

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№12 2019

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2019**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №12 2019г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2019. – 248 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС 77 - 75732 от 08 мая 2019г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvr.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харламиди – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2019 г.

05.13.18

Р.Р. Яфизов, С.А. Соловьев, А.В. Антипин

Казанский государственный энергетический университет,
институт цифровых технологий и экономики,
Казань, ruzilyafizov@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНА ФИЛЬТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

В данной работе проведено численное моделирование процесса фильтрации волокном. Исследованы параметры, влияющие на эффективность осаждения частиц, также исследован механизм инерционного осаждения частиц. Численный расчет производился в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.0). Представлены результаты расчетов для твердотельного волокна, с одним и пятью выступами. Представлен новый способ повышения эффективности осаждения частиц, при помощи создания модифицированных волокон.

Ключевые слова: волокнистый фильтр, численное моделирование, выступ, инерционное осаждение.

Основным направлением исследований в области фильтрации газозвесей является изучение эффективности механизмов улавливания взвешенных частиц. Существует несколько механизмов осаждения частиц при фильтрации - это диффузия, зацепление, инерционное и гравитационное осаждение и электростатическое притяжение, а само осаждение частиц определяется размерами частиц и скоростью несущей среды. Одним из наиболее исследуемых направлений является инерционное осаждение частиц в пористых средах [1-3]. Основным параметром, влияющим на инерционное осаждение, является число Стокса, поэтому во многих работах исследуется зависимость эффективности инерционного осаждения взвешенных частиц от числа Стокса [4-5]. Для грубодисперсных аэрозолей, содержащих частицы с диаметрами более нескольких микрон, инерционное соударение и гравитационное осаждение являются основными причинами оседания частиц. Для наночастиц основным механизмом осаждения является диффузия. Частицы средних размеров могут удерживаться волокнистыми фильтрами за счет эффекта зацепления. Частицы с диаметрами в микронном диапазоне характеризуются слабым проявлением инерционности и диффузионного осаждения. Для улавливания таких частиц обычно применяется метод электростатического осаждения. Помимо инерционного осаждения большую роль играет эффект зацепления частиц, при котором соприкосновение с препятствием определяется геометрическим размером частицы. При этом не требуется, чтобы траектория движения центра частицы пересекала поверхность препятствия [6-7]. Для малых и нано-частиц растет вклад диффузионного осаждения, интенсивность которого определяется коэффициентом броуновской диффузии. В работе [8] показано, что броуновская диффузия играет определяющую роль для частиц диаметром $d_p < 0.2$ мкм. В случае субмикронных размеров частиц, применяется электрическая зарядка улавливаемых частиц или волокон фильтра, на движение которых начинают влиять электростатические силы взаимодействия между частицей и волокном, а также в зависимости от силы заряда, скорости течения и глубины пористой упаковки обеспечивается высокая эффективность улавливания частиц в соответствующих фильтрах.

Постановка проблемы

В данной работе было проведено численное моделирование осаждения частиц на твердотельных единичных волокнах фильтра. Диаметр волокна составляет $d = 500$ мкм,

скорость потока составляла $u = 10^{-6}$ м/с, что соответствует ламинарному режиму течения. С целью увеличения эффективности осаждения частиц волокном фильтра, были добавлены выступы на волокнах и сравнены результаты численного моделирования для волокон с выступами различной длины. Волокно с одним выступом, обозначалось как h . Величина h принимала значения: 0 мм; 0.05 мм; 0.1 мм; 0.15 мм; 0.2 мм; 0.25 мм. Волокно с пятью выступами, обозначалось как s . Для s были взяты такие же размеры выступов, как и для h : 0 мм; 0.05 мм; 0.1 мм; 0.15 мм; 0.2 мм; 0.25 мм. Для исключения влияния границ на поле течения расстояние от волокна до границ было в 30 раз больше диаметра волокна. Расположение выступов показано на Рисунке 1.

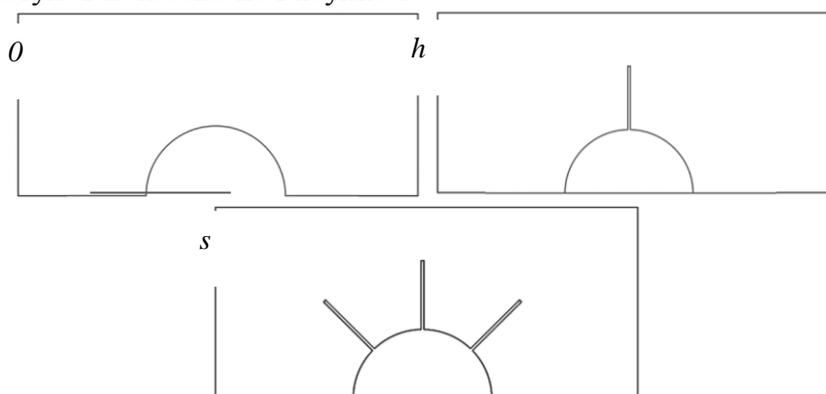


Рис. 1 - Схема расположения выступов на волокне фильтра:

0 – волокно без выступа, h – волокно с одним выступом, s – волокно с пятью выступами

Результаты

В общей сложности было проведено 10 вычислительных эксперимента. Количество стартовавших частиц $n=1000$. Все частицы стартовали с начальной точки $x=0$, а по оси $0y$ от $y=0$ до $y=0,00025$ (м). Результаты расчетов эффективности осаждения частиц на волокне представлены в виде графиков (Рисунки 2-3). Диаметр волокна составляет $d=0,5$ мм.

