber number are required to implement the fracture mode. Additionally, differences in the characteristics of secondary crushing of droplets during the interaction with particles were identified.*

Key words: *collisions of droplets and particles; modes of interaction; oil; water; coal.*

Введение

Взаимодействие твердых частиц и капель жидкости широко распространено во многих отраслях промышленности, таких как производство электроники методом струйной печати [1], стабилизация эмульсий в пищевой [2], косметической [3] и нефтяной промышленности [3]. Такие взаимодействия критически влияют на динамику протекания технических процессов [4]. Столкновениям частиц и капель уделяется значительное внимание в области охраны окружающей среды [5]. Например, для повышения эффективности улавливания мелких частиц (<1 мкм), раствор для агломерации можно распылять в дымовые газы, таким образом контактируя с частицами летучей золы [6, 7].

Большинство исследований в данной области сфокусированы на соударении капель с плоскими твердыми поверхностями. В настоящее время выявлены основные факторы и параметры, влияющие на режимы столкновения капель жидкости с твердыми поверхностями, такие как скорость движения капли, угол столкновения и свойства поверхности [8]. Свойства жидкости, такие как вязкость, плотность и поверхностное натяжение, также играют значительную роль в процессе взаимодействия капли с частицей. Однако известно ограниченное количество исследований, посвященных столкновению капель с твердыми частицами [8, 9]. Достоверное прогностическое моделирование процессов в технологических блоках, узлах и агрегатах требует более полной информации. Математические модели, основанные на этих данных, должны учитывать некоторые особенности. Например, при столкновении капель с искривленными поверхностями, общая динамика процесса сильно зависит от кривизны поверхности мишени (частицы). Чтобы подтвердить возможность значительного вторичного измельчения капель суспензионных топлив при столкновениях,

были созданы карты режимов и рассчитаны характеристики (количество, размеры, скорости движения, энергии, импульсы и т. д.) вторичных фрагментов [4]. Однако карты режимов соударений и их последствия при использовании соразмерных капель и частиц топлива пока не были изучены. Поэтому важно исследовать столкновения капель и частиц этих компонентов. Цель настоящей работы – построение карт режимов столкновений капель и твердых частиц при варьировании условий их взаимодействия.

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования по изучению взаимодействия капель различных жидкостей (воды и масла) с угольными частицами проведены на основе методики, представленной в работе [8]. В качестве твердых частиц использовался уголь различных марок – фильтр-кек коксующегося угля (марка «К»), коксующийся уголь (марка «К»), бурый уголь и антрацит. При проведении экспериментов размер капель и частиц варьировался в диапазоне от 0,1 до 3,0 мм, результирующая скорость их взаимодействия составляла 0,5–2,8 м/с. Рассматривались случаи столкновения капель с сухими частицами, а также с заранее смоченными, воспроизводящими условия попадания второй и последующих капель на угольные фрагменты. При построении режимных карт использовался безразмерный линейный параметр взаимодействия (B), который позволял учитывать центричность удара, и число Вебера (We).

Результаты

На рисунке 1 представлены карты соударений капель воды и отработанного моторного масла с различными угольными частицами.

