МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры

Международный центр компетенций в горнотехническом образовании под эгидой ЮНЕСКО

XIX ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ТОМ 2

14–16 АПРЕЛЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2021

НЕДРА КОНСОРЦИУМ УНИВЕРСИТЕТОВ
СИБУР
ФОСАГРО

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

XIX ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

12-16 апреля 2021 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Том 2

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 00 (622+55+665.6/7+620.9+621+669(082)
ББК 2 (65.304.11+33.36+31+34.3/4я43)
В 851

В сборнике представлены труды молодых исследователей, участников XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов (Санкт-Петербургский горный университет, 12-16 апреля 2021 г.). Материалы сборника представляют интерес для широкого круга исследователей, ученых, педагогов, специалистов, руководителей промышленных предприятий и предпринимателей, работающих в области поиска, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых.

The Volume contains works of young researchers-participants of XIX Russian Conference of students and graduate students, which was held at the St. Petersburg State Mining University from the 12th to 16th April 2021. The Volume can be of great interest for a wide range of researchers, scientists, university lecturers, specialists and managers of industrial enterprises and organisations as well as for businesspeople involved in exploration, prospecting, development and processing of minerals.

Редакционная коллегия: доцент *В.Т. Борзенков* (председатель), доцент *Д.С. Тананыхин*, профессор *М.В. Двойников*, профессор *А.М. Щипачев*, профессор *Н.К. Кондрашева*, профессор *Т.Н. Александрова*, профессор *О.И. Казанин*, профессор *П.А. Деменков*, доцент *М.Г. Мустафин*, профессор *А.С. Егоров*, профессор *О.М. Прищепа*, профессор *А.Е. Череповицын*, доцент *П.А. Петров*, профессор *В.В. Максаров*, профессор *В.А. Шпенст*, профессор *М.А. Пашкевич*, доцент *Н.А. Вахнин*, доцент *И.В. Поцешковская*, ст. преп. *А.С. Данилов*,

ISBN 978-5-94211-931-7 (Том 2)
ISBN 978-5-94211-929-4
© Санкт-Петербургский горный университет, 2021

ЗИНУРОВ В.Э.
Казанский государственный энергетический университет

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

ZINUROV V.E.
Kazan State Power Engineering University

DEVELOPMENT OF A CLASSIFIER WITH COAXIALLY ARRANGED PIPES FOR FRACTIONATION OF FINE BULK MATERIAL

Классификация сыпучего материала на определенные фракции является неотъемлемой задачей большинства промышленных предприятий, осуществляющих операции измельчения различного материала и ориентированных на выпуск порошковой продукции. Для осуществления данного процесса используются специализированные аппараты – аэродинамические классификаторы. Основной характеристикой которых является быстрое и энергоэффективное фракционирование большого объема смешанного сыпучего материала с различными физическими характеристиками.

В настоящий момент времени особый интерес представляет классификация мелкодисперсных частиц. Это обусловлено интенсивным развитием химической и нефтехимической отраслей, в частности, разработкой новых химических компонентов, катализаторов, адсорбентов, которые для достижения необходимой эффективности в химических реакциях или технологических процессах должны представлять собой частицы малого размера.

Аппараты, работающие по принципу аэродинамической классификации, подразделяются на гравитационные камеры и центробежные классификаторы. В гравитационных камерах разделение сыпучего материала происходит за счет взаимодействия сил сопротивления газового потока и силы тяжести частиц. К достоинствам гравитационных камер можно отнести простоту конструкции, отсутствие движущихся частей и низкие потери давления. Однако, применение гравитационных камер для осаждения в них мелкодисперсных порошков с размером частиц менее 30–50 мкм не представляется возможным, так как масса данных частиц крайне мала. Наиболее предпочтительными аппаратами для разделения мелкодисперсного сыпучего материала являются центробежные классификаторы, в которых при вращательном движении газового потока с частицами возникают центробежные силы, под действием которых частицы отбрасываются к внутренним стенкам корпуса устройства и оседают в бункере. К недостаткам центробежных классификаторов относят высокое гидравлическое сопротивление. В некоторых случаях для повышения селективности конструкции центробежных классификаторов включают дополнительные сепарационные зоны, завихрители различной геометрии и другие элементы, что приводит также к росту потери давления в аппарате. С другой стороны, для достижения высокой селективности классификации сыпучих порошков для каждой отдельной технологической линии требуется разработка нового или усовершенствование классического аппарата, так как параметры частиц материала, который необходимо фракционировать: диаметр, плотность, концентрация и др., практически всегда различные. Таким образом, для классификации сыпучего материала на основе силикагеля с граничным зерном равным 30 мкм необходимо разработка устройства, работающего на основе действия центробежных сил.

Целью данной работы является разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля с граничным зерном равным 30 мкм. При этом объемная доля уловленного материала размером менее 30 мкм должна составлять не более 2% от общей его доли

Для решения поставленной задачи была разработана конструкция классификатора с соосно расположенными трубами, представленного на рисунке 1.