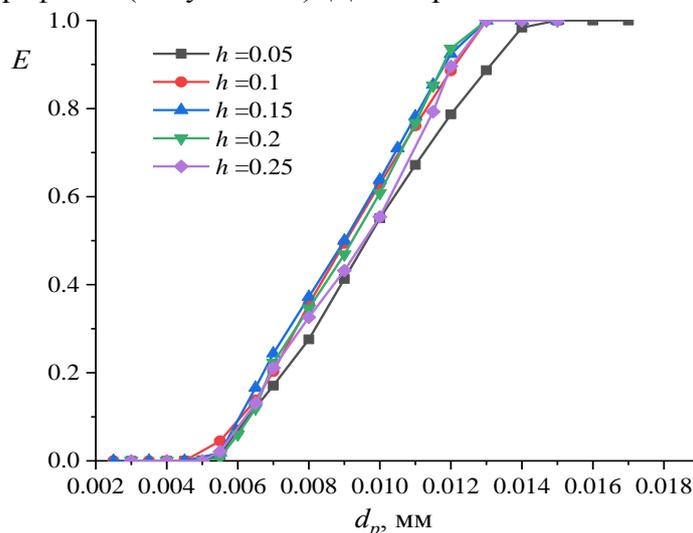


Рис. 2 - Эффективность осаждения частиц на единичном твердотельном волокне для различных h

На рисунке 2 видно, что эффективность осаждения увеличивается до значения выступа $h=0,15$ мм, после данного значения эффективность начинает снижаться. Снижение эффективности осаждения для выступа более 0,15 мм объясняется гидродинамикой потока: частицы малого диаметра следуют по линиям тока, огибая выступ.

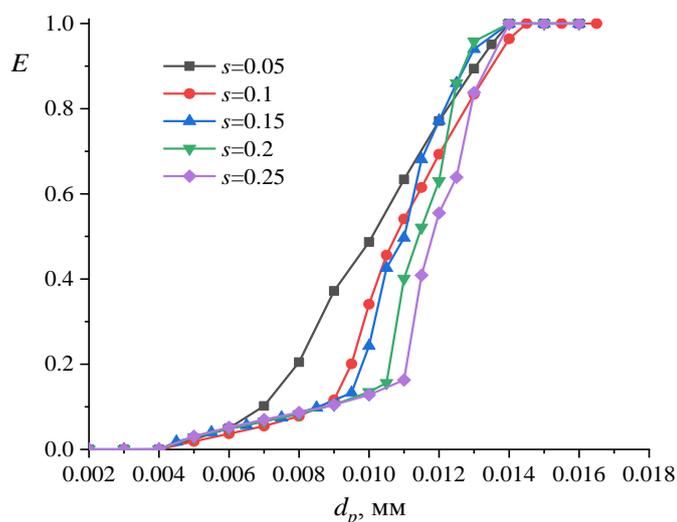


Рис. 3 - Эффективность осаждения частиц на единичном твердотельном волокне для различных s

Рисунок 3 демонстрирует зависимость эффективности осаждения частиц для твердотельного волокна S с пятью выступами. На графике мы видим, что с ростом выступа S снижается эффективность осаждения частиц. Таким образом, наибольшая эффективность осаждения наблюдается для $s=0,05$ мм, а наименьшая при $s=0,25$ мм. Такая закономерность объясняется тем, что у основания выступов создаются зоны пониженного давления и частицы следуют по линиям тока.

Заключение

Проведено численное моделирование течения газа для волокна различных геометрий (с одним и пятью выступами). На основе полученных данных были построены графики эффективности осаждения частиц для волокна с одним и пятью выступами. Выявлено, что самая высокая эффективность осаждения частиц у волокна s , которое имеет пять выступов длиной 0,05 мм. Результаты численного расчета согласуются с законами гидрогазодинамики. Данные исследования вносят вклад в развитие знаний о механике жидкости и газа в волокнистых фильтрах и могут лечь в основу создания волокнистых фильтров с улучшенными свойствами.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.

Список литературы

1. *Davies C.N.* Aerosol Science. – N-Y: Academic Press, 1966.
2. *Friedlander S.K.* Smoke Dust and Haze: Fundamentals of Aerosol Behavior. – N-Y: Wiley, 1977.
3. *Israel R.* Use of a generalized Stokes number to determine the aerodynamic capture efficiency of non-stokesian particles from a compressible gas flow // *Aerosol Sci. Technol.* – 1983. – Vol. 9. – P. 29-60.
4. *May K.* The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and disks // *Ann. Occup. Hyg.* – 1967. – Vol. 10. – P. 83-95.
5. *Wang H.C.* Theoretical adhesion efficiency for particles impacting a cylinder at high Reynolds number // *J. Aerosol Sci.* – 1986. – Vol. 17. – P. 827-837.
6. *Nguyen X.* Single fibre capture efficiency of aerosol particles in real and model filters in the inertial interception domain // *J. Aerosol. Sci.* – 1975. – Vol. 6. – P. 205.
7. *Wang J.* Filtration of aerosol particles by elliptical fibers: a numerical study // *Journal of Nanoparticle Research.* – 2009. – Vol.– P. 185-196.
8. *Qian F.* Effects of the operating conditions and geometry parameter on the filtration performance of a fibrous filter // *Chemical Engineering and Technology.* – 2009. – Vol. 32 (5). – P. 789-797.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№12 2019

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvp.ru

Свидетельство ПИ № ФС 77 – 75732 от 08 мая 2019г.

Подписано в печать 23.12.2019 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

13,6 усл.печ.л. 15,7 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 2410.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22.

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»