

than in smooth tubes, where flow remains more laminar. Figures 3 illustrate enthalpy and temperature distributions, respectively, along the tube length. In tubes with twisted tape, the enthalpy fluctuates due to the enhanced turbulence and varied flow patterns introduced by the tape's geometry, resulting in regions of higher and lower heat transfer efficiency. In contrast, enthalpy increases more steadily in smooth tubes, with less boundary layer disruption. The temperature profile in twisted-tape tubes also fluctuates more, reflecting the alternating regions of heat transfer efficiency, whereas smooth tubes display a gradual temperature rise as heat transfer reaches a steady state. Overall, twisted tape significantly improves thermal performance compared to smooth tubes by enhancing turbulence and fluid mixing.

Conclusion

In conclusion, incorporating twisted tape in tubes significantly enhances thermal performance compared to smooth tubes. The twisted tape's design induces secondary flows and turbulence, which disrupt the boundary layer, increase mixing, and lead to higher heat transfer coefficients. This results in fluctuating enthalpy and temperature profiles, indicating regions of enhanced heat transfer. Smooth tubes, by contrast, show a more uniform flow and gradual heat transfer. Overall, twisted tape is an effective technique for optimizing heat transfer efficiency in heat exchangers.

REFERENCES

1. Hou T.K., Kazi S., Mahat A.B., Teng C.B., Al-Shamma'a A., Shaw A. Industrial heat exchanger: Operation and maintenance to minimize fouling and corrosion // Heat Exchangers-Advanced Features and Applications. – 2017. – V. 1(9). – P. 193–207.
2. The theory behind heat transfer Plate heat exchangers. (n.d.). – URL: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/local/united-states/hvac/the-theory-behind-heat-transfer.pdf>
3. Heat Transfer equipment – (Chpt. 22) Heat Exchangers Open-Closed-Heaters. (n.d.). <https://www.ou.edu/class/che-design/Design&Safety-2018/Chapter-22-MoHeat-HEX.pdf>
4. Nelli, G., Klein S. Heat transfer. – Cambridge university press, 2008.
5. Gundra R.L. Heat Transfer Analysis on the Applications to Heat Exchangers. – 2021
6. Li M.J., Tao W.Q. Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry // Applied Energy. – 2017. – V. 187. – P. 203–215.
7. Xu K., Qin K., Wu H., Smith R. (). A new computer-aided optimization-based method for the design of single multi-pass plate heat exchangers // Processes. – 2022. – V. 10(4). – P. 767.
8. Klemeš J J., Wang Q.W., Varbanov P.S., Zeng M., Chin H.H., Lal N.S., ... Walmsley T.G.). Heat transfer enhancement, intensification and optimisation in heat exchanger network retrofit and operation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – V. 120. – P. 109644.
9. Wildi-Tremblay P., Gosselin L. Minimizing shell-and-tube heat exchanger cost with genetic algorithms and considering maintenance // International journal of energy research. – 2007. – V. 31(9). – P. 867–885.

ДРОБЛЕНИЕ КАПЕЛЬ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Р.Р. Замалтдинов

Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ Бутакова, группа АЗ-11

Научный руководитель: Г.В. Кузнецов, д.ф.-м.н., профессор НОЦ И.Н. Бутакова

Возможность внедрения в энергетику водоугольного топлива обоснована многими работами, например [1]. Результаты работы [2] по сжиганию ВУТ позволяют утверждать, что при сжигании такого вида топлива, дымовые газы содержат значительно меньше оксидов серы и азота. В работе [3] показано, что, при сжигании ВУТ, эффективность теплопередачи от продуктов сгорания такого топлива к теплоносителю значительно выше, чем при применении угля.

Несмотря на обозначенные преимущества ВУТ, повсеместного распространения такой вид топлива не получил. Одним из самых существенных факторов является требование к уменьшению размеров капель впрыскиваемого в топку ВУТ, что подтверждается работой [3]. В работе [4] установлены, помимо физики дробления капли ВУТ в газификаторе, размеры вторичных (дочерних) капель составляют порядка 1–3 мм. Времена задержки капель ВУТ подобного размера по данным работы [3] составляют от 1 до 5 с (при температуре топочного пространства $T_g \approx 1273$ К). Соответственно обозначенной проблеме, ищутся способы впрыска водоугольного топлива в топочное пространство, позволяющее формировать поток мелкодисперсных капель. Самые распространенные системы распыления жидких топлив базируются на форсуночных устройствах. Однако надежность таких систем остается на низком уровне из-за значительного эрозионного износа форсунок.

