

**УДК 544.22**

КЛИМЕНКО А. Ю., магистрант (НИ ТПУ)  
Научный руководитель ШЛЕГЕЛЬ Н. Е., к.т.н., доцент (НИ ТПУ)  
г. Томск

## **ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАПЕЛЬ И ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ**

На сегодняшний день проблема улавливания разного рода пыли неизменно остается актуальной [1]. Особенно серьезно она стоит в регионах с большим количеством камнедобывающих заводов, угольных шахт и теплоэлектростанций, которые являются одним из основных источников образования твердых частиц. Поскольку уголь остается основным источником энергии на десятилетия вперед [2], на сегодняшний день главная задача состоит в улучшении имеющихся технологий систем очистки воздуха. В частности, в настоящее время широкое распространение в промышленности нашли электрофильтры [3], сухая фильтрация [4], а также мокрое пылеулавливание [5]. Применение технологии мокрого пылеулавливания распространяется на множество различных процессов, таких как подавление угольной пыли в угольных шахтах [6, 7], сбор пыли алюминиевых отходов [8, 9], а также контроль распространения летучей пыли, выбрасываемой камнедобывающими заводами [10].

С целью прогнозирования исхода взаимодействия капли с частицей необходимо учитывать множество факторов, таких как отношение размеров капель и частиц, скорость взаимодействия, реологические свойства жидкости и физические свойства твердых частиц, а также угол атаки. Содержание водяных паров в газовой среде является одной из важнейших характеристик [11]. Цель настоящей работы – изучение закономерностей и характеристик процессов соударения капель жидкости с угольными частицами при варьировании влажности газовой среды.

В качестве жидкости в данной работе использовалась дистиллированная вода с известными и стабильными свойствами (плотность  $\rho = 998 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; поверхностное натяжение  $\sigma = 72,7 \text{ мН}/\text{м}$ ; динамическая вязкость  $\mu = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ). В качестве твердых частиц использовался измельченный каменный уголь марки Т ( $\rho = 1340 \text{ кг}/\text{м}^3$ , контактный угол смачивания —  $77^\circ\text{C}$ , пористость — 0,21, зольность — 11%). В таблице 1 представлены условия проведения экспериментов при варьировании влажности окружающей среды. Параметры среды измерялись при помощи термогидрометра Testo 605i. Методика проведения экспериментальных исследований подробно рассмотрена в изученной работе [12].

Коэффициент сопротивления обусловлен трением, давлением и вынужденным сопротивлением. Компонент трения связан с развитием пограничного слоя, его величина зависит от характеристик жидкости (т. е. вязкости) и числа Рейнольдса.

Безразмерный коэффициент сопротивления определяется следующим образом:

$$f = \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\rho_f} \frac{g d_s}{v_0^2} \varepsilon^3, \quad (1)$$

где  $\rho_p$  и  $\rho_f$  – плотности частицы и жидкости;  $v_0$  – скорость взаимодействия капли и частицы;  $\varepsilon$  – пористость частицы угля.

Таблица 1. Зависимость параметров среды от влажности

| Условие                                 | 1    | 2    | 3    |
|---|------|------|------|
| Относительная влажность, %              | 95   | 65   | 40   |
| Абсолютная влажность, $g/m^3$           | 28,4 | 13,7 | 9,2  |
| Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | 30,9 | 24,6 | 22,3 |

Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса представлена на рисунке 1. Видно, что при относительно малых числах  $Re$  (1000–2300) влажность среды оказывает достаточно сильное влияние на коэффициент сопротивления, что объясняется улучшенной смачиваемостью пор угля. Так, при влажности воздуха 95% коэффициент сопротивления снижается на 20% по сравнению с влажностью воздуха 40%.

