

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ВО ВЗВЕШЕННОМ СЛОЕ

А.Е. Артюхов, Н.А. Артюхова

Сумский государственный университет, Сумы, Украина

Статья посвящена рассмотрению методов интенсификации процесса обработки зернистых материалов в аппаратах взвешенного слоя при использовании высокотурбулизированных (вихревых) потоков и многоступенчатого контактирования ожижающего агента с дисперсным потоком. Представлены конструкции вихревых и многоступенчатых полочных аппаратов и приведены их основные преимущества. Методом компьютерного моделирования и экспериментальных исследований изучена гидродинамика потоков в рабочих объёмах представленных аппаратов. Анализ полученных результатов позволяет провести усовершенствование существующих конструкций аппаратов взвешенного слоя

Одним из наиболее эффективных методов осуществления процессов тепломассообмена является использование взвешенного слоя при контакте фаз. Такая система характеризуется рядом преимуществ, отмеченных в работах зарубежных и отечественных ученых [1-3]: равномерный нагрев продукта, который позволяет применять высокие температуры сушильного агента; интенсивное движение, близкое к идеальному перемешиванию частиц, максимальная поверхность контакта фаз, малое гидравлическое сопротивление слоя продукта; простота конструкции и удобство эксплуатации и т.д.

На основе анализа экспериментально-теоретических материалов [4,5], выявлены следующие недостатки аппаратов взвешенного слоя:

1. Неравномерность времени пребывания во взвешенном слое зернистого материала (одинаково возможны быстрое проскока частиц и их пребывания в слое дольше среднестатистического определенное время).
2. Невозможность управления движением зернистого материала при необходимости обеспечения кратковременного или пролонгированного контакта с ожижающим агентом.
3. Возможно нежелательное изменение свойств зернистого материала (истирание, растрескивания, слипание и др.).
4. Обязательное присутствие в составе технологической схемы мощных пылеулавливающих аппаратов на выходе газов из взвешенного слоя, особенно при широком фракционном составе твердой фазы.
5. Эрозия аппаратуры в зоне взвешенного слоя, особенно значительная при использовании зернистого материала с высокими абразивными свойствами.

6. Повышенные энергетические затраты, связанные с нагнетанием оживающего агента и недостаточной утилизацией тепла (например, для проведения процесса сушки).

7. Низкая стабильность взвешенного слоя в широком диапазоне изменения нагрузок по сплошной и дисперсной фазам.

Обобщение и сопоставление отдельных результатов предыдущих авторов в этой области дают возможность уменьшить влияние факторов, дестабилизирующих взвешенный слой, предложив новые конструкции устройств со стабильными гидродинамическими показателями:

- вихревые аппараты с переменным сечением рабочего пространства и пониженной высотой полета зернистого материала (рисунок 1, а) [7,8];

- аппараты взвешенного слоя с вертикальным секционированием внутреннего пространства и созданием многоступенчатого противоточного контакта зернистого материала и оживающего агента (рисунок 1, б) [6].

