

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ И АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ КАПЕЛЬ ВОДОМАЗУТНЫХ ТОПЛИВ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРИСАДОК

А. Клименко, Н.Е. Шлегель, П.А. Стрижак

Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5БМ33

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

Мазут является одним из основных видов топлива для морских и энергетических установок вследствие его низкой стоимости и высокой теплотворной способности [1, 2]. Как правило, мазут получают при сероочистке нефти на нефтеперерабатывающих заводах. Основной проблемой сжигания мазутного топлива является образование различных загрязняющих веществ [2–4]: остаточных зол, ценосфер, сажи и серной кислоты. Мазутное топливо (НФО) характеризуется высоким содержанием серы (до 4,5 %). Кроме того, НФО содержит различные концентрации микроэлементов тяжелых металлов, таких как ванадий, никель, свинец, медь и др., которые создают дополнительные проблемы, включая высокотемпературную коррозию и загрязнения [2–4]. Для снижения вредных выбросов и улучшения характеристик горения топлива используются дополнительные специализированные присадки [6]. Добавление присадок к топливу обладает рядом преимуществ, таких как повышение эксплуатационных характеристик котла, снижение расхода топлива [7, 8]. Производство эффективных присадок включает смешивание, перемешивание ингредиентов в течение 5–10 мин и фильтрацию. Как правило, в присадку добавляют катализаторы горения, износостойкие, дымоудаляющие и энергосберегающие компоненты, а также регуляторы октанового числа [16, 17].

Цель настоящего исследования – определение критических условий и характеристик вторичного измельчения капель мазута и водо-мазутной композиции при соударении их с твердой стенкой.

Экспериментальные исследования проводились на аналогичном стенде и методики используемой в ранней работе [11]. Присадки для водомазутного топлива используются в котельных агрегатах для улучшения работы горелки, снижения потребления топлива, повышения эффективности горения и сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду. Реологические характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1. Реологические характеристики водомазутных топлив

№	Наименование топливной смеси	Температура состава T_f , °C	Динамическая вязкость μ , мПа·с	Плотность ρ , кг/м ³	Поверхностное натяжение σ , Н/м
1	Мазут	20/80	1795/130	1015/937	0.041/0.035
2	Мазут – 90 % + Вода – 10 %	20/80	1543/116	1021/933	0.044/0.033
3	Мазут – 89.5 % + Вода – 10 % P503B3 – 0.5 %	20/80	1505/111	1020/934	0.042/0.030
4	Мазут – 89.5 % + Вода – 10 % + P502B1 – 0.5 %	20/80	1515/112	1022/934	0.044/0.031
5	Мазут 89.5 % + Вода 10 %+ ИОН М – 0.5 %	20/80	1493/109	1016/933	0.041/0.029

Экспериментальные исследования проводились на аналогичном стенде и методики используемой в ранней работе [11]. На рис. 1 представлены установленные зависимости времени задержки зажигания капель водомазутного топлива с добавлением присадок от температуры газовой среды. Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований позволил установить, что все исследуемые присадки позволяют снизить времена задержки зажигания.

Такой эффект обусловлен тем, что присадки являются катализаторами горения. В свою очередь, катализаторы снижают пороговую энергию активации окисления

топлива, в результате чего происходит более полное выгорание. Результаты экспериментальных исследований показали, что минимальными временами задержки зажигания обладает водомазутное топливо с добавлением присадки на основе особого сочетания положительно и отрицательно заряженных ионов. Такая присадка снижает времена задержки зажигания на 40–50 % во всем температурном диапазоне газовой среды. Добавление присадки на основе жирных кислот растительных масел снижало времена задержки зажигания более чем на 10 % во всем исследуемом температурном диапазоне относительно водомазутного топлива. Использование состава № 4 позволяло снизить времена задержки зажигания на 30–40 %. Анализ экспериментальных исследований позволил установить, что при увеличении температуры газовой среды до 900 °C составы с присадками имеют времена задержки зажигания, ниже в 3 раза по сравнению с топливом без присадок. Такой эффект обуславливается тем, что в присутствии катализаторов горения вода связывается с тяжелыми углеводородами, и тем самым выход летучих веществ происходит быстрее.