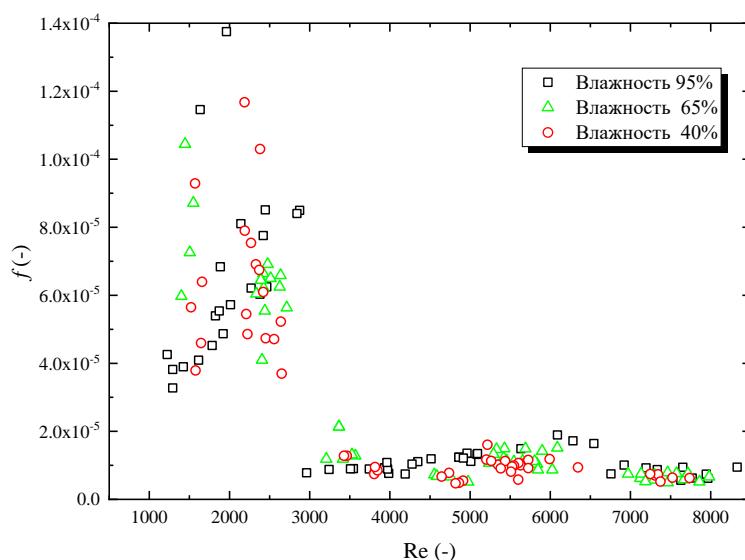


Рисунок 1. Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса при варьировании влажности воздушной среды

При возрастании модифицированного числа Рейнольдса также заметно значительное снижение влияния влажности среды на коэффициент сопротивления, что объясняется повышением скоростей движения капель. Уменьшается различие между поверхностной энергией твердого тела и жидкостью в результате абсорбции. При нормальных условиях воздушная

прослойка между каплей и частицей разрушается на линии соприкосновения, что приводит к капиллярному контакту и закреплению капли из-за капиллярных сил в порах на поверхности частицы [13]. Выступы в частицах являются энергетическими барьерами, поэтому можно наблюдать повышенные значения коэффициента сопротивления по сравнению с влажностью 95%.

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

#### Список литературы:

1. Zhang Q., Fan L., Wang H., Han H., Zhu Z., Zhao X., Wang Y. A review of physical and chemical methods to improve the performance of water for dust reduction // Process Safety and Environmental Protection. – 2022. – Т. 166. – С. 86-98.
2. Liu R., Cheng W., Yu Y., Xu Q., Jiang A., Lv T. An impacting factors analysis of miners' unsafe acts based on HFACS-CM and SEM // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Т. 122. – С. 221-231.
3. Shi Y., Li C., Fang M., Cen J., Wang Q., Yan K. Numerical investigation of particle re-entrainment mechanism and its suppression strategy in the high-temperature electrostatic precipitator // Powder Technology. – 2024. – Т. 437. – С. 119538.
4. Li S., Zhou F., Wang F., Xie B. Application and research of dry-type filtration dust collection technology in large tunnel construction // Advanced Powder Technology. – 2017. – Т. 28. – №. 12. – С. 3213-3221.
5. Jin Z., Hu S., Zhu X., Feng G., Sun J. Research on wet-type swirl dust collection technology and its application in underground excavation tunnels // Advanced Powder Technology. – 2022. – Т. 33. – №. 12. – С. 103851.
6. Liu R., Zhou G., Wang K., Niu C., Zhang Q., Wang Y., Dong X., Ramakrishna. Experimental investigation on highly efficient collection and cleaning for fine coal dust particles by dry-wet mixed chemical method // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Т. 9. – №. 5. – С. 105861.
7. Hu S., Li S., Cheng H., Jin H., Hou J., Gui C., Chen X., Yuan L., Zhou F. Study on the wet dust collection mechanism of metal-based filter screens and the effect of its inclination angle on dust removal performance // Process Safety and Environmental Protection. – 2023. – Т. 176. – С. 430-437.
8. Wang B., Xu K., Wang Y. Using sodium D-gluconate to suppress hydrogen production in wet aluminium waste dust collection systems // Journal of hazardous materials. – 2020. – Т. 397. – С. 122780.
9. Xu X., Xu K., Wang Y. Prevention of a hydrogen explosion accident in the wet aluminum waste dust collection process based on L-malic acid // Powder Technology. – 2021. – Т. 382. – С. 126-132.
10. Tanthapanichakoon W., Charinpanitkul T. Suppression of fugitive dust emitted from stone quarrying process using wetted wire screen // Separation and purification technology. – 2012. – Т. 92. – С. 17-20.
11. Shanthanu S., Raghuram S., Raghavan V. Transient evaporation of moving water droplets in steam-hydrogen-air environment // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Т. 64. – С. 536-546.

- 
- 12. Klimenko A., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Breakup of colliding droplets and particles produced by heavy fuel oil pyrolysis //Energy. – 2023. – Т. 283. – С. 128480.
  - 13. Lee J. B., Radu A.L., Vontobel P., Derome D., Carmeliet J. Absorption of impinging water droplet in porous stones //Journal of colloid and interface science. – 2016. – Т. 471. – С. 59-70.