Следует отметить, что характеристики и условия фрагментации капель водоугольного топлива на основе углей с существенно различной степенью метаморфизма (например, бурых, битуминозных и антрацитов) до сих пор не изучены полностью. Заслуживает внимания работа [5], в которой представлены экспериментальные результаты процессов диспергирования капель органо-водно-угольного топлива.

Цель данной работы – установление критических значений числа Вебера в потоке воздуха при движении капель ВУТ в одном направлении с потоком воздуха при варьировании состава топлива.

Экспериментальные исследования проводились на стенде, приведенного в работе [6], схема которого приведен на рис. 1. Основной частью экспериментального стенда было плоское специально спроектированное сопло. Сечение последнего на входном участке составляло 350×40 мм, в выходном участке 40×40 мм. Длина соплового канала: $L=180$ мм. Противоположные стенки сопла были выполнены из прочного стекла, с одной стороны которого устанавливался источник монохроматической плоской световой волны. С обратной стороны была установлена высокоскоростная видеокамера (Evercam 1000 – 32M с объективом Sigma AF 105mm f/2.8 EX DG OS HSM Macro). Сопловой канал через карман Рихтера подключался к центробежному вентилятору ВЦ5. Последний приводился в движение с помощью электродвигателя АДМ80И2У3, мощностью 2,2 кВт [6].

На рис. 2 показана зависимость критического числа Вебера (We) от концентрации угольного компонента в топливе при дроблении капель ВУТ, изготовленных на основе углей с существенно различной степенью метаморфизма. Можно выделить два характерных режима разрушения капель водоугольной суспензии: ньютоновский и вязкопластический с условной границей раздела, основанной на концентрации твердого компонента $\varphi \approx 45\text{--}50$ % (в зависимости от типа угля). Данный вид зависимости показывает, что при переходе через значения $\varphi \approx 50$ % характеристики дробления капель ВУТ резко меняются. Последнее связано с тем, что при высоких концентрациях частицы угля в суспензии начинают играть роль связующего материала, что приводит к значительному увеличению вязких сил и сил поверхностного натяжения и соответствующему изменению условий фрагментации капель.

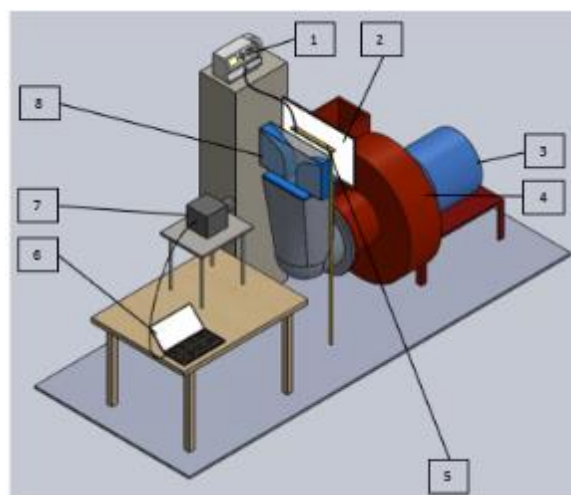


Рис. 1. Экспериментальный стенд:
1 – инфузионный шприцевой насос;
2 – источник света; 3 – электродвигатель;
4 – центробежный вентилятор;
5 – держатель со шприцом;
6 – персональный компьютер;
7 – высокоскоростная камера; 8 – сопло