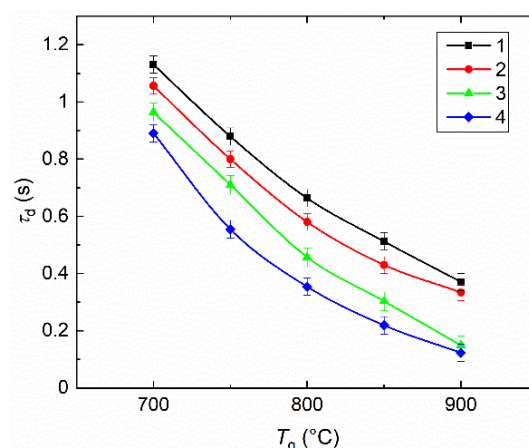


Рис. 1. Зависимости времени задержки зажигания капель исследуемых топлив от температуры газовой среды: 1 – № 2; 2 – № 3; 3 – № 4, 4 – № 5

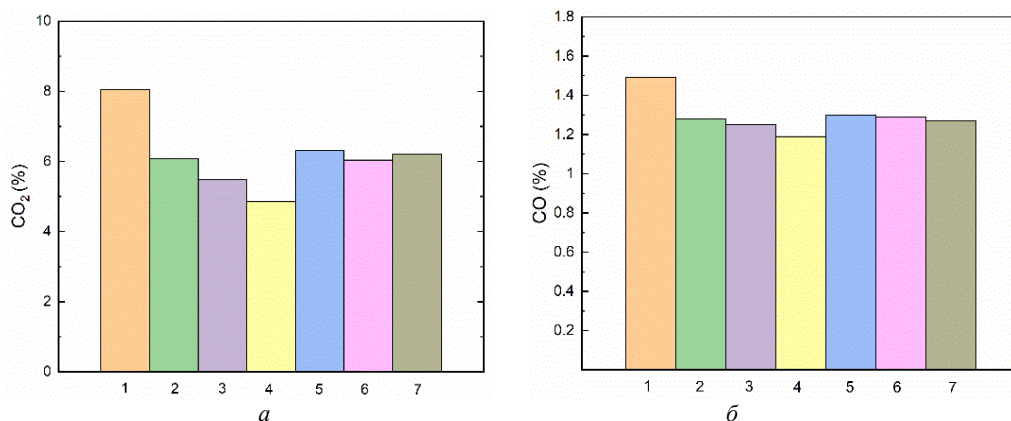


Рис. 2. Концентрации CO₂ (a) и CO (b) при сжигании водомазутного топлива при $T_g = 800$ °C: 1 – № 1; 2 – мазут 90 vol %, вода 10 vol %; 3 – мазут 80 vol %, вода 20 vol %; 4 – мазут 70 vol %, вода 30 vol %; 5 – № 2; 6 – № 3; 7 – № 5

Добавление воды к мазуту и присадок способствует снижению антропогенных выбросов. На рис. 2, а представлены установленные значения концентраций CO₂ при сжигании водомазутного топлива с добавлением присадок при температуре газовой среды около 800 °C. Анализ проведенных исследований показал, что при добавлении воды в мазут снижается содержание оксидов углерода. Результаты экспериментальных исследований показали, что использование составов № 3, 4, 5 увеличивает выбросы CO₂ на 3,97, 0,2 и 2,12 % при $T_g = 800$ °C относительно состава № 2. Такое увеличение антропогенных выбросов является незначительным при сравнении его с мазутным топливом. Использование водомазутного топлива с присадками позволяет снизить выбросы CO₂ на 21,5, 24,98 и 22,86 % для компози-