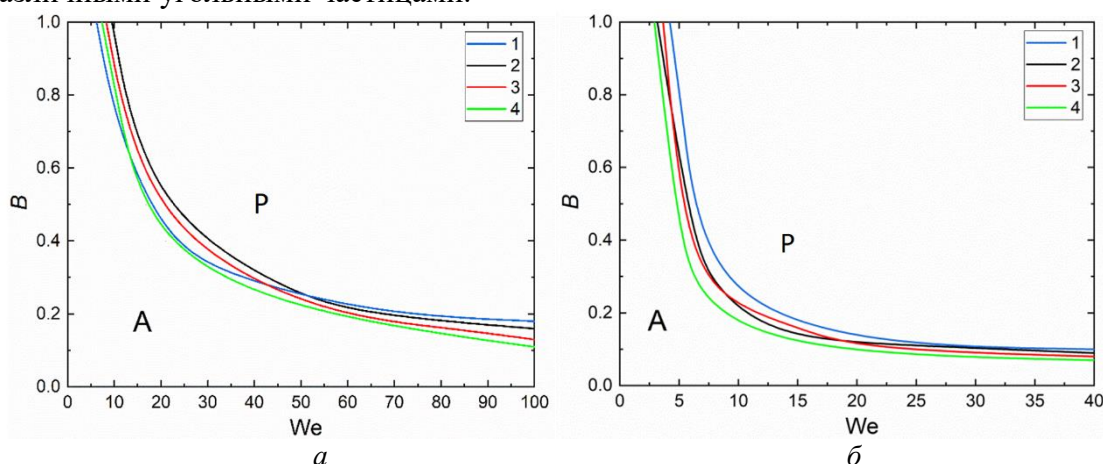


Рис. 1. Карты режимов взаимодействия капель дистиллированной воды (а) и моторного масла (б) с углеродистыми частицами различных марок углей при $R_d = R_p = 1,1-1,2$ мм: 1 – фильтр-кек коксующегося угля; 2 – бурый уголь; 3 – коксующийся уголь; 4 – антрацит. А – агломерация; Р – разрушение

При анализе экспериментальных результатов обнаружено, что марка угля оказывает слабое влияние на реализацию того или иного режима взаимодействия. При соударении капли жидкости с фрагментом фильтр-кека коксующегося угля происходит налипание угольной пыли на поверхность капли. Для дистиллированной воды и отработанного моторного масла в области $B > 0.5$ зарегистрирован режим агломерации с частицами фильтр-кека коксующегося угля только при низких значениях числа Вебера ($We < 4$). Этот эффект вызван угольной пылью, которая образуется при флотации угля в процессе его обогащения. При увеличении числа Вебера до 60–80 силы инерции преобладали над силами поверхностного натяжения, что приводило к разрушению капли. Снижение поверхностного натяжения у масла привело к смещению границы раздела между режимами разрушения и агломерации в сторону меньших значений числа Вебера по сравнению с каплями воды. Тем не менее, при разрушении капли, из-за большей вязкости масла, наблюдалось меньшее количество вторичных фрагментов.

Заключение

По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, что для достижения устойчивой агломерации капли воды и угольной частицы требуется небольшая относительная скорость взаимодействия. Выделены основные режимы взаимодействия, построены режимные карты в координатах $B(We)$. Результаты исследований представляют интерес для развития технологий вторичного измельчения капель жидкостей и агломерации частиц и капель. В частности, с их использованием можно решить известные проблемы налипания композиционных топлив на стенках проходных каналов форсунок и проблему разделения компонентов органоводоугольных топлив после первичного измельчения распылительными системами. Построенные карты режимов взаимодействия сухих и смоченных частиц с каплями жидкостей позволяют прогнозировать условия устойчивого формирования двух- и трехкомпонентных капель топлив.

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

Список литературы

1. Tekin E., Smith P.J., Schubert U.S. Inkjet printing as a deposition and patterning tool for polymers and inorganic particles // *Soft Matter*. – 2008. – Vol. 4. – P. 703–13.
2. Dickinson E. Food emulsions and foams: Stabilization by particles // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2010. – Vol.15. – P. 40–9.
3. Hunter T.N, Pugh R.J., Franks G.V., Jameson G.J. The role of particles in stabilising foams and emulsions // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2008. – Vol. 137. – P. 57–81.
4. Yang B., Chen S. Simulation of interaction between a freely moving solid particle and a freely moving liquid droplet by lattice Boltzmann method // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2018. – Vol. 127. – P. 474–84.
5. Zhan L., Chen H., Zhou H., Chen J., Wu H., Yang L. Droplet-particle collision dynamics: A molecular dynamics simulation // *Powder Technology*. – 2023. – Vol. 422. – P. 118456.
6. Cheng T., Gao Y., Chen L., Zhang Y., Zeng Q., Dong K., et al. Promoting the removal of fine particles by surfactants in a novel cyclone with heterogeneous-condensation agglomeration: A combined experimental and molecular dynamics study // *Fuel*. – 2022. – Vol. 322. – P. 125217.
7. Sun Z., Yang L., Shen A., Zhou L., Wu H. Combined effect of chemical and turbulent agglomeration on improving the removal of fine particles by different coupling mode // *Powder Technology*. – 2019. – Vol. 344. – P. 242–50.
8. Islamova A.G., Kerimbekova S.A., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Droplet-droplet, droplet-particle, and droplet-substrate collision behavior // *Powder Technology*. – 2022. – Vol. 403. – P. 117371.
9. Mitra S., Evans G.M., Doroodchi E., Pareek V., Joshi J.B. Interactions in droplet and particle system of near unity size ratio // *Chemical Engineering Science*. – 2017. – Vol. 170. – P. 154–75.