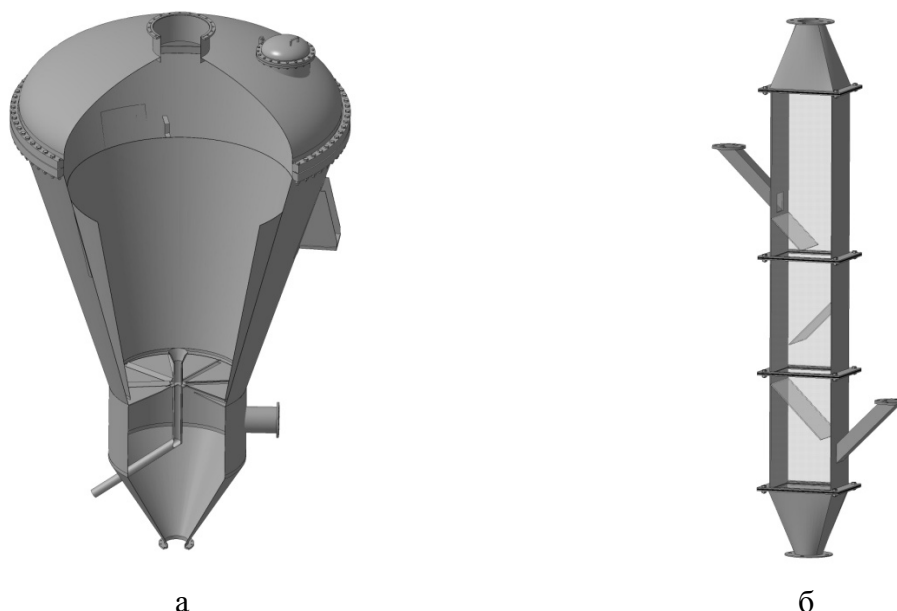


Рисунок 1 – Аппараты взвешенного слоя: а – вихревого типа; б – многосекционный (пололочный)

Показатели тепломассообменных процессов во взвешенном слое существенным образом определяются гидродинамическими показателями движения сплошного (газового) и дисперсного (твёрдого) потоков. Эффективность работы аппаратов взвешенного слоя в значительной степени зависит от поля течения газового потока, распределение которого по рабочему пространству аппарата влияет на профиль температур и концентраций зернистого материала.

Результаты компьютерного моделирования гидродинамики однофазного потока (профиль скоростей по объёму аппарата) в рабочем пространстве вихревого

тепломассообменного аппарата в зависимости от конструктивного исполнения разгонного элемента представлены на рисунках 2-4. Для сравнения взяты конструкции перфорированного газораспределителя (рисунок 2), перфорированного газораспределителя с разгонными элементами (рисунок 3) и газораспределителя с двумя зонами создания вихревого потока (рисунок 4).

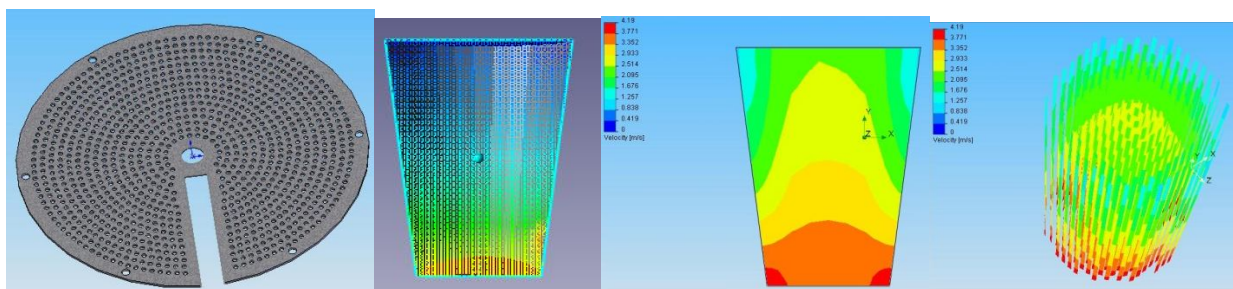


Рисунок 2 – Заливка поля скоростей газового потока для перфорированного газораспределителя

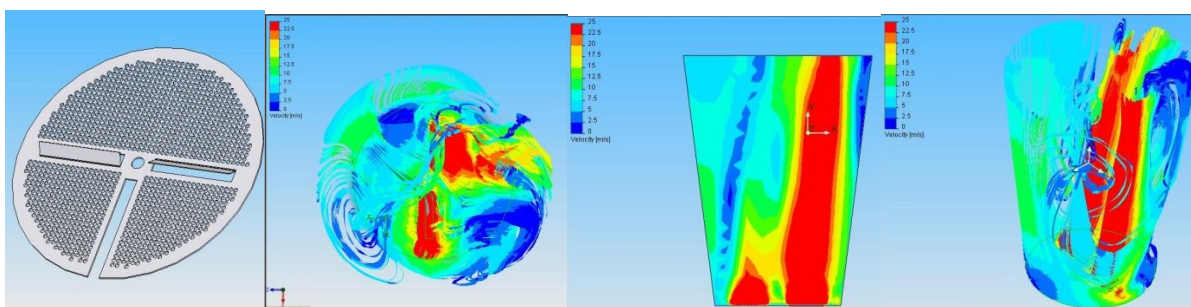


Рисунок 3 – Заливка поля скоростей газового потока для перфорированного газораспределителя с разгонными элементами