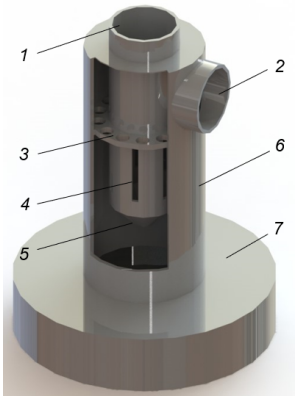

Рисунок 1 – Трехмерная модель классификатора с соосно расположенными трубами (вид с разрезом): *1* – входной патрубок, *2* – выходной патрубок, *3* – решетка с круглыми отверстиями, *4* – прямоугольные щели, *5* – отверстие в нижней части внутреннего цилиндра, *6* – внешний корпус классификатора, *7* - бункер

Классификацию сыпучего материала на основе силикагеля в классификаторе с соосно расположенными трубами можно описать следующим образом: измельченный материал, диспергированный в газовом потоке, подается в устройстве через входной патрубок *1*, далее движется прямолинейно в нижнюю часть устройства по внутренней цилиндрической трубе до плоскости, на которой начинают располагаться прямоугольные щели *4*, после чего основная часть газового потока с частицами в равных долях осесимметрично распределяется по щелям *4*. При этом оставшаяся часть газового потока продолжает прямолинейное движение и направляется к отверстию *5*. При прохождении газа с частицами через прямоугольные щели *4*, поток разделяется на 2 равные струи, каждая из которых под определенным углом движется из щели в противоположном направлении относительно друг друга в сторону внутренней стенки внешней цилиндрической трубы *6*. При достижении внутренней стенки корпуса устройства 6 струями газа, они зеркально отражаются, образуя при этом устойчивые завихрения в межтрубном пространстве и продолжают движение в верхнюю часть устройства (рис. 2).

Проделанные круглые отверстия в решетке 3 позволяют поддерживать структуру завихрений в межтрубном пространстве. При вращении вихрей возникают центробежные силы, под действием которых частицы силикагеля размером более 30 мкм отбрасывают к стенкам и падают в бункер *7* классификатора. Следует отметить, что часть газового потока с частицами, прошедшими через отверстие *5*, осесимметрично разворачивается и движется в область межтрубного пространства. При этом газовый поток изменяет свое направление на 180º, вследствие чего наиболее крупные частицы выпадают из потока и оседают в бункере *7*. Далее газовый поток с мелкодисперсными частицами силикагеля размером менее 30 мкм выходит из классификатора из выходного патрубка *2* (рис. 1). Ранее проведенные исследования в программном комплексе ANSYS Fluent показали, что применение данного классификатора позволяют решить поставленную задачу.

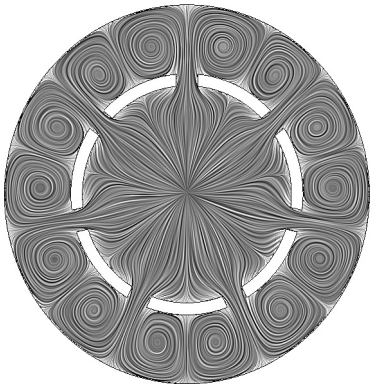

Рисунок 2 – Образование устойчивой вихревой структуры газового потока в межтрубном пространстве классификатора с соосно расположенными трубами (вид сверху)

По проведенным численным исследованиям были изготовлена конструкция классификатора, которые внедрена в технологическую линию предприятия «Салаватский катализаторный завод» в мае 2020 г. На текущий момент времени на предприятии используется 2 данных классификатора (рис. 3).

Рисунок 3 – Классификатор с соосно расположенными трубами

В докладе будут представлены результаты численных и экспериментальных исследований, в частности, влияния конструктивных, технологических и теплофизических параметров на селективность и гидравлическое сопротивление классификатора с соосно расположенными трубами.

Научный руководитель: д.т.н., доц., зав. каф. «Теоретические основы теплотехники» А.В. Дмитриев

ИВАНОВ Е.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ

IVANOV E.A.
St. Petersburg Mining University

USING MACHINE LEARNING FOR FLOATATION INTENSIFICATION

На сегодняшний день существует большая потребность в разработке различного рода IT решений в области обогащения полезных ископаемых. Одни из таких разработок связаны с обработкой изображений. Потребность в этом исходит из того, что большинство процессов переработки минерального сырья, в частности флотация, могут быть запечатлены на фото или видео камеру, и данные, полученные с них, могут быть использованы для получения ряда параметров, характеризующих ход протекания процесса.

Структура флотационной пены является основополагающим фактором, влияющим на качество продукта флотации, поэтому возможность определения её параметров, в частности размер пузырьков и их количество, позволит получить информацию, которую можно использовать, как для исследования структурообразования флотационных пен, так и для оптимизации флотационного процесса.

В данной работе предлагается использование библиотеки для работы с изображениями OpenCV для определения размеров и количества пузырьков в флотационном процессе. Для этого рассмотрен алгоритм пороговой бинаризации для приведения изображения в вид, удобный для последующей работы с ним, и преобразования Хафа для детектирования