

УДК 62-91

Моделирование эрозии внутренней поверхности отвода трубопровода улучшенной формы системы пневматической транспортировки полиэтилена методом CFD - DEM

Гермашев Андрей Анатольевич^{1(*)}

germashevaa@sibur.ru

Очков Андрей Андреевич²

aochkov@bmstu.ru

SPIN-код: 5889-9286

Хамади Михаил Искандерович²

mih@bmstu.ru

SPIN-код: 9896-4638

¹ ООО «Запсибнефтехим», Тобольск, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведено исследование влияния параметров процесса пневматической транспортировки полиэтилена таких, как: скорость потока сплошной среды, размера транспортируемых частиц и массовой концентрации транспортируемых частиц на эрозию внутренней поверхности отвода трубопровода улучшенной формы. Выполнен анализ полученных зависимостей. Перечислены этапы разработки и перспективные области применения математической модели эрозии внутренней поверхности отвода трубопровода системы пневматической транспортировки. Сделано заключение о необходимости проведения ряда физических экспериментов для подтверждения полученных в ходе исследования результатов.

Ключевые слова: эрозия внутренней поверхности отвода трубопровода, система пневматической транспортировки, метод дискретных элементов

Введение. Внутренняя поверхность трубопровода системы пневматической транспортировки оказывает значительное влияние как на качество выходной продукции, так и на процесс пневматической транспортировки. В некоторых случаях, например, при пневматической транспортировке полиэтилена низкого давления гладкая поверхность трубопровода приводит к образованию волокон полиэтилена на внутренних стенках трубопровода и его последующей забивке. По этой причине в настоящее время проводят дробеструйную обработку внутренней поверхности трубопровода [1, 2] и используют отводы специальной формы [3–5]. Данные решения в силу эрозии внутренней поверхности трубопровода в процессе пневматической транспортировки являются временными, и на текущий момент не существует математической модели процесса пневматической транспортировки, учитывающей влияние эрозии, что особенно актуально для разработки системы диагностики состояния системы пневматической транспортировки и графика останова системы на обслуживание трубопровода.

Методы и материалы; результаты. В работе исследовано влияние параметров пневматической транспортировки полиэтилена: скорости потока сплошной среды v , размера транспортируемых частиц d и массовой концен-

трации транспортируемых частиц μ на эрозию внутренней поверхности отвода трубопровода улучшенной формы, описанного в [5], при помощи комбинированного метода, объединяющего вычислительную гидродинамику (CFD) и метод дискретных элементов (DEM).

Метод CFD-DEM включает в себя уравнения, описывающие изменение параметров сплошной среды с помощью вычислительной гидродинамики (CFD) и параметров дисперсных частиц с помощью метода дискретных элементов (DEM) [6].

Уравнения сплошной среды — газовой фазы включают в себя:

Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial(\varepsilon_f \rho_f)}{\partial t} + \nabla(\varepsilon_f \rho_f u_f) = 0,$$

где ε_f — доля объема, занимаемая газом; ρ_f — плотность газа; u_f — поле скоростей газа.

Уравнение импульса

$$\frac{\partial(\varepsilon_f \rho_f u_f)}{\partial t} + \nabla(\varepsilon_f \rho_f u_f u_f) = -\varepsilon_f \nabla p + \nabla(\varepsilon_f \tau_f) + \varepsilon_f \rho_f g + S_{fp},$$

где p — давление; τ_f — тензор вязких напряжений; g — ускорение свободного падения; S_{fp} — суммарная сила взаимодействия газа с частицами транспортируемого материала.

Твердая фаза (DEM) описывается уравнениями поступательного и вращательного движения.

В результате исследования была получена графическая зависимость скорости эрозии внутренней поверхности отвода трубопровода от его формы и скорости транспортировки частиц (рис. 1, а), размера частиц (рис. 1, б), массовой концентрации частиц (рис. 2). Для рис. 1, а — $d = 3$ мм, $\mu = 7$; рис. 1, б — $v = 9$ м/с, $\mu = 7$; рис. 2 — $d = 3$ мм, $v = 9$ м/с.