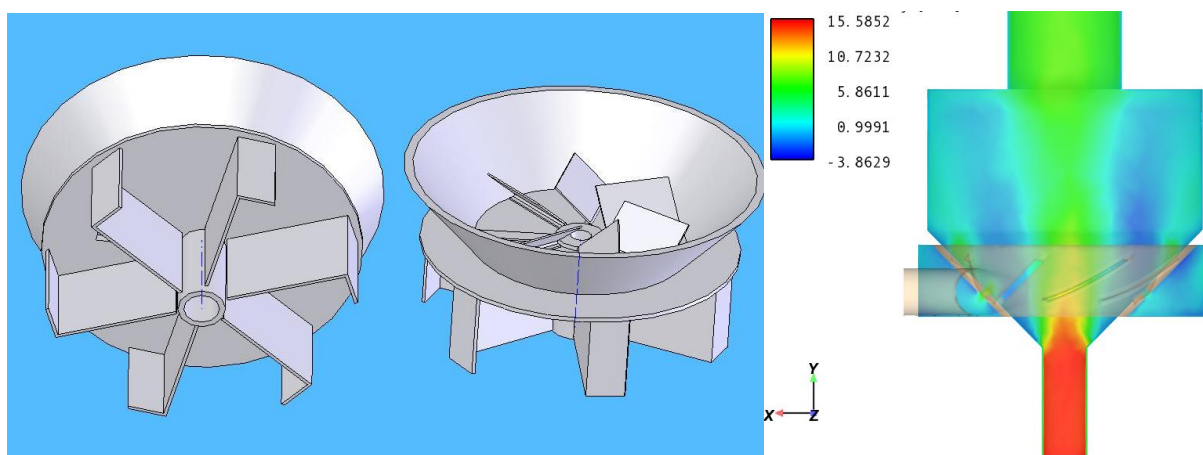


Рисунок 4 – Заливка поля скоростей газового потока для газораспределителя с двумя зонами создания вихревого потока

Исследование формирования взвешенного слоя зернистого материала, проведённое путём совместного анализа результатов компьютерного моделирования (рисунок 5) и экспериментального исследования (рисунок 6), позволило выделить основные этапы формирования спиралеобразного движения потока газозвеси. При этом были выделены характерные зоны распределения двухфазного потока по объёму рабочего пространства вихревого аппарата с прогнозированием образования участков с повышенной интенсивностью движения зернистого материала и застойных областей. Развитие вихревого взвешенного слоя изучено поэтапно от начала его формирования до выхода на рабочий режим.

