
ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН

УДК 66.099.2-936.43.001.575

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ГРАНУЛ В ВИХРЕВЫХ АППАРАТАХ С МАЛОЙ ВЫСОТОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ

*А.Е.Артюхов*¹, *В.И.Склабинский*²

Разработан новый образец вихревого гранулятора псевдооживленного слоя в составе экспериментальной технологической схемы производства гранулированных продуктов. Проведена серия исследований по изучению характера распределения гранул в вихревом грануляторе. Предложена математическая модель и алгоритм расчёта движения закрученного газового потока в грануляторе. В статье обоснована возможность применения закрученного осесимметричного газового потока для производства гранулированных продуктов

ВВЕДЕНИЕ

Современная химическая промышленность в ближайшем будущем может предстать перед глобальной проблемой нехватки материальных и энергетических ресурсов. Существующее химическое оборудование, в частности, аппаратура для проведения процесса гранулирования является крупногабаритной, морально устарела и требует замены.

Предложенная проблематика требует довольно детального изучения в свете открывающихся перспектив замены устаревающего оборудования башенного типа и существующих в настоящее время классических грануляторов псевдооживленного слоя. Переход к принципиально новым технологическим схемам производства гранулированных продуктов с использованием малогабаритной аппаратуры - достаточно актуальный вопрос для современной техники и особенно экономики. Перспективным направлением развития химической промышленности в данной отрасли является создание технологических схем безбашенной грануляции с использованием малогабаритных вихревых грануляторов псевдооживленного слоя.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На кафедре "Процессы и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств" (ПОХНП) Сумского государственного университета разработана технологическая схема производства гранулированных продуктов, представленная на рисунке 1. В составе этой схемы функционирует вихревой гранулятор псевдооживленного слоя [1].

В результате исследований необходимо было получить расчётные зависимости, описывающие данные, которые были получены в результате

¹ Аспирант, Сумский государственный университет.

² Д-р техн. наук, профессор, Сумский государственный университет.

визуальных наблюдений за ходом процесса передвижения пакетов гранул в рабочем объёме вихревого гранулятора псевдооживленного слоя.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведена серия экспериментов по изучению влияния конструкции газораспределительного устройства на формирование закрученного газового потока. Определена оптимальная конструкция узла распределения оживающего агента.

Для разработки инженерной методики расчёта и математического описания результатов экспериментальных исследований были проведены теоретические исследования распределения осевой и окружной составляющих скорости закрученного газового потока, созданного при помощи конструкции завихрителя, представленной на рисунке 2.

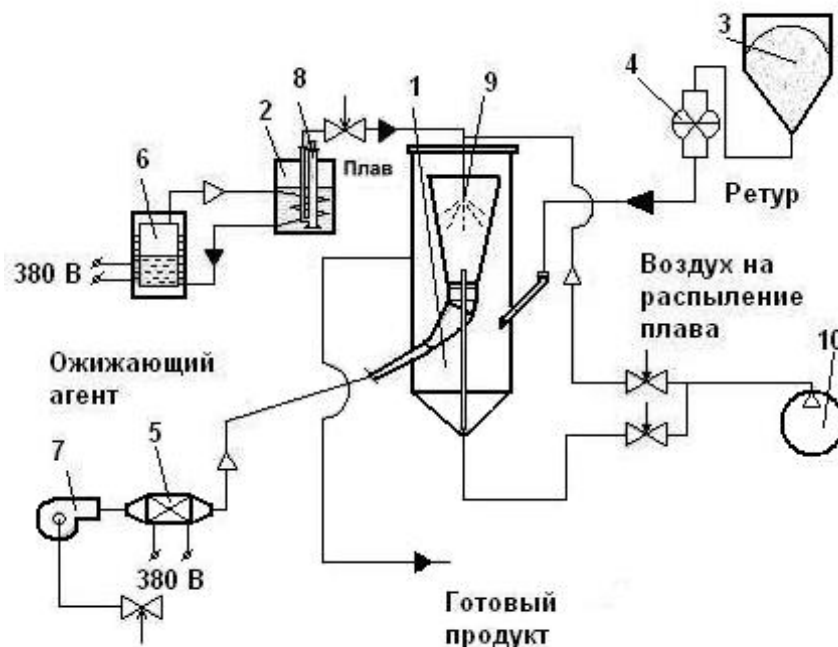


Рисунок 1 - Принципиальная схема экспериментального стенда:
 1 - вихревой гранулятор; 2 - бункер-плавилка; 3 - бункер; 4 - сегментный дозатор; 5 - электрокалорифер; 6 - парогенератор; 7 - газодувка; 8 - погружной насос; 9 - пневматическая форсунка; 10 - компрессор