ций № 3, 4, 5 по сравнению с № 1. На рис. 2, б. представлена зависимость содержания оксида углерода при сжигании исследуемых составов. Анализ экспериментальных данных показал, что при добавлении концентрации воды уменьшается содержание СО. Установлено, что при добавлении присадок увеличивают выбросы СО на 1,21, 1,5 и 0,85 % для составов № 3, 4, 5 при $T_g = 800$ °С относительно № 2. Но при сопоставлении данных с необходимым мазутом определено, что добавление присадок позволяет снизить выбросы СО на 14,36, 14,16 и 17,61 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Darbandi M., Fatin A., Bordbar H. Numerical study on NOx reduction in a large-scale heavy fuel oil-fired boiler using suitable burner adjustments // *Energy*. – 2020. – Vol. 199. – P. 117371.
2. Zhong W. et al. Features and evolution of international fossil fuel trade network based on value of emergy // *Appl. Energy*. – 2016. – Vol. 165. – P. 868–877.
3. Abdul Jameel A.G. et al. Calculation of Average Molecular Parameters, Functional Groups, and a Surrogate Molecule for Heavy Fuel Oils Using ¹H and ¹³C Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy // *Energy & Fuels*. American Chemical Society. – 2016. – Vol. 30, № 5. – P. 3894–3905.
4. Goldstein H.L., Siegmund C.W. Influence of heavy fuel oil composition and boiler combustion conditions on particulate emissions // *Environ. Sci. Technol.* American Chemical Society. – 1976. – Vol. 10, № 12. – P. 1109–1114.
5. Sippula O. et al. Comparison of particle emissions from small heavy fuel oil and wood-fired boilers // *Atmos. Environ.* – 2009. – Vol. 43, № 32. – P. 4855–4864.
6. Huang H. et al. Effects of pine oil additive and pilot injection strategies on energy distribution, combustion and emissions in a diesel engine at low-load condition // *Appl. Energy*. – 2019. – Vol. 250. – P. 185–197.
7. Poullikkas A. Cost-benefit analysis for the use of additives in heavy fuel oil fired boilers // *Energy Convers. Manag.* – 2004. – Vol. 45, № 11. – P. 1725–1734.
8. Saha D., Roy B. Influence of areca nut husk nano-additive on combustion, performance, and emission characteristics of compression ignition engine fuelled with plastic-grocery-bag derived oil-water-diesel emulsion // *Energy*. – 2023. – Vol. 268. – P. 126682.
9. Manufacture of high-efficiency multifunctional fuel oil additive // *Fuel Energy Abstr.* – 2002. – Vol. 43, № 1. – P. 24.
10. 99/01042 Fuel oil additives: Tsuru, S. Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 10 158,665 [98 158,665] (Cl. C10L1/24), 16 Jun 1998, Appl. 96/331,461, 26 Nov 1996, 4 pp. (In Japanese) // *Fuel Energy Abstr.* – 1999. – Vol. 40, № 2. – P. 109.
11. Klimenko A., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Breakup of colliding droplets and particles produced by heavy fuel oil pyrolysis // *Energy*. – 2023. – Vol. 283. – P. 128480.

НОВЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ СМАЧИВАЕМОСТИ

А.В. Дорожкин, С.П. Бондарчук, Г.Е. Котельников

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5БМ24*

Научный руководитель: Е.Г. Орлова, к. ф.-м. н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова

Исследование процессов взаимодействия жидкости с твердыми поверхностями актуально в связи с тем, что в последнее время появляются новые методы модификации твердых поверхностей, в результате чего значительно меняются их приповерхностные свойства, в том числе и смачивание. Наиболее популярным и многообещающим является направление создания поверхностей с супергидрофобными свойствами. В энергетике такие поверхности имеют достаточно высокую потребность, а вызвано это с уникальными свойствами таких поверхностей: устойчивость к абразивному износу, обледенению, коррозии, скольжению жидкости у гидрофобного слоя [1]. Известные на сегодняшний день методы получения супер-