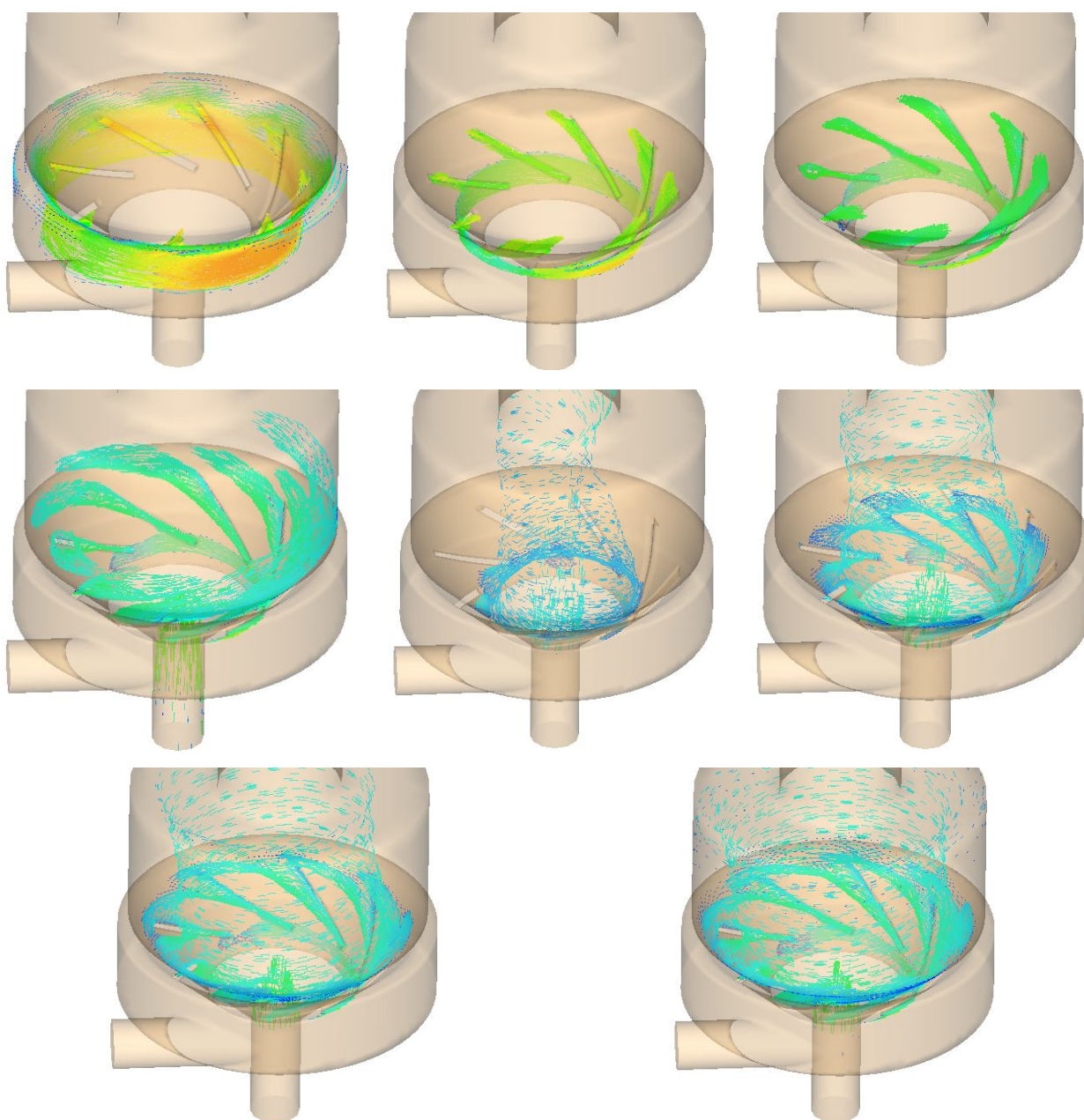


Рисунок 5 – Создание вихревого взвешенного слоя

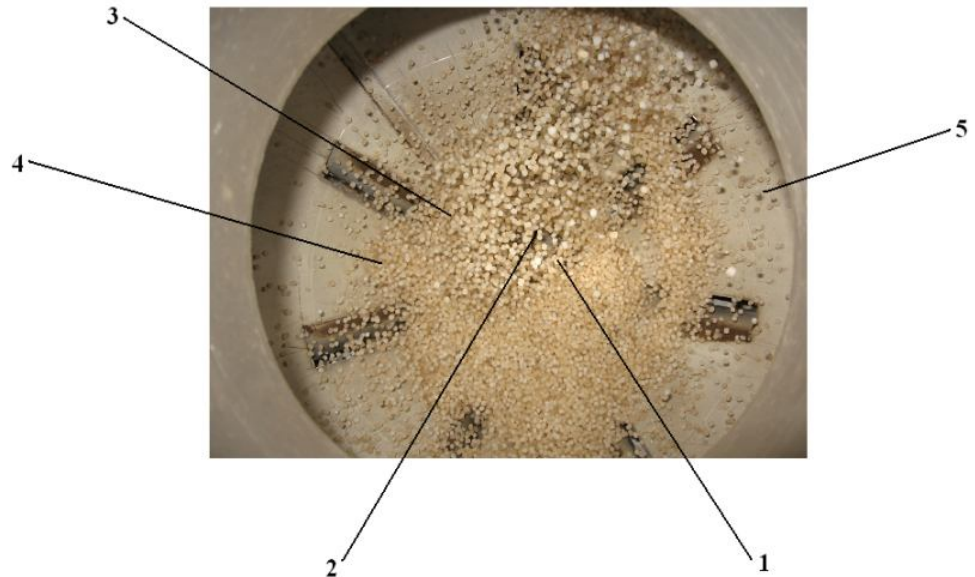


Рисунок 6 – Характерные зоны движения зернистого материала в вихревом аппарате: 1 – зона создания вихревого потока; 2 – центральная зона с взвешенным слоем фонтанирующего типа; 3 – зона комбинированного взвешенного слоя; 4 – зона вихревого взвешенного слоя; 5 – зона уменьшения интенсивности движения гранул