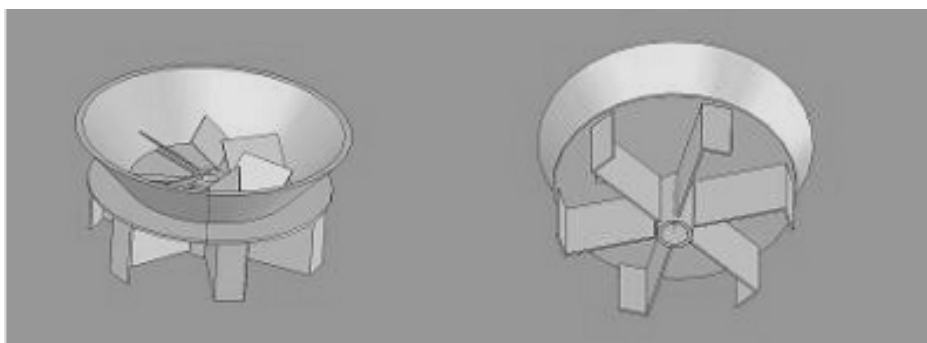


Рисунок 2 - Газораспределительный узел с завихрителями

Явление закрутки газового потока прямо влияет на движение твёрдых частиц в слое. Связь между движением гранул и закруткой газового потока представляется таким образом. Закрученный газовый поток в аппарате характеризуется определённым значением момента количества движения. При функционировании вихревого гранулятора в "холостом" режиме (без подачи в рабочую зону твёрдых частиц – гранул ретурра или капель расплава из распылителя) рассматриваемый однофазный поток не изменяет установившегося значения этого момента. Гранулятор не расходует энергию на взаимодействие с другими фазами (потоками). При появлении в рассматриваемом рабочем объёме дисперсной фазы, последняя вовлекается во вращательное движение за счёт энергии закрученного газового потока, т.к. влияние внешних сил на рассматриваемую двухфазную систему незначительно по сравнению с воздействием энергии газового потока. При этом момент количества движения газа после взаимодействия с гранулами соответственно уменьшится, так как часть энергии газового потока будет использована на создание упорядоченного спиралевидного движения гранул вводимого в аппарат ретурра. Часть момента количества движения газовой фазы, которая передалась гранулам в результате взаимодействия, используется для придания им определённой скорости перемещения в рабочей зоне вихревого гранулятора, ведь момент количества движения прямо пропорционален этой кинематической характеристике частиц.

Методика определения полей окружной U и расходной W составляющих скорости закрученного газового потока в рабочем пространстве вихревого гранулятора псевдооживленного слоя основана на решении уравнений, занимающих промежуточное положение между полными уравнениями Навье-Стокса и уравнениями пограничного слоя, т.н. RNS-уравнений [2]. Алгоритм определения составляющих скоростей закрученного газового потока с помощью RNS-уравнений представлен на рисунке 3. Значения составляющих скорости закрученного газового потока определялись последовательно по высоте гранулятора Y (от 0 до Y) и радиусу R (от 0 до R).

Анализ эпюр составляющих скорости закрученного газового потока в рабочей полости вихревого гранулятора псевдооживленного слоя (рисунки 4 и 5) позволяет убедительно и наглядно продемонстрировать правильность выбора конструкции газораспределительного узла из предложенного авторами статьи ряда конструкций для экспериментального исследования на модельной установке производства гранулированных продуктов.

Эпюры окружной и расходной составляющей скорости газового потока не имеют значительных скачков по горизонтальному сечению рабочего пространства вихревого гранулятора, т.е. от оси аппарата и практически до его периферии (где происходит угасание скорости за счёт контакта со стенками рабочей полости аппарата) сохраняется равномерное распределение газового потока. Подобная картина наблюдается в каждом сечении рабочей полости гранулятора при изменении высоты в граничных условиях от верхнего сечения газораспределительного устройства и до верхнего сечения дополнительного конуса гранулятора. На основании анализа предложенных эпюр можно сделать ещё один важный вывод, который, в конечном счёте, окажет определяющее влияние на получение гранулированного продукта высокого качества с помощью внедрения в производство безбашенной технологии гранулирования с использованием вихревых малогабаритных аппаратов: выравнивание полей скоростей газового потока наблюдается не только в отдельно взятом сечении рабочей зоны гранулятора, но и во всём рабочем пространстве аппарата; вне зависимости от координаты Y сохраняется довольно узкий диапазон изменения скорости движения газовой фазы.