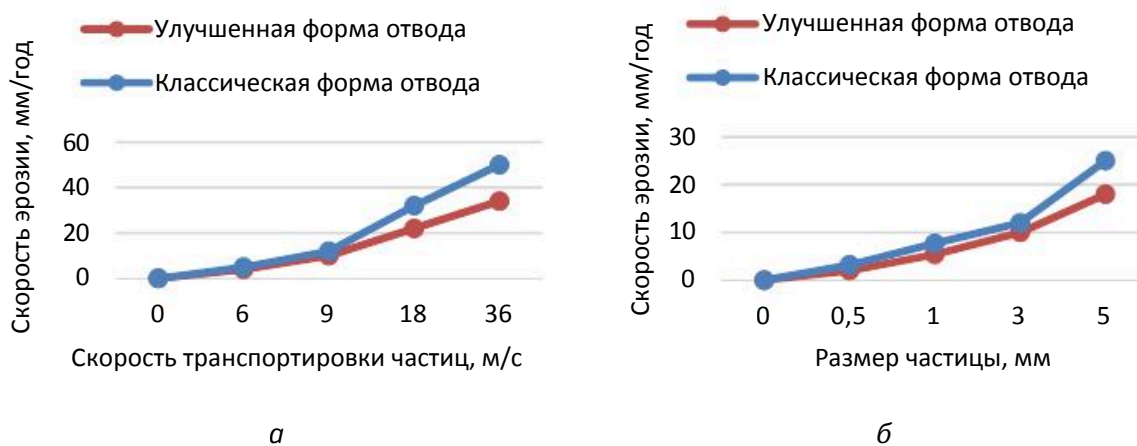


Рис. 1. Зависимость скорости эрозии:

а — от его формы и скорости транспортировки частиц; б — от размера частиц

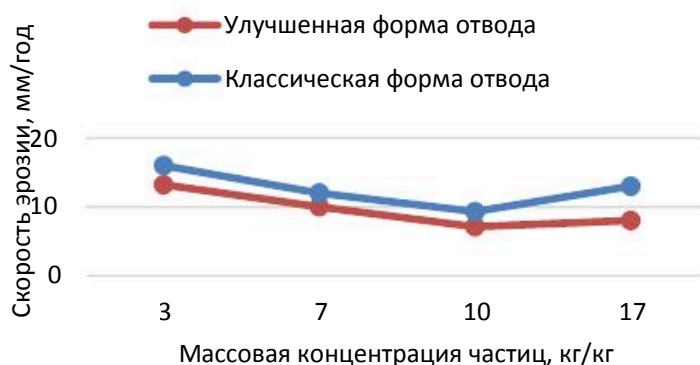


Рис. 2. Зависимость скорости эрозии от массовой концентрации частиц

Зависимость скорости эрозии внутренней поверхности отвода трубопровода от его формы и скорости транспортировки частиц (см. рис. 1, *а*), размера частиц (см. рис. 1, *б*), массовой концентрации (см. рис. 2).

Заключение. Выполненный анализ результатов работы позволил установить степень влияния каждого из рассмотренных параметров пневматической транспортировки на эрозию внутренней поверхности отвода трубопровода и разработать дальнейшие шаги по разработке математической модели процесса пневматической транспортировки, учитывающей влияние эрозии внутренней поверхности трубопровода на рабочие параметры системы.

Список источников

- [1] Клячко Л.С., Одельский Э.Х., Хрусталеv Б.М. *Пневматический транспорт сыпучих материалов*. Минск, Наука и техника, 1983, 216 с.
- [2] Meylan M. et al. Pneumatic Conveying. *ANZIAM Journal*, 2023, vol. 63, M6-M32. <https://doi.org/10.21914/anziamj.v63.16615>
- [3] Очков А.А., Годорожа С.В., Хамади М.И. Исследование процесса пневмотранспорта гранул полиэтилена в поворотных коленах трубопровода. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 11, с. 79–88.
- [4] Klinzing G.E. A review of pneumatic conveying status, advances and projections. *Powder Technology*, 2018, vol. 33, pp. 78–90.
- [5] Очков А.А., Скорняков В.М. Оптимизация геометрических параметров колена трубопровода в системах пневмотранспорта полиэтилена. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2024, № 4 (151), с. 82–95. EDN: WFXKYM.
- [6] Huaqing Ma et al. A review of recent development for the CFD-DEM investigations of non-spherical particles. *Powder Technology*, 2022, vol. 412. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117972>