Исследование гидродинамики движения однофазного и двухфазного потоков в гравитационном многоступенчатом полочном аппарате (рисунок 7-9) дало возможность получения качественной и количественной картины, описывающей особенности развития секционированного взвешенного слоя в условиях противоточного взаимодействия оживающего агента и зернистого материала.

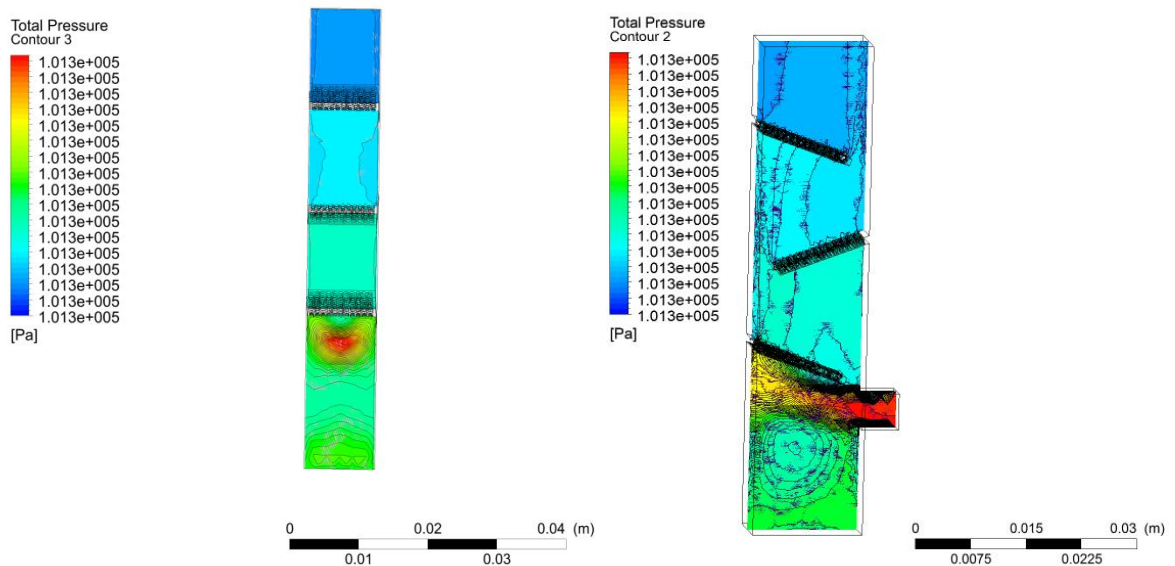


Рисунок 7 – Заливка поля давлений газового потока в многоступенчатом гравитационном полочном аппарате