Рисунок 3 - Алгоритм расчёта составляющих скорости закрученного газового потока в рабочем пространстве вихревого гранулятора

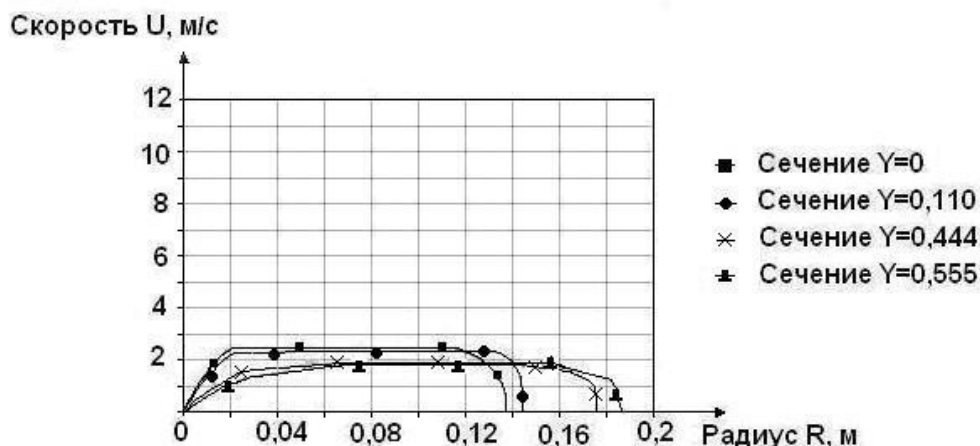


Рисунок 4 - Характер изменения эпюр окружной составляющей скорости закрученного газового потока по высоте рабочего пространства вихревого гранулятора псевдооживленного слоя в зависимости от радиуса его сечения

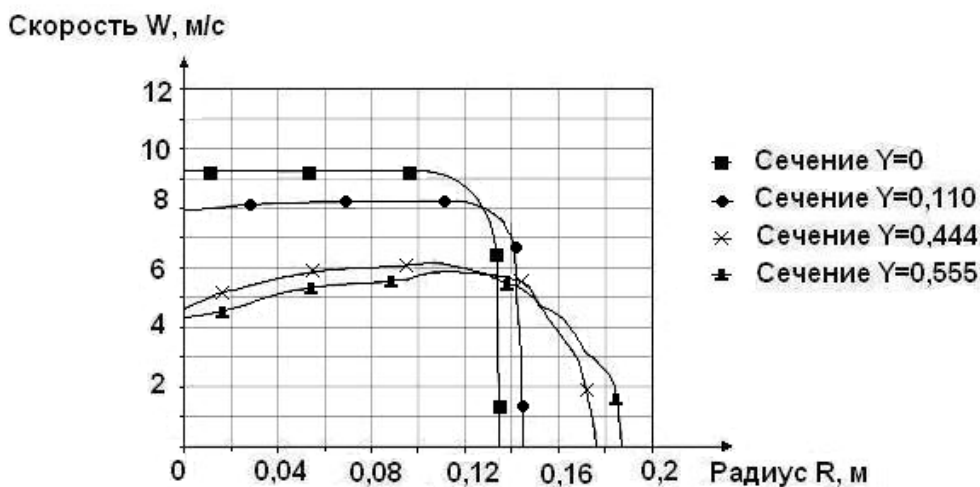


Рисунок 5 - Характер изменения эпюр расходной составляющей скорости закрученного газового потока по высоте рабочего пространства вихревого гранулятора псевдооживленного слоя в зависимости от радиуса его сечения

Скорость газового потока по вертикали (от сечения с координатой Y до сечения с координатой $Y+\Delta Y$) меняется незначительно, сохраняя также постоянство своего значения от центра к периферии. Фактически, в каждом, произвольно выбранном элементарном объеме рассматриваемого рабочего пространства гранулятора значение скорости движения газового потока колеблется незначительно по сравнению с другим произвольно взятым элементарным объемом в пределах заданных граничных условий, т.е. радиуса дополнительного внутреннего корпуса аппарата и его высоты.