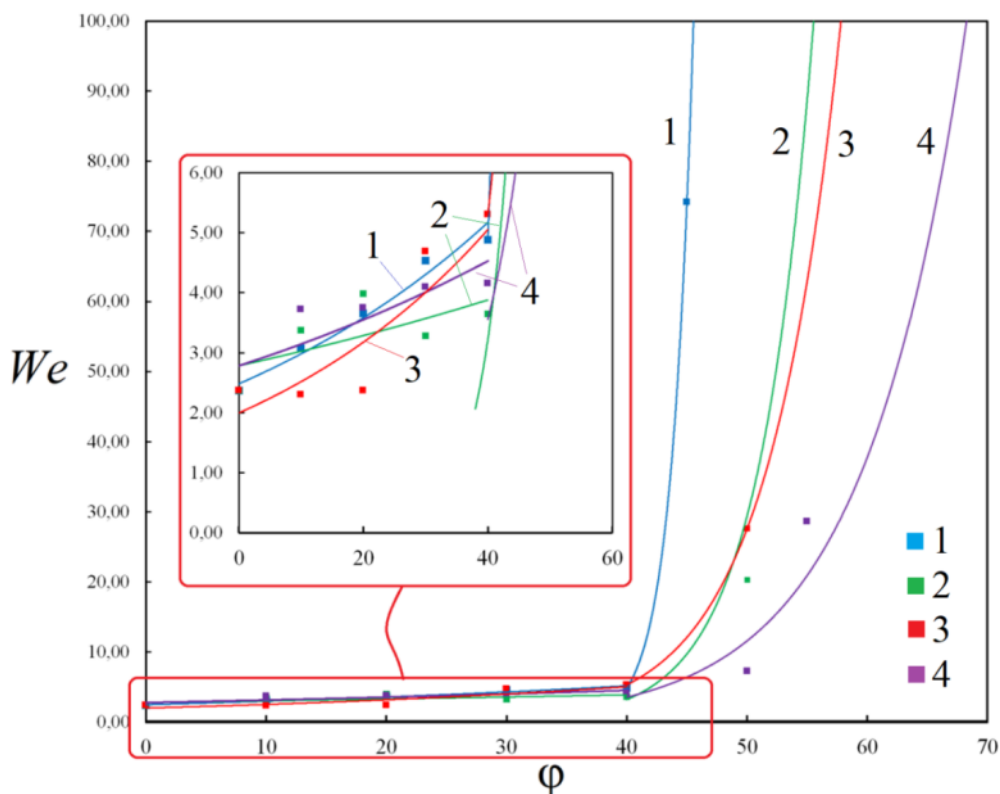


Рис. 2. Зависимость критического числа Вебера от концентрации угольного компонента в водо-угольной суспензии. При $\phi = 0$ определено критическое значение числа Вебера для капли воды: 1 – капля ВУТ на основе бурого угля; 2 – капля ВУТ на основе длиннопламенного угля; 3 – капля ВУТ на основе тощего угля; 4 – капля ВУТ на основе антрацита

Можно отметить, что пороговые значения ϕ для разных углей заметно различаются. Например, экспоненциальный рост величины (We) для водоугольного топлива на основе бурого угля начинается раньше (при $\phi \approx 45\%$) по сравнению с длиннопламенным углем ($\phi \approx 50\%$). Критическое (в условиях значительного снижения вероятности фрагментации капель ВУТ) число Вебера для капель топлива на основе тощего угля достигается при $\phi \approx 50\%$, а для антрацитового угля – при $\phi \approx 60\%$.

Работа поддержана Российским Научным Фондом грант № 23-79-10092.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зола и шлак при сжигании водоугольных суспензий / Бутылькова Т.Н., Делягин Г.Н. // Новые методы сжигания топлива и вопросы теории горения. – М.: Наука, 1969. – С.58-64.
2. Валиуллин Т.Р., Вершинина К.Ю., Глушков Д.О., Стрижак П.А. Зажигание капли композиционного жидкого топлива в вихревой камере сгорания // Современные проблемы теплофизики и энергетики: Материалы Международн. конф., – Москва, 9–11 окт. 2017. – Москва. 2017. – С.105–106.
3. Kuznetsov G.V., Syrodoy S.V., Salomatov V.V., Malyshev D.Y., Kostoreva Z.A., Purin M.V., Yankovsky S.A. Ignition and combustion characteristics of coal – water fuels based on coal & semi-coke // Combustion and Flame. – 2022. – V. 246. – P. 112430.
4. Zhicun Xue, Yan Gong, Qing-hua Guo, Fuchen Wang, Guangsuo Yu. Visualization study on breakup modes of coal water slurry in an impinging entrained-flow gasifier // Fuel. – 2019. – V. 244. – P. 40–47.
5. Antonov, D.V., Kuznetsov, G.V. and Strizhak, P.A. Fragmentation of heated droplets of coal-water slurries containing petrochemicals // Applied Thermal Engineering. – 2021. – V. 195. – P. 117190.
6. Сыродой С.В., Замалтдинов Р.Р., Познахарев А.С., Акимов В.С. Дробление капель водоугольного топлива в потоке воздуха.