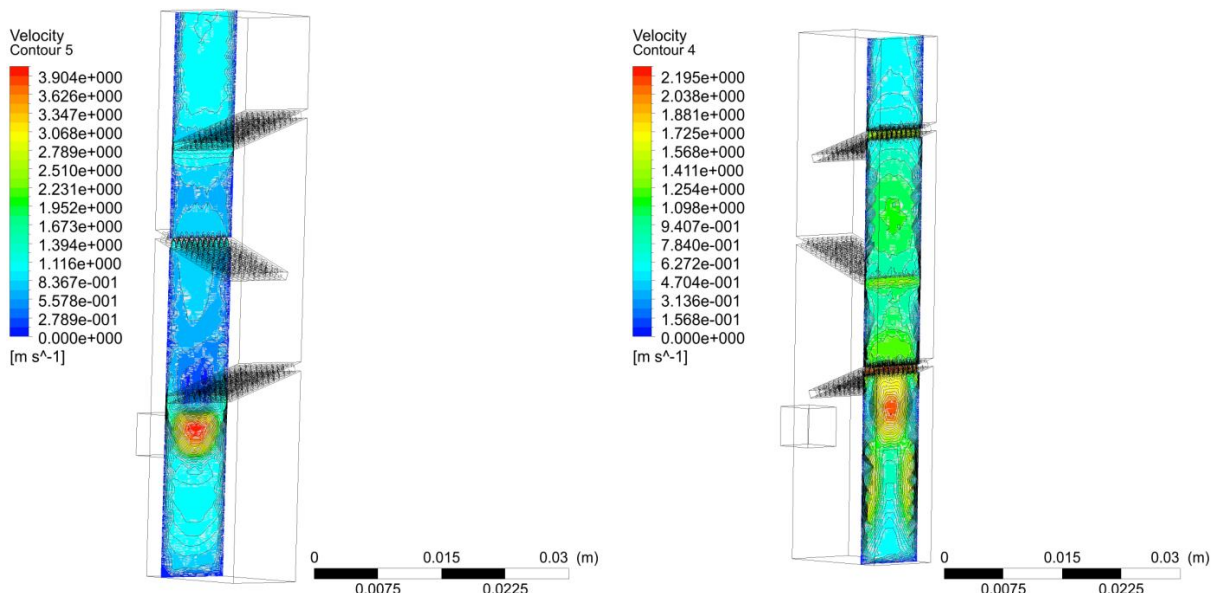
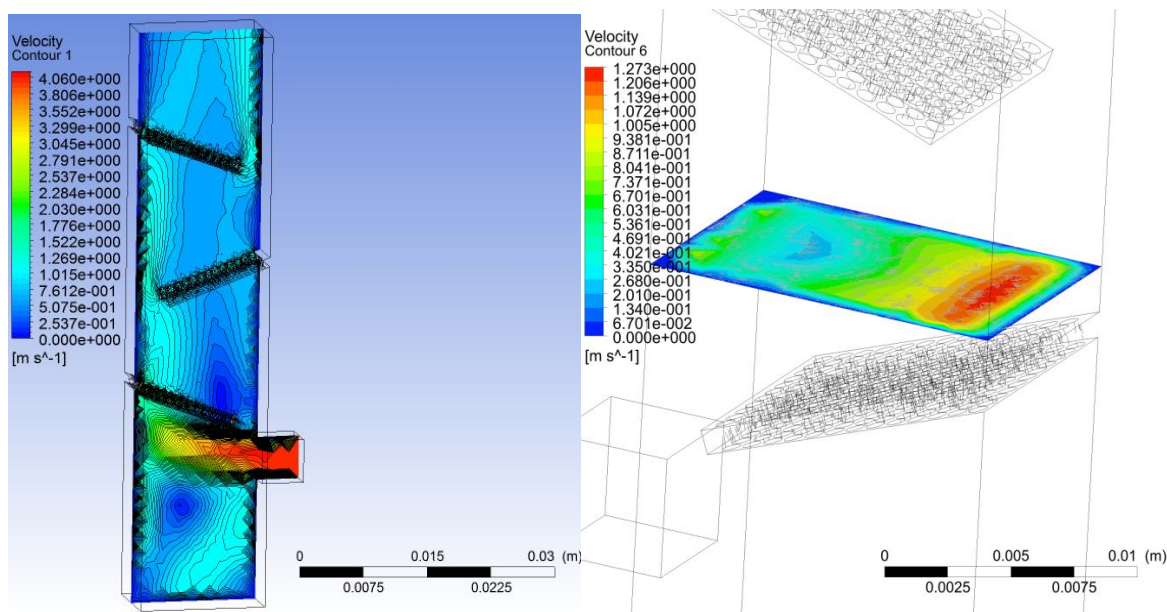


Рисунок 8 – Заливка поля скоростей газового потока в многоступенчатом гравитационном полочном аппарате

Результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования позволяют установить характерные особенности движения зернистого материала в рабочем пространстве аппарата, выявить наличие областей пониженной скорости, интенсивного вихреобразования, сепарации и т.д. Такой подход к изучению гидродинамики движения потоков позволяет выявить конструктивные недостатки изучаемого оборудования и устранить их на стадии проектирования опытного образца, что сокращает себестоимость промышленной аппаратуры.