Эпюры окружной и расходной составляющей скорости газового потока не имеют значительных скачков по горизонтальному сечению рабочего пространства вихревого гранулятора, т.е. от оси аппарата и практически

до его периферии (где происходит угасание скорости за счёт контакта со стенками рабочей полости аппарата) сохраняется равномерное распределение газового потока. Подобная картина наблюдается в каждом сечении рабочей полости гранулятора при изменении высоты в граничных условиях от верхнего сечения газораспределительного устройства и до верхнего сечения дополнительного конуса гранулятора. На основании анализа предложенных эпюр можно сделать ещё один важный вывод, который, в конечном счёте, окажет определяющее влияние на получение гранулированного продукта высокого качества с помощью внедрения в производство безбашенной технологии гранулирования с использованием вихревых малогабаритных аппаратов: выравнивание полей скоростей газового потока наблюдается не только в отдельно взятом сечении рабочей зоны гранулятора, но и во всём рабочем пространстве аппарата; вне зависимости от координаты Y сохраняется довольно узкий диапазон изменения скорости движения газовой фазы. Скорость газового потока по вертикали (от сечения с координатой Y до сечения с координатой $Y+\Delta Y$) меняется незначительно, сохраняя также постоянство своего значения от центра к периферии. Фактически, в каждом произвольно выбранном элементарном объёме рассматриваемого рабочего пространства гранулятора значение скорости движения газового потока колеблется незначительно по сравнению с другим произвольно взятым элементарным объёмом в пределах заданных граничных условий, т.е. радиуса дополнительного внутреннего корпуса аппарата и его высоты.

Таким образом, любая гранула, попадая в рабочее пространство гранулятора, одинаково взаимодействует с закрученным газовым потоком в каждой его точке, что способствует равномерному протеканию процесса теплообмена и массообмена в образовавшейся двухфазной системе и препятствует образованию застойных зон и выходу из аппарата гранул, которые вследствие недостаточного контакта с потоком теплоносителя окончательно не образовали свою кристаллическую структуру, остановившись на каком-то промежуточном этапе её формирования.

Можно предположить, что в рабочей зоне гранулятора будет максимально исключён проскок отдельных частиц и пакетов гранул, а также задержка их в каком-либо сечении рабочей зоны на время, превышающее минимально необходимое для формирования устойчивой кристаллической структуры гранулы.

Прежде чем говорить об актуальности проблемы введения в отечественное производство гранулированных продуктов аппаратов со сниженной высотой полёта гранул и организацией вихревого псевдооживленного слоя исходя из анализа представленных результатов теоретических и экспериментальных исследований, необходимо решить ряд задач. Выгодно ли это внедрение с учётом капитальных затрат на освоение нового типа производства или лучшим вариантом всё-таки будет использование классических грануляторов псевдооживленного слоя [3, 4], которые уже зарекомендовали себя с самой положительной стороны с точки зрения энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, а также является ли альтернативой существующим грануляторам предложенный для рассмотрения в данной работе аппарат с вихревым псевдооживленным слоем гранул, который имеет несколько более сложную конструкцию газораспределительного узла. Целесообразно ли это усложнение конструкции или оно повлияет только на себестоимость получаемого гранулированного продукта, не улучшая его качество.

Анализ полученных экспериментальных и теоретических результатов позволяет сделать вывод о том, что применение закрученного осесимметричного газового потока в технологии получения гранулированных продуктов с помощью аппаратов псевдооживленного

слоя позволит устранить факторы, которые отрицательно влияют на формирование псевдооживленного слоя, дестабилизируя его. На пакет частиц и каждую отдельную частицу, которые находятся в псевдооживленном слое, благодаря закрутке газового потока действует поле центробежных сил, влияние которых уменьшает воздействие дестабилизирующих псевдооживленный слой факторов. Равномерность распределения скоростей по рабочему пространству вихревого гранулятора позволит свести к минимуму локальные изменения порозности псевдооживленного слоя, а также локальные перепады давления в аппарате. Результаты теоретических и экспериментальных исследований доказали возможность создания в проектируемом аппарате установившегося равномерного движения осесимметричного вихревого псевдооживленного слоя.

SUMMARY

The new sample of the false boiling vortex layer granulator in structure of the experimental technological scheme of manufacture of the granulated products is developed. The series of researches on studying the law of distribution of granules in the vortical granulator is lead. The mathematical model and algorithm of calculation of movement of the involute gas stream in granulator is offered. In clause the opportunity of application involute symmetric to the axis gas stream for manufacture of the granulated products is proved.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заявка № А 2005 12066 України МПК 7 В 01 J2/16.
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2 томах / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
3. П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. Гранулирование. - М.: Химия, 1991.- 240 с.
4. М.П. Юхименко, С.В. Вакал, М.П. Кононенко, А.П. Філонов Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок. - Суми: Собор, 2003. – 304 с.

Поступила в редакцию 2 марта 2006 г.