Рисунок 9 – Характерные зоны движения зернистого материала в гравитационном полочном аппарате: 1 – зона создания взвешенного слоя на полке; 2 – зона понижения интенсивности взвешенного слоя; 3 – зона создания вихря; 4 – зона повышенной скорости движения зернистого материала над разгрузочным зазором; 5 – зона сепарации мелкого зернистого материала; 6 – зона выгрузки зернистого материала с полки

Предложенные конструкции аппаратов обладают такими преимуществами:

1. Возможность одновременного проведения нескольких процессов (например, процесса сушки и классификации материала) в одном аппарате.
2. Уменьшение размеров аппарата за счет удлинения траектории движения частиц (для вихревых и полочных аппаратов), создание отдельных ступеней контакта потоков в объеме одного аппарата (для полочных аппаратов).
3. Возможность управления временем пребывания зернистого материала в объеме аппарата.
4. Вторичное использование оживающего агента (для процессов сушки), что позволяет сократить энергетические затраты на проведение процесса.

Использование результатов полученных исследований, дополненных математическим описанием процессов обработки зернистых материалов во взвешенном слое [9,10], позволяет создать методику инженерного расчёта представленных конструкций аппаратов с определением их габаритных размеров применительно к промышленным условиям.

Литература

1. Гельперин Н.И. Основы техники псевдооживления / Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
2. Давидсон И. Псевдооживление / Давидсон И., Харрисон Д.; пер. с англ. Айнштейна В. Г., Гельперина Э. Н., Новобратского В.Л. – М.: Химия, 1974. – 728 с.
3. Лева М. Псевдооживление / Лева М.; пер. с англ. Айнштейна В.Г. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 400 с.
4. Нагорнов С.А. Разработка методов расчёта процессов и создание оборудования для переработки изделий в псевдооживленных и циркуляционных средах: дисс. ...докт. техн. наук: 05.17.08 / Нагорнов С.А. – Тамбов, 2004. – 424 с.
5. Тодес О. М. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы / О. М. Тодес, О. Б. Цитович – Л.: Химия, 1981. – 295 с.
6. Патент Украины. Заявка № u201205964 от 16.05.2012 г., МПК (2012) F26B 3/02, F26B 17/12. Устройство для сушки дисперсных материалов / Н.А. Артюхова, Н.П. Юхименко, А.Е. Артюхов, А.Б. Шандыба.
7. Патент № 90798 Украина МПК (2009) B01J2/16, B01J8/08, B01J8/18. Способ получения гранул пористой структуры и устройство для его осуществления / А.Е. Артюхов, В.И. Склабинский, К.В. Жеба; заявитель и патентообладатель Сумский государственный университет. – № а200812720; заявлено 30.10.2008; опубликовано 25.05.2010, Бюл. № 10, 2010 г.
8. Патент № 99023 Украина МПК (2012.01) B01J2/16 (2006.01), B01J2/00. Способ получения гранул пористой структуры и устройство для его осуществления / А.Е. Артюхов, В.И. Склабинский; заявитель и патентообладатель Сумский государственный университет. – № а201014887; заявлено 13.12.2010; опубликовано 10.07.2012, Бюл. № 13, 2012 г.
9. Склабинский В.И. Определение гидродинамических характеристик дисперсной фазы в малогабаритных вихревых аппаратах / В.И. Склабинский, А.Е. Артюхов // Вестник Кременчужского государственного политехнического университета имени Михаила Остроградского. - Кременчуг: КДПУ. – 2009. – Выпуск 6/2009 (59). – Часть 1. – С. 196-201.
10. Artyukhova N.A. Multistaged drying-classification apparatus of energy recovery / N.A. Artyukhova, N.P. Yukhimenko // II Международная Казахстанско-Российская конференция по химии и химической технологии, посвященной 40-летию КарГУ имени академика Е.А.Букетова. – Материалы. – Том I. – Караганда, Казахстан. – 2012. – С. 41-43.